

Министерство образования и науки РФ  
Южно-Уральский государственный университет (НИУ)  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Строительные материалы и изделия»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН	ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Рецензент	Заведующий кафедрой
/ /	/Т.Н. Черных/
« » 2017 г.	« » 2017 г.

**Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе**  
**08.04.01.2017.159.00.00.ПЗ**

**«Самоуплотняющиеся бетоны с использованием искусственных песков из отходов производства щебня Ново-Смолинского карьера»**

Руководитель ВКР

/Л.Я. Крамар/  
« » 2017 г.

Автор ВКР  
Студент группы АС –259

/Д.В. Матвеев/  
« » 2017 г.

Нормоконтролёр

/Т.Н.Черных/  
« » 2017 г.

Челябинск  
2017

## АННОТАЦИЯ

Матвеев Д.В. «Самоуплотняющиеся бетоны с использованием искусственных песков из отходов производства щебня Ново-Смолинского карьера» – Челябинск: ЮУрГУ, Стр.мат., 2017, 70 с., 21 табл., 6 иллюстраций.

Библиографический список – 39 наименований.

В данной работе рассматривается возможность применения искусственного песка – отсева (отхода производства при дроблении щебня) в самоуплотняющихся бетонных смесях (СУБ). Использование в качестве мелкого заполнителя – отсева, позволит получить стабильную по свойствам бетонную смесь и значительно снизить себестоимость СУБ.

					<b>08.04.01.2017.159.00.00 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Самоуплотняющиеся бетоны с использованием искусственных песков из отходов производства щебня Ново-Смолинского карьера</b>	<i>Литер</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.		Матвеев Д.В.				ДР	4	70
Проверил		Крамар Л.Я.				ЮУрГУ, Кафедра «Строительные материалы и изделия»		
Н. контр.		Черных Т.Н.						
Утвердил		Черных Т.Н.						

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	9
1.1 Самоуплотняющиеся бетоны в современном строительстве.....	9
1.1.1 История возникновения самоуплотняющегося бетона. Примеры использования СУБ .....	9
1.1.2 Определение СУБ и области использования в современном строительстве .....	11
1.1.3 Методы расчета и получения СУБ.....	14
1.1.4 Используемые материалы и их свойства .....	19
1.2 Применение отсевов дробления щебня в СУБ .....	24
ВЫВОДЫ .....	26
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ .....	27
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	28
2.1 Характеристики сырьевых материалов .....	30
2.1.1 Цемент.....	30
2.1.2 Заполнитель.....	31
2.1.3 Добавки .....	34
2.2 Рентгенофазовый анализ.....	36
2.3 Термические методы анализа.....	37
2.4 Электроинформационно-микроскопический метод анализа.....	41
3 МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА.....	42
ВЫВОДЫ .....	45
4 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА.....	46
4.1 Исследование структуры самоуплотняющегося бетона.....	46
4.1.1 Дериватографический анализ.....	47
4.1.2 Рентгенографический анализ .....	49
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	50
5.1 Краткое описание рассматриваемого проекта, процессов, применяемого оборудования, механизмов, условий труда.....	50
5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	51

5.3 Микроклимат рабочей зоны .....	52
5.3.1 Запыленность и загазованность рабочей зоны .....	54
5.3.2 Освещение рабочей зоны .....	55
5.3.3 Вибрация на рабочем месте .....	56
5.3.4 Шум на рабочем месте .....	57
5.4 Безопасность производственных процессов и оборудования .....	58
5.5 Электробезопасность .....	61
5.6. Пожаробезопасность .....	62
6. ЭКОНОМИКА .....	64
ВЫВОДЫ .....	65
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ .....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	67

## **ВВЕДЕНИЕ**

Последние десятилетия XXI века отмечаются значительным прорывом в развитии технологий бетона. В эти годы появились и получили широкое распространение новые эффективные добавки, модификаторы для вяжущих и бетонов.

Появилась возможность прогнозировать свойства бетона и управлять его характеристиками. Успешно проходит развитие программного обеспечения для проектирования бетонов и управления технологическими процессами.

Таким образом, в мире, все чаще стали появляться и внедряться в производство виды бетонов нового поколения, одним из которых является – самоуплотняющийся бетон.

Кроме того, в России, при строительстве все чаще возникает проблема долговечности и прочности бетонных конструкций. Для создания прочных конструкций требуется грамотное выполнение процесса уплотнения бетонных смесей квалифицированным персоналом. Однако, на сегодняшний день, наблюдается постепенное снижение количества квалифицированных рабочих в строительной индустрии, что приводит к такому же снижению качества выполненных бетонных работ. Поэтому, единственным решением для достижения долговечных и прочных бетонных конструкций независимо от качества строительных работ является применение самоуплотняющегося бетона.

В настоящее время, в строительстве значительно увеличилась доля использования монолитного строительства, в сравнении с крупнопанельным домостроением. Тем самым возрастает спрос на технологичные и качественные товарные бетоны. В данной работе предлагается использовать для монолитного строительства – самоуплотняющийся бетон, применение которого позволяет обеспечить:

- надежное уплотнение бетонной смеси, в том числе и густоармированных конструкций сложной конфигурации;
- гарантию получения качественных бетонных конструкций, соответствующих, в полной мере, необходимым требованиям;
- высокое качество бетонной поверхности;
- сокращение сроков строительства;
- снижение трудоемкости, устранение шума и вибрации при укладке бетонной смеси;
- использование отходов производства при получении бетона.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

## 1.1 Самоуплотняющиеся бетоны в современном строительстве

### 1.1.1 История возникновения самоуплотняющегося бетона. Примеры использования СУБ

Современное строительство невозможно без такого материала как бетон. Этот материал известен человечеству уже не одно тысячелетие и интересен он не только своим уникальным свойствам, но и многовековой историей. Впервые раствор схожий с бетоном был применен в Древней Месопотамии. Также первые упоминания о бетоне встречались в Древнем Риме, где он использовался при строительстве арок, куполов, мощении дорог. Но после падения Римской империи рецепт бетона был забыт и его применение возобновилось лишь спустя несколько веков в Европе.

В начале XIX века в Англии учеными Д.Паркером и Д.Аспдиным были получены рецептуры романцемента, а в России Егором Челиевым разработаны составы портланцемента, которые и легли в основу современного цемента. Эти нововведения стали прорывом в научно-техническом прогрессе того времени. Также настоящим прорывом стало изобретение железобетона в XIX веке во Франции Ж.Монье. В качестве арматуры он использовал сталь, а основным материалом был цементно-песчаный раствор. За последующие десятилетия он запатентовал такие изделия из железобетона как шпалы, балки, трубы, элементы мостовых конструкций и др. Первый мост из железобетона был построен в 1875 году. Другой французский ученый Э.Фрейсин внес большой вклад в развитие свойств железобетона и расширил границы его применения. В своих исследованиях он увеличил прочность железобетона с помощью вибропрессования, а также изобрел технологию бетона из напряженных элементов.

В начале XX века в Европе начался «бетонный бум». В Соединенных штатах и Англии стали появляться первые бетоносмесительные установки. В Германии была изобретена готовая цементная смесь, которую можно было поставлять прямо на

строительную площадку. В Швеции было положено начало развития такого направления как ячеистые бетоны.

Но несмотря на длительную историю существования, технология бетона быстро совершенствуется и сегодня. В XXI веке бетон и железобетон остаются одними из самых распространенных строительных материалов. По различным данным в мире производится ежегодно от 2 до 4 млрд. м<sup>3</sup> бетонных смесей в год, например, в Китае – 430 млн. м<sup>3</sup>/год, в США – 300 млн. м<sup>3</sup>/год, в России – 50 млн. м<sup>3</sup>/год. Бетон используется в жилищном, транспортном, промышленном и других видах строительства.

Последние десятилетия XXI века отмечаются значительным прорывом в развитии технологии бетона. В эти годы появились и получили широкое распространение новые эффективные вяжущие, модификаторы для вяжущих и бетонов, активные минеральные добавки и наполнители, армирующие волокна, новые технологические приемы и методы получения строительных композитов [22]. Появилась возможность прогнозировать свойства бетона и управлять его характеристиками. Успешно проходит развитие программного обеспечения для проектирования бетонов и управления технологическими процессами. Таким образом, стали появляться и внедряться в производство виды бетонов нового поколения. Для получения бетонов нового поколения с высокими качествами необходимо знать их свойства и факторы, которые на них влияют.

В конце 80-х годов прошлого столетия, благодаря исследованиям японского ученого Х. Окамуры, в бетонной технологии выделилось такое течение – самоуплотняющиеся бетоны (СУБ). Стоит отметить, что состав СУБ и традиционного бетона не особо различаются. Отличие состоит лишь в соотношении материалов и в использовании специальных эффективных добавок.

Около 50 % новых железобетонных конструкций в Японии изготавливается из СУБ; в Европе на долю СУБ приходится 7... 10 % объема производимого бетона; в России данная технология слабо распространена, хотя и здесь имеются примеры успешной ее реализации [13]. В последние десятилетия в России были построены такие уникальные сооружения как монолитный ростверк пилона М-7 Русского моста во Владивостоке, фундамент под высотный многофункциональный комплекс



«Лахта-центр», бетонирование опытных блоков Саяно-Шушенской и Бурейской ГЭС, здание реактора ЛАЭС-2, кольцевые коридоры реактора НВАЭС и др.

К сожалению, технология самоуплотняющихся бетонов в России не так сильно распространена как в Японии и в Европе. По-прежнему, как и во времена СССР, массовое строительство ориентировано на производство и использование бетонов невысоких марок с прочностью 20...50 МПа с повышенными расходами цемента. На данный момент в России не существует нормативной базы, в которой были бы описаны методы диагностики самоуплотняющихся бетонов и приведена классификация, для каких сооружений они применимы. Поэтому приходится использовать нормативные документы, разработанные в Европе. В связи с этим, развитие научно-обоснованных принципов создания и диагностики самоуплотняющихся бетонов, изучение их рецептур и свойств, выявление факторов, влияющих на эти свойства в процессе эксплуатации под действием внешних нагрузок, является актуальной проблемой.

#### 1.1.2 Определение СУБ и области использования в современном строительстве

Самоуплотняющийся бетон – это бетонная смесь, которая без воздействия внешних сил уплотнения (вибрирования) и самостоятельно под воздействием собственного веса течет, освобождается от воздуха и заполняет пространство между опалубкой сооружения и арматурными стержнями. В немецком языке самоуплотняющийся бетон получил сокращённое название SVB (selbstverdichtender Beton), в английском – SCC (self-compacting concrete), во французском – BAP (Béton autoplaçant) [12, 27].

Начиная с 1980-х годов, проблема долговечности и прочности бетонных конструкций была главной для японских ученых. Для создания прочных бетонных конструкций требуется грамотное выполнение процесса уплотнения бетонных смесей квалифицированным персоналом. Однако, постепенное снижение количества квалифицированных рабочих в строительной индустрии Японии привело к такому же снижению качества выполненных строительных конструкций. Единственным решением для достижения долговечных и прочных бетонных

конструкций независимо от качества строительных работ являлось применение самоуплотняющегося бетона.

Необходимость создания такого типа бетона была предложена профессором Х.Окамурой в 1986 году. Работы по разработке самоуплотняющегося бетона, включая фундаментальное исследование обрабатываемости бетона были проведены профессорами К. Маекавой, К. Озавой из Токийского университета в конце 1980-х годов. В своих работах им удалось придумать и новый тип бетона, который имел высокую пластичность и низкое содержание воды.

Прототип самоуплотняющегося бетона впервые был представлен в 1988 году. Такой бетон получил название «High Performance Concrete». Почти в то же самое время бетон «High Performance Concrete» был определен как бетон с высокой прочностью из-за низкого водоцементного соотношения профессором Отсиим в 1989 году. С тех пор, термин «High Performance Concrete» используется во всем мире для обозначения высокой прочности бетона. Однако, совсем недавно термин бетона был изменен на «Self-compacting High Performance Concrete».

Благодаря особенностям этого бетона он вызвал интерес в Западной Европе. В начале 2000-х годов по всей Европе стали появляться первые предпосылки для допуска и распространения самоуплотняющегося бетона. Так в институте города Аахен (Германия) в 2000-х годах профессор В.Брамесхубер изучал свойства самоуплотняющегося бетона. Проведенные им исследования показали какими свойствами обладал самоуплотняющийся бетон по сравнению с обычным бетоном. Материал получил название «Dyckerhoff Liquidur» и стал активно распространяться по строительным площадкам Европы вследствие своих уникальных свойств [11, 32, 33].

В 2002 году компания EFNARC опубликовала документ «Specification & Guidelines for Self-Compacting concrete» – (с англ. Спецификация и Руководство по самоуплотняющемуся бетону), который содержал в себе всю необходимую информацию о бетоне для производителей, строителей и проектировщиков.

В 2004 году пять европейских организаций: Bibm, Cembureau, Ermco, Efca, Efnarc создали ученую группу, чтобы оценить накопленный опыт применения самоуплотняющегося бетона и подготовить и новый документ, который охватывал

бы все аспекты самоуплотняющегося бетона. В этом документе «The European Guidelines for Self Compacting Concrete» (с англ. Европейское руководство по самоуплотняющемуся бетону) были приведены согласованные спецификации бетонных смесей для производства СУБ, методы их испытания, информацию о материалах, стандартах для СУБ и т.д. Так в таблице 1.1 – приведена европейская классификация бетонных смесей для производства самоуплотняющихся бетонов.

Таблица 1.1 – Классификация бетонных смесей

Название бетонной смеси	Обозначение	Чем характеризуется	Значение величины
Высокоподвижная	SF1	Распływ конуса	550-650 мм
	SF2		660-750 мм
	SF3		760-850 мм
Вязкая	VS1/VF1	Вязкость	8 сек.
	VS2/VF2		9-25 сек.
Легкоформируемая	PA1	-	Зависит от частоты армирования
	PA2	-	
Устойчивая к расслоению	SR1	Расслаиваемость	< 20 %
	SR2		< 15 %

В настоящее время изучение самоуплотняющегося бетона и методов его диагностики активно продолжается. Исследования проводятся в Техническом Университете города Берлин на строительном факультете под руководством профессора Б.Хиллемайера и доктора Ж.Бухенау [23, 29]. В России же повсеместное применение самоуплотняющегося бетона только получает своё развитие, однако на протяжении последнего десятилетия ряда строительных организаций предприняты успешные попытки применения самоуплотняющегося бетона в гражданском строительстве [34]. Но в виду отсутствия нормативной базы по самоуплотняющимся бетонам приходится пользоваться нормативными документами иностранного происхождения.

### 1.1.3 Методы расчета и получения СУБ

Проектирование составов СУБ согласно рекомендациям американского стандарта ACI-237-07 [1] «Самоуплотняющаяся бетонная смесь» следует проводить поэтапно:

1-й этап – определение необходимой подвижности смеси (величины расплыва конуса) в зависимости от вида конструкции и условий производства работ;

2-й этап – выбор заполнителей по соответствующим стандартам;

3-й этап – определение содержания вяжущего и воды;

4-й этап – подсчет объема цементного теста и растворной части СУБ.

5-й этап – выбор добавок;

6-й этап – выполнение пробных замесов;

7-й этап – испытание смеси на заданные характеристики: расплыв конуса, заполняемость формы, проходимость через арматурные стержни, устойчивость против расслоения. Должны быть выполнены все виды испытаний с использованием стандартного лабораторного оборудования: конус, воронка, L-образный короб, цилиндрическая клетка;

8-й этап – корректировка составов на основании данных испытаний по этапу 7 и наконец – приготовление пробных замесов до получения заданных характеристик СУБ.

Установление вида, крупности и объема содержания крупного заполнителя определяется назначением и параметрами конструкции. Важно учитывать величину просвета между арматурными стержнями, технологию доставки и укладки СУБ. Задача проектировщика состава СУБ – добиться содержания максимально возможного объема крупного заполнителя при условии обеспечения необходимых реологических характеристик смеси.

В целях обеспечения наилучшей проходимости между арматурными стержнями смеси СУБ при прочих равных условиях предпочтительнее выбирать в качестве крупного заполнителя при одинаковой granulометрии природный гравий с округлой формой зерен, нежели заполнитель из дробленых пород.

Для улучшения таких показателей, как проходимость смеси между арматурными стержнями, ее проницаемость в различные «карманы» при сложных формах опалубки, содержание крупного заполнителя в СУБ должно быть ниже, чем в обычной бетонной смеси.

Крупный заполнитель делят на две категории: с крупностью зерен 12,5 мм и выше; с крупностью зерен менее 12,5 мм. Для определения расхода крупного заполнителя на один кубометр бетона следует уточнить его насыпную плотность. Рекомендуемый объем крупного заполнителя в единице объема СУБ с учетом пустот составляет 50 % от общего объема, поэтому при насыпной плотности 1600 кг/м<sup>3</sup> расход крупного заполнителя составит 800 кг/м<sup>3</sup>. По абсолютному объему крупный заполнитель при первичных подборках должен занимать объем 28...32 %. Вид поверхности, крупность, гранулометрия заполнителя – все это влияет на реологические характеристики СУБ. При укладке в конструкции при сильном насыщении арматуры на единицу объема опалубки следует применять заполнитель крупностью менее 12,5 мм. При первичных подборках соотношение объема песка и крупного заполнителя принимают 50 % на 50 %. Это соотношение уточняется в процессе подбора оптимального состава.

Тонкодисперсные составляющие СУБ включают цемент и наполнители: молотый известняк, золу, молотый гранулированный шлак, другие материалы, измельченные до размеров менее 0,125 мм.

Для СУБ прочность на сжатие обычно не является определяющим параметром при выборе вяжущих. Тонкодисперсные материалы в смеси с цементом образуют не только достаточно прочную матрицу для надежного скрепления крупного заполнителя, но и вносят свой вклад в стабильность смеси и ее сопротивление сегрегации. Оптимальное содержание тонкодисперсных материалов должно составлять 300-360 кг/м<sup>3</sup>. На начальной стадии подбора состава целесообразно принять несколько повышенный расход цемента.

Таблица 1.2 – содержит рекомендуемые американским стандартом ACI 237R-07 объемы тонкодисперсных материалов (ТМ) в зависимости от заданного значения расплыва конуса.

Таблица 1.2 – Рекомендуемое содержание тонкодисперсных материалов

	Расплав <550 мм	550-600 мм	>650 мм
Содержание ТМ, кг/м <sup>3</sup>	355-385	385-445	460+

Суммарное содержание растворной части и тонкодисперсной пасты в СУБ выше, чем в обычном бетоне, что необходимо для захвата и перемещения крупного заполнителя в процессе движения смеси СУБ при заполнении опалубки.

Проектирование составов СУБ ориентировано обычно на обеспечение его реологических характеристик в пластической стадии. При этом показатели прочности на сжатие, как упоминалось выше, выполняются автоматически благодаря технологическим ограничениям по величине водовяжущего отношения (как правило, не выше 0,5...0,55) с достаточно высоким расходом цемента на единицу объема бетона. Упомянутый американский стандарт ACI 237R рекомендует расход цемента принимать не ниже 386 кг/м<sup>3</sup> [1], а рекомендация ERMCO (Европейской организации по готовым бетонным смесям) – не ниже 380 кг/м<sup>3</sup> [3].

Способность уплотняться под действием сил гравитации без применения вибрации, как уже упоминалось выше, является основным преимуществом СУБ по отношению к обычно вибрированному бетону (ОБВ). Обеспечение стабильности этих свойств особо важно для эффективного применения СУБ.

СУБ очень чувствительны к малейшим отклонениям содержания составляющих бетонной смеси, а 2...3 литра добавленной воды могут увеличить расплыв смеси на 5...7,5 см. Превышение влажности песка на 1 % против проектного при его расходе 890 кг/м<sup>3</sup> может увеличить расплыв смеси на 10...16 см, поэтому допуски в расходе воды при проектированном составе СУБ должны быть минимальными. Даже принимаемые обычные допуски ±0,5 % по влажности песка могут приводить к существенным вариациям от замеса к замесу расплыва смеси на 10...16 см. Иными словами, при заданном расплыве в 71 см его значение может колебаться в пределах 63...79 см. Если расплыв в 63 см вполне приемлем, то величина расплыва 79 см уже может приводить к сегрегации (расслоению) смеси.

Обширные испытания стабильности реологических свойств СУБ были проведены в Испании [2]. Было испытано 27 составов смесей на все виды реологических характеристик (распływ смесей, воронка, L-образный короб и цилиндрчатая сетка). Было показано, что незначительные отклонения в составах (прежде всего расход воды, цемента и тонкодисперсных наполнителей) приводят к непропорциональному изменению реологических характеристик, что прежде всего выражается в расслоении бетонной смеси, что в свою очередь ведет к снижению однородности затвердевшего бетона.

Расслоение смеси на стадии укладки ведет, кроме того, к повышенной проницаемости бетона в затвердевшем виде, что может снизить водонепроницаемость и, как следствие, долговечность бетона.

Имеющиеся на сегодняшний день данные показывают, что СУБ, поставляемый в виде готовых бетонных смесей, нуждается в дополнительной проверке стабильности технологических характеристик на объекте.

Единичная поставка одного бетоносмесителя может составлять примерно 8-9 м<sup>3</sup> (при заполнении 80-90 % от емкости бетоносмесителя). Это достаточно большой объем бетона, отклонение свойств которого от заданных характеристик может существенно повлиять на качество бетона в конструкции в целом. Поэтому рекомендуется замеры реологических характеристик производить путем отбора образцов смеси от каждого бетоносмесителя по всем трем видам испытаний, определяемых стандартами: на распływ конуса, на скорость вытекания смеси из воронки и прохождение через цилиндрчатую клетку (контроль протекания и устойчивости против сегрегации).

В странах ЕС на испытания бетонных смесей разработан пакет из 12 стандартов серии EN 12350. Пять стандартов начиная от EN 12350-8 и до EN12350-12 предназначены для определения реологических характеристик СУБ. На сегодняшний день приняты следующие методы определения реологических характеристик самоуплотняющихся бетонных смесей.

1. Испытания на распływ конуса (американский стандарт ASTM C 1611, европейский EN 12350-8). Этот метод рекомендует использовать стандартный конус. Однако замерять рекомендуется не осадку конуса по вертикали, а распływ

смеси по горизонтали. Постоянство величины расплыва смеси будет свидетельствовать о стабильности показателей констант СУБ.

2. Проходимость смеси оценивается путем испытания (EN 12350-12) на протекание ее через стержни арматуры, расставленные по окружности в виде цилиндрической клетки, внутрь которой устанавливается конус, такой же, как при испытании на расплыв смеси. Европейский стандарт рекомендует цилиндрическую клетку с 12 или 16 вертикальными стержнями и устанавливает 2 класса СУБ по проходимости. Показателем проходимости является разница между расплывом смеси при испытании на расплыв конусом и расплывом смеси через стержни цилиндра. Класс смеси по проходимости через 12 стержней при величине разности расплывов менее 10 мм будет согласно этому стандарту обозначаться как PJ1, а при проверке проходимости смеси через 16 стержней – PJ2. Метод неприменим при крупности заполнителя более 40 мм.

3. Подвижность смеси СУБ оценивается также испытанием в L-образном коробе (EN 12350-10). Короб состоит из двух секций: вертикальной и горизонтальной, соединенных между собой скользящей перегородкой. В горизонтальную секцию могут быть установлены арматурные стержни вблизи перегородки. Вертикальная секция заполняется смесью СУБ и затем скользящая перегородка быстро удаляется, позволяя смеси перетекать из вертикальной секции в горизонтальную. Замеряются высота столба смеси, оставшаяся в вертикальной секции ( $h_1$ ), и длина участка смеси, перетекшая в горизонтальную часть ( $h_2$ ). Соотношение  $h_2/h_1$  характеризует подвижность смеси. Стандарт устанавливает две марки подвижности смеси при испытании ее в L-образном коробе:  $h_2/h_1 \geq 0,8$  при 2 арматурных стержнях класс – PL1, при трех стержнях класс – PL 2.

4. Подвижность оценивается также по времени вытекания смеси из воронки (EN 12350-9), при времени вытекания менее 9 секунд смесь имеет класс по подвижности – PV1, от 9 до 25 секунд – PV2.

Вязкость бетонной смеси измеряется по американскому стандарту ACI 237R показателем T50 – временем в секундах, когда смесь СУБ вытекая из конуса достигает диаметра расплыва в 50 см. Чем больше этот показатель, тем большей вязкостью обладает смесь СУБ. Обычно, при малой вязкости показатель T50 равен



2 секундам. Показатель 5 секунд и более характеризует смесь с высокой вязкостью [14].

#### 1.1.4 Используемые материалы и их свойства

Материалы, которые используются для приготовления самоуплотняющихся бетонов, не имеют каких-либо отличий от материалов, используемых в приготовлении традиционных бетонов [11]. Отличается только их соотношение, а также использование специальных эффективных добавок.

Основные исходные материалы для подбора состава СУБ:

- цемент;
- крупный и мелкий заполнитель;
- минеральный наполнитель;
- добавки;

Рассмотрим каждый компонент в отдельности и проследим, как они влияют на бетонную смесь в целом.

1) Цемент. Как и в традиционном бетоне основным вяжущим в самоуплотняющихся бетонах является – портландцемент. Это вяжущее имеет сложную минеральную структуру, состоящую из окислов кальция, кремния, алюминия и железа. Иногда используется сульфатостойкий цемент. Следует также отметить, что выбор цемента зависит в первую очередь от назначения конструкции, которое должно быть указано в техническом задании от заказчика.

2) Заполнитель. Для получения СУБ постоянного качества следует особенно тщательно и непрерывно контролировать и учитывать гранулометрический состав крупного и мелкого заполнителей [11, 15, 24]. В отличие от обычного бетона, СУБ более чувствителен к колебаниям рецептуры, самое большое влияние на него оказывает содержание влаги, как в окружающей среде, так и заполнителей [15]. Крупный и мелкий заполнитель следует хранить в крытых складах, что позволит контролировать влажность и как следствие – водоцементное соотношение. Также при проектировании состава СУБ нужно учитывать и форму заполнителя. Окатанная форма заполнителя позволяет уменьшить вероятность упорядоченности

заполнителя и тем самым увеличивается расплыв конуса. В качестве крупного заполнителя рекомендуется применять щебень фракций 5...20, 5...10 из метаморфических горных пород. Крупность заполнителя выбирается из условий: шаг арматуры, размещение арматуры, геометрические формы конструкции. Мелкий заполнитель назначают часто в виде кварцевого песка с модулем крупности 1,7...2,5.

3) Минеральный наполнитель. В составе бетонов минеральный наполнитель (крупность <0,125 мм) может проявлять себя как инертный материал (известняк, доломит, пылевидный кварц и др.) либо как компонент, обладающий скрытой гидравлической активностью (туф, трепел, опока, микрокремнезем и др.). В таблице 1.3 – приведена классификация минеральных наполнителей, а в таблице 1.4 – свойства минеральных наполнителей [19].

Таблица 1.3 – Классификация минеральных наполнителей

I	II	
Инертные	Пуццолановые	Гидравлические
Известняк	Зола-уноса	Доменный шлак
Доломит	Микрокремнезем	-
Пылевидный кварц	-	-

Таблица 1.4 – Свойства минеральных наполнителей

Вид минерального наполнителя	Оказываемый эффект
Известняк, доломит	Увеличивает связность смеси, но в свою очередь увеличивает вязкость теста и как следствие – уменьшение расплыва.
Зола-уноса	
Микрокремнезем	Увеличивает связность и устойчивость смеси к расслоению, но сокращается срок схватывания смеси.
Доменный шлак	Снижает расход цемента, но сокращается срок схватывания смеси.

4) Добавки. Для регулирования свойств бетонной смеси наибольшее применение нашли химические пластифицирующие добавки, а именно, гиперпластификаторы на основе эфира поликарбоксилата.

Создание самоуплотняющихся бетонов стало возможным благодаря внедрению в технологии бетонов суперпластификаторов и микрокремнезема. Однако в полной мере идея самоуплотняющегося бетона была воплощена после создания японскими учеными добавки нового поколения суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных соединений [25].

Механизм действия этих суперпластификаторов основан не только на электростатическом отталкивании, но и на стерическом эффекте [35]. В структуре молекул суперпластификаторов имеются длинные боковые ответвления, которые обеспечивают диспергирование частиц цемента. Такие суперпластификаторы характеризуются более продолжительным пластифицирующим эффектом при более низких дозировках.

Кроме применения новых, более эффективных суперпластификаторов, для обеспечения самоуплотнения используются [36] следующие технологические приемы: снижается расход крупного заполнителя и водовязущее отношение, при этом максимально повышается дозировка суперпластификатора.

Эффект самоуплотнения достигается за счет снижения контактных взаимодействий между зернами крупного и мелкого заполнителя, что обеспечивается высоким объемным содержанием цементного теста. Однако повышение расхода цемента нежелательно не только по экономическим причинам. Бетоны с высоким содержанием вяжущего характеризуются высокими значениями деформаций усадки и ползучести, кроме того, повышенным тепловыделением при твердении, что может вызвать возникновение дефектов структуры бетона.

Получение бетонных смесей с большим содержанием цементного теста при умеренном расходе цемента возможно при замещении части вяжущего высокодисперсными минеральными материалами – микрокремнеземом, золой-уносом, метакаолином, каменной мукой [17, 26, 37] или другими дисперсными минеральными промышленными отходами [16, 28, 30]. Замена части цемента

позволяет получить текучее цементное тесто без седиментации, водоотделения и расслоения литой бетонной смеси.

Обычные бетоны включают в свой состав минимально три необходимых компонента – цемент, воду и заполнитель. Совместное применение суперпластификатора и тонкого наполнителя (микрокремнезема и др.) позволило получить новые разновидности бетонов, которые в мировой строительной практике получили название высокопрочные бетоны (High Strength Concrete – HSC) и высококачественные бетоны (High-Performance Concrete – HPC). С учетом того, что для получения таких бетонов количество обязательных компонентов должно быть увеличено, такие бетоны считаются пятикомпонентными [37]. В связи с тем, что самоуплотняющиеся бетоны можно считать усовершенствованными высококачественными бетонами, принято говорить о них как о новой стадии развития пятикомпонентных бетонов.

По мнению [18] при производстве самоуплотняющихся бетонов необходимо преодолеть три противоречивых фактора: обеспечить высокую текучесть бетонной смеси, исключить ее расслаиваемость и достичь высокой прочности.

Для повышения характеристик самоуплотняющихся бетонов в их состав вводятся, кроме обязательных компонентов – суперпластификаторов и дисперсных материалов, различные высокоэффективные химические добавки, в частности модификаторы вязкости, замедлители схватывания, ускорители твердения. С целью предотвращения водоотделения и расслоения, кроме тонкого наполнителя, при необходимости в состав бетонной смеси вводятся добавки, повышающие вязкость цементного теста. Эти добавки производятся на основе модифицированной целлюлозы, гидролизованного крахмала, полиэтиленгликоля, природных биополимеров и др.

Реологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей значительно отличаются от свойств обычных бетонов. В связи с этим для проектирования состава бетона и контроля его свойств в лабораторных и производственных условиях необходимы специальные методы определения удобоукладываемости бетонной смеси. За сравнительно непродолжительный период исследования

самоуплотняющихся бетонных смесей были созданы различные методы определения их свойств.

После создания методологии проектирования самоуплотняющихся бетонов в начале 90-х годов и разработки методик определения их свойств стало возможным широкое применение этой разновидности бетона в строительной практике. В начале 90-х годов самоуплотняющийся бетон в Японии применялся только крупными строительными компаниями. Это было связано с большими затратами на разработку технологии, текущий контроль качества. Доля самоуплотняющегося бетона в общем объеме бетона не превышала 1 %. Эта разновидность бетона рассматривалась как специальный бетон, применение которого оправданно на крупных объектах [25].

В промышленном масштабе самоуплотняющийся бетон впервые был применен в 1991 г. при сооружении преднапряженных железобетонных пилонов вантового моста [25]. Положительный опыт использования самоуплотняющегося бетона способствовал увеличению объемов его применения.

В качестве основных причин применения этого бетона называют [25]:

- сокращение сроков строительства;
- обеспечение надежного уплотнения, в том числе в густоармированных конструкциях сложной конфигурации;
- высокое качество бетонной поверхности;
- снижение трудоемкости, устранение шума и вибрации при укладке бетонной смеси.

Немаловажным фактором для расширения объемов производства самоуплотняющегося бетона следует считать применение в его составе дисперсных промышленных отходов, таких, как зола-унос, дисперсные отходы камнедробления, микрокремнезем и др.

Объемы производства самоуплотняющихся бетонов в мировой строительной практике постоянно возрастают. Самая высокая доля этих материалов в объеме производства бетонов приходится на страны с высокой производительностью

труда. К примеру, в Данных объем производства самоуплотняющегося бетона составляет около 50 % от общего объема бетона в этой стране.

Самоуплотняющийся бетон – высокотехнологичный материал, его свойства в большей степени, чем для обычного бетона зависят от характеристик сырьевых материалов и точности их дозировки. Для получения материала с гарантированными свойствами необходим четко налаженный лабораторный контроль характеристик исходных материалов и готовой продукции.

Для эффективного применения самоуплотняющегося бетона необходимо учитывать, что его стоимость выше стоимости обычного бетона, и его использование оправданно там, где необходимы высокие темпы бетонирования, гарантированное уплотнение в густоармированных конструкциях, высокое качество поверхности.

Производство самоуплотняющегося бетона в условиях современного уровня развития отечественной строительной отрасли сдерживается низкой стоимостью рабочей силы в России; в структуре себестоимости продукции доля оплаты труда намного ниже, чем в промышленно развитых странах. Очевидно, что по этой причине, а также из-за неразвитости рынка дисперсных материалов и высокой стоимости суперпластификаторов зарубежного производства новый вид бетона не находит такого широкого применения, как в Европе, США и Японии. Тем не менее, в тех регионах, где ведется интенсивное строительство и наблюдается дефицит рабочей силы, в частности в Москве и Санкт-Петербурге, имеется опыт применения самоуплотняющегося бетона. Вероятно, при подобных изменениях в объемах строительства и на рынке труда и в других регионах России эта разновидность бетона будет востребована [20].

## **1.2 Применение отсевов дробления щебня в СУБ**

При разработке составов самоуплотняющегося бетона, очень часто приходится сталкиваться с проблемой совместимости добавок – суперпластификаторов с мелкими заполнителями – песками. Дело в том, что в невымытых песках, что свойственно для нашего региона, находится достаточное содержание илистых и глинистых частиц, которые отрицательно сказываются на эффективности действия

поликарбоксилатного суперпластификатора, который, в свою очередь, просто необходим при создании СУБ [21]. Данная проблематика очень подробно описана в научно-исследовательских статьях Планка и Лонга [31, 38, 39]. Частицы глины адсорбируют на себе поликарбоксилаты и блокируют их воздействие на цемент, в результате необходимо увеличение дозировки дорогостоящей добавки, из-за снижения ее эффективности, что приводит к увеличению стоимости самоуплотняющегося бетона. Кроме того, количество глинистых частиц может варьироваться в песке в зависимости от партии, тем самым это усложняет работу операторам БРУ, которым необходимо добиваться постоянства и стабильности свойств выпускаемой ими продукции, корректируя уже имеющуюся технологию производства СУБ. В данной работе предлагается использовать искусственный песок из отсева дробления щебня Новосмолинского карьера. В нем отсутствует наличие глинистых примесей, благодаря своей природе происхождения. Поэтому применение искусственного песка из отсева дробления может быть оптимальным вариантом для получения в конкретных условиях самоуплотняющегося бетона, к тому же, являясь побочным продуктом дробления щебня, он имеет сравнительно низкую стоимость.

## **ВЫВОДЫ**

1. Самоуплотняющийся бетон – является современным конструкционным материалом, использование которого позволяет значительно сократить длительность возведения зданий и сооружений, благодаря снижению трудоемкости бетонных работ.
2. Самоуплотняющаяся бетонная смесь – очень чувствительна к качеству и виду исходных компонентов. Поэтому требуется тщательный подбор и сортировка сырьевых материалов.
3. При производстве самоуплотняющейся бетонной смеси часто приходится сталкиваться с проблемой совместимости пластификатора и наполнителя, входящими в состав СУБ.



## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Целью работы является – создание на рядовых материалах Челябинской области стабильных по свойствам самоуплотняющихся бетонов классов В30-В35.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Создать самоуплотняющуюся бетонную смесь с высокой степенью подвижности;
2. Обеспечить сохраняемость бетонной смеси более 2 часов;
3. Подобрать наиболее оптимальный и эффективный микронаполнитель для СУБ;
4. Создать бетонную смесь с постоянными стабильными свойствами.

## 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки результатов проводимых работ, а также для оценки пригодности используемых материалов необходимо использовать различные методы, чтобы получить более полную и безопасную картину. Для решения поставленных в работе задач и достижения цели использовались как стандартные методы исследования, изложенные в ГОСТ, так и современные методы физико-химического анализа: термический и рентгенофазовый.

Применение методик ГОСТ для определения свойств материалов позволяет увидеть разницу, которую оказывают добавки на свойства бетонной смеси и бетона при прочих равных условиях.

Использование современных методов позволяет получить результаты на макро- и микроуровнях. Такие результаты очень важны, так как в этом случае можно увидеть, что происходит в самой структуре бетона при его твердении, более полно понять, как воздействовать на процессы гидратации, а следовательно, как правильно и более полно управлять свойствами готового продукта.

Таблица 2.1 – Стандартные методы испытаний

№ п/п	Показатель	Метод испытаний	Количество повторов	Точность определения, ± %
1	Истинная плотность цемента и АМД	ГОСТ 310.2	2	0,1
2	Тонкость помола цемента по остатку на сите № 008		2	0,1
3	Удельная поверхность цемента и АМД	ГОСТ 310.2	2	0,1
4	Предел прочности при изгибе и сжатии для цемента	ГОСТ 310.4	3	5
5	Зерновой состав и модуль крупности песка	ГОСТ 8735	2	0,5

Окончание таблицы 2.1

№ п/п	Показатель	Метод испытаний	Количество повторов	Точность определения, ± %
6	Содержание в песке глины в комках	ГОСТ 8735	2	0,5
7	Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц	ГОСТ 8735	2	0,5
8	Насыпная плотность цемента, АМД, песка	ГОСТ 8735	2	0,5
9	Натуральная плотность песка	ГОСТ 8735	2	0,1
10	Пустотность песка	ГОСТ 8735	2	0,5
11	Зерновой состав щебня	ГОСТ 8269.0	2	0,5
12	Дробность щебня		2	0,5
13	Насыпная плотность щебня		2	0,5
14	Натуральная плотность щебня	ГОСТ 8269.0	2	0,5
15	Содержание в щебне пылевидных и глинистых частиц	ГОСТ 8269.0	2	0,5
16	Содержание в щебне зерен лещадной и игловатой формы	ГОСТ 8269.0	2	0,5
17	Содержание в щебне зерен слабых пород	ГОСТ 8269.0	2	0,5
Свойства цементного теста:				
18	Нормальная густота	ГОСТ 310.3	2	0,1
19	Срок схватывания		2	5
Свойства цементного камня:				
20	Прочность при сжатии	ГОСТ 10180	6	5
Свойства бетонной смеси:				
21	Подвижность	ГОСТ 10181	2	5
22	Средняя плотность		2	5
23	Расплаиваемость		2	5
24	Сохраняемость подвижности		2	5
Свойства бетона:				
25	Средняя плотность	ГОСТ 12730.1	3	5
26	Прочность при сжатии	ГОСТ 10180	3	5
27	Морозостойкость	ГОСТ 10060.2	6	—

## 2.1 Характеристики сырьевых материалов

### 2.1.1 Цемент

Для устанавления общпх закономерностей влияния добавок цементного камня и бетона в работе использовалп цемент класса Цем I 42,5Н по ГОСТ 31108-2016 (ПЦ 500-Д0 по ГОСТ 10178), производитель – ООО «Дюккерхофф Коркино цемент», изготавливаемый без применения добавок. Данный цемент отличается высоким качеством, постоянством химического и минералогического состава клинкера и широко применяется в Уральском регионе для производства высококачественного бетона.

Минералогический состав цементного клинкера представлен следующими фазами (в зависимости от партии):  $C_3S$  – 61,6...64,6 %;  $C_2S$  – 22,9...23,0 %;  $C_3A$  – 5,4...6,2 %;  $C_4AF$  – 13,5...16,7 %. Химический состав цемента приведен в табл. 2.2. Свойства применяемого цемента представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.2 – Химический состав цемента

Содержание основных оксидов в составе цемента, % по массе						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	CaO <sub>своб</sub>	SO <sub>3</sub>
20,5...22,3	4,9...5,3	4,4...4,7	63,2...65,8	0,9...1,3	0,5...0,7	0,1...0,2

Таблица 2.3 – Характеристики цемента

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 10178	Соответствие требованиям ГОСТ
1	2	3	4
Нормальная густота, %	23,0...23,25	–	–
Предел прочности при изгибе в возрасте 28 суток, МПа	6,2..6,4	Не менее 5,9	Соответствует

Окончание таблицы 2.3

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 10178	Соответствие требованиям ГОСТ
Прочность при сжатии образцов-балочек в возрасте 28 суток, МПа	51,7...53,4	Не менее 49	Соответствует
Начало схватывания, ч-мин	1-20... 1-30	Не ранее 45 мин	Соответствует
Конец схватывания, ч-мин	2-40... 2-50	Не позднее 10 ч	Соответствует
Остаток на сите № 008, %	4,0...5,6	Не более 15	Соответствует
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	3510...3700	–	–
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	3,15	–	–
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,10... 1,15	–	–
Прочность при пропаривании, МПа	34,7...35,8	Более 32	Соответствует первой группе по эффективности пропаривания

2.1.2 Заполнители

В качестве мелкого заполнителя для бетонов применяли искусственный песок из отсева дробления Новосмолинского карьера. Основные характеристики песка приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Свойства песка

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 31424-2010	Соответствие требованиям
1	2	3	4
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1450	–	–
Марка по прочности исходной горной породы	1400	Не менее 1000	Соответствует
Полные остатки на ситах, %:			
0,16 мм	89,7	–	
0,315 мм	75,9	–	
0,63 мм	60,35	45...65	Соответствует крупному песку
1,25 мм	38,25	–	
2,5 мм	12,25	–	
Содержание зерен > 10 мм, %	–	Не более 2	Соответствует II классу
Содержание зерен > 5 мм, %	–	Не более 12	
Содержание зерен < 0,16 мм, %	10,3	Не более 15	
Модуль крупности	2,76	2,5-3,0	Соответствует крупному песку
Содержание глинистых и пылеватых частиц, %	4,5	Не более 10	Соответствует II классу
Содержание глины в комках, %	–	Не более 2	

В качестве крупного заполнителя для бетонов применяли гранодпартовый щебень Новосмолинского карьера. Основные характеристики щебня приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Свойства щебня

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 8267, 26633	Соответствие требованиям
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1415	–	–
Натуральная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2700	2000-2800	Соответствует
Полные остатки на ситах с ячейкой, %:			Соответствует
5 мм	98,3	90-100	
10 мм	74,8	30-80	
20 мм	7,0	< 10	
40 мм	0	–	
Содержание отдельных фракций, %:			Соответствует
5-10 мм	25,9	25-40	
10-20 мм	74,1	60-75	
Проход через сито с ячейкой 5 мм, %	1,7	–	–
Остаток на сите с ячейкой 2,5 мм после испытания на дробимость, %	Др 1400	11,3	Соответствует марке Др 1400
Содержание зерен лещадной и угловатой формы, %	14	25	Относится ко второй группе
Содержание зерен слабых пород, %	2,7	Не более 5	Пригоден для получения бетонов классов В40 и выше
Содержание пылеватых частиц, %	0,3	1	Соответствует
Пустотность, %	45,9	-	-

### 2.1.3 Добавки

Для получения самоуплотняющегося бетона в качестве добавок и микронаполнителей использовали: микрокремнезем, золу-уноса, доменный гранулированный шлак, суперпластификатор Glenium 591.

В работе использовали микрокремнезем конденсированный неуплотненный марки МК 85 производства ОАО «ЧЭМК» по ТУ 5743-048-02495332-96, химический состав которого представлен содержанием следующих основных оксидов: SiO<sub>2</sub> – 91,7 %, CaO – 1,3 %, MgO – 2,8 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,6 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,1 %; П.П.П. составляют 2,5 %. Основные свойства МК приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Свойства микрокремнезема

Наименование показателей	Норма для кремнезема конденсированного неуплотненного марки МК85
Массовая доля микрокремнезема конденсированного в пересчете на сухой остаток, не менее, %	97
Форма и средний размер частиц	Сферическая, 0,1-0,2 мкм
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	215...230
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,22...2,26
Удельная поверхность по воздухопроницаемости, см <sup>2</sup> /г	12000...12300

В качестве микронаполнителя также был использован молотый доменный гранулированный шлак производства ОАО «Мечел» г. Челябинск ТУ 14-105-684-09. Основные характеристики представлены в таблице 2.7.



Таблица 2.7 – Свойства гранулированного шлака

Показатель	Ед. изм.	Параметры
Размер зерна:		
Содержание фракции, < 0,080 мм	%	96,0
Содержание фракции, < 0,020 мм		60,0
Удельная поверхность,	м <sup>2</sup> /кг	300
Влажность,	%	Не более 0,3
Содержание стекловидной фазы	%	66,6
Активность шлака молотого естественного твердения в нормальных условиях в возрасте 28 суток, не менее	МПа	10
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, не более	Бк/кг	370

В качестве дополнительно микронаполнителя также была использована зола-уноса производства «Рефтинская ГРЭС» п. Рефтинский Свердловская область, соответствующая ТУ 5717-004-79935691.

Таблица 2.8 – Свойства золы - уноса

Показатель	Ед. изм.	Параметры
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	1900-2000
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	700-720
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /кг	280-350
Влажность,	%	0,1-0,2
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, не более	Бк/кг	95,06

## 2.2 Рентгенофазовый анализ

Данный метод базируется на изучении дифракционной картины, которая создается при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями в структуре кристаллов. Рентгеновские лучи – это поперечные электромагнитные волны с длиной  $10^{-2} \dots 10^2 \text{ \AA}$ . Рентгеновское излучение получают при помощи трубки с металлическим антикатодом, в которой происходит столкновение электронов, движущихся ускоренно из-за высокого напряжения.

Использование этого метода основано на том, что длина волны рентгеновского луча сравнима с межатомным расстоянием кристаллов, которые и выступают в роли дифракционной решетки.

Рентгенографический анализ производят с помощью уравнения Вульфа-Брегга, в котором отражена зависимость угла  $\theta$  падения/отражения излучения на атомную плоскость, длина его волны  $\lambda$  и межплоскостное расстояние  $d$ :

$$n\lambda = 2d \sin\theta, \quad (2.1)$$

где  $n$  – целое число (1,2,3 и т. д.), обозначающий порядок спектра. Отраженный поток Rg-лучей создается только в том случае, когда выполняется вышеуказанное равенство. Остальные лучи, которые не соответствуют уравнению Вульфа-Брегга, взаимно гасят друг друга, по причине того, что они направлены под другим углом и направлением.

Метод рентгенографического анализа используют для исследования состава, структуры, свойств разнообразных веществ и материалов. По сравнению с другими методами исследования, рентгенография зарекомендовала себя как универсальная, объективная, точная методика, позволяющая в короткие сроки получить такие данные, которые не доступны для других методик. Рентгенофазовый метод анализа позволяет качественно и количественно отразить минеральный и фазовый состав материалов.

Рентгентехника. Обычно приборы, с помощью которых производят данные исследования, состоят из двух основных частей, где первое – это установка, генерирующая первичные рентгеновские лучи, и второе – устройство, регистрирующее Rg-лучи, которые отражаются от исследуемого образца или,

вовсе, проходят через него. Для генерации первичного рентгеновского излучения пользуются рентгеновскими трубками, которые входят в состав рентгеновских аппаратов, представляющих собой установки, питающие рентгеновские трубки. Для распознавания отраженных рентгеновских лучей в рентгенографическом анализе используют дифрактометры.

Во время исследования был использован метод порошка. Метод порошка (метод Дебая-Шерера) заключается в том, что снятие рентгенограмм ведется в камере, с использованием монохроматического рентгеновского излучения и полнокристаллических образцов из тонкодисперсного порошка, представленных в виде небольших цилиндров (диаметр обычно составляет 0,5...0,8 мм, высота 5...6 мм), плоского шлифа или порошка, приклеенного на подложку. Регистрация рентгеновского излучения осуществляется на узкой полоске фотопленки, которая свернута в цилиндр. Рентгеновские лучи отражаются от поликристаллического образца, в котором кристаллы располагаются хаотически. Причем некоторые из них ориентированы в направлении, удовлетворяющем уравнению Вульфа-Брегга.

Расшифровка рентгенограмм заключается в определении углов отражения  $\theta$  и межплоскостных расстояний  $d$  соответствующих дифракционным максимумам и оценке их относительной интенсивности.

На основании полученных для каждого пика значений  $\theta$  и известной длине волны  $\lambda$  применяемого рентгеновского излучения, определяют величины межплоскостного расстояния  $d$ , используя уравнение Вульфа-Брегга или с помощью справочных таблиц, где для различных длин волн рентгеновского излучения приведены значения  $d$  в зависимости от  $\theta$ . Значение  $d$  можно также найти с помощью прозрачных линеек, на которых нанесены совмещаемые с реперными отметками на рентгенограмме значения углов  $\theta$  и соответствующие им значения  $d$ .

### **2.3 Термические методы анализа**

Помимо рентгеновского анализа, в исследовательской практике широко используют и термический метод, который возможно применять как

самостоятельно, так и в совокупности с другими более эффективными физико – химическими методами.

В термический анализ входит совокупность трех методов: дифференциально-термический (ДТА), термогравиметрический или термовесовой (ТГ) и дифференциально-термогравиметрический (ДТГ). Особенность дифференциально-термического анализа заключается в изучении изменения структуры материала при его нагревании, а точнее, по сопровождающимся тепловым эффектам.

При физическо - химических процессах превращения вещества, энергия может поглощаться или выделяться из вещества в виде теплоты.

Регистратором тепловыделения выступает дифференциальная термопара, ее основное отличие от обычной термопары, заключается в более чувствительном



Рисунок 2.1 – Примеры проявления физико-химических реакций методе – отображение тепловыделения происходят с более глубокими пиками. Метод основан на том, что используется эталонное вещество, которое не претерпевает никакого превращения, и исследуемое, затем происходит нагревание последнего, параллельно изменение температуры образцов регистрируется и данные выводятся в виде функции температуры.

Температура в исследуемом веществе может как повышаться, так и понижаться, в сравнении с эталонным образцом, в течение всего процесса испытания. На дифференциальной кривой появляется температурный пик. Температурный максимум или минимум характеризует тот или иной физический и химический процессы. Известно, что при эндотермических процессах дифференциальная кривая отклоняется от нулевой линии вниз, а при экзотермических вверх.

Амплитуда отклонений, отражающая разницу между исследуемым и эталонным образцом, как раз и является показателем интенсивности термического процесса.

Экзоэффекты характерны для следующих физико-химических процессов:

- дегидратация;
- кристаллизация;
- перекристаллизация;
- окисление.

Эндоэффекты появляются при:

- полиморфном превращении;
- плавлении;
- разложении вещества;
- стеклоавнии.

Термический эффект характеризует площадь, прямопропорциональная тепловому эффекту превращения и обратно пропорциональная коэффициенту теплопроводности образца, амплитуде, температуре начала, максимума и конца термического эффекта.

Термический эффект определяется физико - химическими процессами, которые создаются в результате превращений, сопровождающимися изменением массы вещества.

Термический метод исследуемого образца проводят как при нагревании вещества с постоянной скоростью повышения температуры, так и при внесении материала в заранее разогретую до определенной температуры печь.

Основными деталями устройства для проведения ДТА являются:

- держатель образцов (блоки и тигли);
- термопара;
- нагревательная печь;
- терморегулятор;
- усилитель электродвижущей силы;
- регистрирующий прибор.

Перед термическим анализом образцов, проводят подготовительные работы: измельчают в ступке 1...2 г исследуемого вещества. В материале не должно находиться остаточной влажности, обычно ее удаляют при помощи вакуума, который создается при помощи водоструйного насоса. Затем обезвоженный порошок просеивают через сито 10 тыс. отв/см<sup>2</sup>. Из порошка отбирают навеску 0,3...0,5 г и помещают в платиновый, корундовый или какой-либо иной тигель. Обратит внимание на то, чтобы и навеска, и степень уплотнения у испытываемого образца и у эталона были идентичны для всех серий проводимых опытов.

Уменьшение навески исследуемого образца дает следующие преимущества: повышает разрушающую способность метода; способствует равномерному распределению температурного поля в образце, а отсюда резко снижается время фазовых превращений; уменьшается влияние на результаты анализа парциального давления газа, выделяющегося из образца в процессе его нагревания.

Анализируемые частицы по возможности должны быть максимально близки по размерам, а плотность упаковки материала в тигле более однородна.

Различная степень уплотнения исследуемого и эталонного веществ, приводит к нежелательным последствиям, при которых в процессе нагревания образцов их теплопроводность будет различной и в результате чего дифференциальная кривая отклонится от своего базисного положения. Влияние различной степени уплотнения исследуемого и эталонного веществ на характер дифференциальной кривой наиболее резко сказывается при низких температурах, т. е. в начале процесса нагревания образцов.

Расшифровка дериватограмм. Примером расшифровки будет содержание гидроксида кальция в цементном камне.

По потере массы в интервале температур 470...490 °С, соответствующему протеканию эндотермической реакции разложения Ca(OH)<sub>2</sub>, определяли его содержание в цементном камне согласно уравнению реакции:



$$x = \frac{a * 74}{18} * 100\%, \quad (2.3)$$

где  $x$  – содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в цементном камне, %;  $a$  – потери массы за счет отщепления воды при разложении  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

## 2.4 Электронно-микроскопический метод анализа

На данный момент, новейшие электронные микроскопы позволяют увеличивать изображение до  $10^6$  раз, тем самым возникает возможность рассматривать частицы размерами до 0,4 нм. Это стало возможным после того, как в микроскопии стали использовать электронные лучи, в которых длина волны в несколько раз короче длины волны видимого света.

Схема электронного микроскопа практически не отличается от светового. Вольфрамовая проволока, являющаяся катодом, при нагревании начинает испускать электроны. Так как между катодом и анодом начинает возникать разность потенциалов, которая равна нескольким десяткам кВт, то в результате электроны начинают двигаться с достаточно большой скоростью к аноду и проходят в отверстие магнитной линзы. Линза фокусирует данный поток электронов в плоскости объекта. Затем электроны оказываются во второй магнитной линзе, в плоскости которой создается увеличенное изображение объекта. Для отображения картинка, в плоскости устанавливается флюоресцирующий экран. Он позволяет получать только промежуточное изображение. Часть электронов, несущих определенную часть общего изображения, проходит через отверстие в центре экрана и при помощи третьей магнитной линзы фокусируется в увеличенном виде в плоскости. В плоскости конечного изображения также имеется флюоресцирующий экран, превращающий электронное изображение в световое. Под флюоресцирующим экраном помещается кассета с обычной фотографической пластинкой, которую можно заэкспонировать. Вся система микроскопа находится в колонке под вакуумом, равным  $1,33 \cdot 10^{-2} \dots 6,66 \cdot 10^{-3}$  Па. Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличений, даваемых линзами.

### 3 МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

При разработке составов самоуплотняющегося бетона первоначально был выбран наиболее эффективный суперпластификатор – MasterGlenium SKY 591, согласно рекомендациям, изложенным в СТО 70386662-306-2013. Затем были подобраны наиболее распространенные в нашем регионе микронаполнители, такие как: микрокремнезем, зола-уноса, доменный гранулированный шлак. Далее цемент вместе с пластификатором и микронаполнителем в разных дозировках затворяли водой с различным водоцементным отношением. Затем с помощью конуса (высота – 60мм, нижнее основание – 75мм, верхнее основание – 100мм) оценивали показатели расплыва и текучести цементного теста. По результатам данного эксперимента были отобраны наиболее подходящие составы, сочетающие в себе высокую подвижность и не имеющие водоотделения. Далее на основании полученных данных разрабатывали самоуплотняющийся бетон. Количество мелкого и крупного заполнителя выбирали исходя из рекомендаций методик Окамуры: насыпной объем заполнителя крупной фракции должен быть не более 50 %, а объемная часть песка – не более 40 % от объема бетона (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1 Основные этапы подбора состава СУБ по методу Окамуры

Оценка содержания воздуха в бетонной смеси	2...4 % в общем объеме
Определение содержания крупного заполнителя в бетоне ( $\varnothing > 4$ мм)	<50 % в общем объеме
Определение содержания мелкого заполнителя в растворе ( $0,125 \text{ мм} < \varnothing < 4 \text{ мм}$ )	<40 % в общем объеме
Отношения количества воды к мелкодисперсным составляющим	$V / \text{Вяз.} + \text{наполнитель} = 0,4 \dots 0,5$
Оптимизация свойств цементного теста и раствора. Расплыв конуса, определение текучести воронкой	Расплыв конуса $25 \pm 1$ см, Время истечения = 9...11 с
Оптимизация свойств бетона. Расплыв конуса, определение текучести воронкой	Расплыв конуса $65 \pm 5$ см, Время истечения = 5...20 с

В качестве мелкого заполнителя было решено использовать песок из отсева дробления, так как в обычных природных песках возможно присутствие илстых и (или) глинистых частиц, которые отрицательно влияют на эффективность



суперпластификатора [31, 38, 39]. Частицы глины адсорбируют на себе поликарбоксилаты и блокируют их воздействие на цемент, в результате необходимо увеличение дозировки дорогостоящей добавки, из-за снижения ее эффективности, что приводит к увеличению стоимости самого бетона. Кроме того, количество глинистых частиц может варьироваться в песке в зависимости от партии, тем самым это усложняет работу операторам БРУ, которым необходимо добиваться постоянства и стабильности свойств выпускаемой ими продукции, корректируя уже имеющуюся технологию производства СУБ. Поэтому применение искусственного песка из отсева дробления может быть оптимальным вариантом для получения в конкретных условиях самоуплотняющегося бетона, к тому же, являясь побочным продуктом дробления щебня, он имеет сравнительно низкую стоимость.

Согласно рекомендациям Окамуры, были подобраны предварительные составы СУБ и проведена оценка свойств бетонных смесей и бетонов, полученные результаты помещены в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Предварительные составы самоуплотняющегося бетона (кг/м<sup>3</sup>)

Состав/№ эксперимента	1	2	3	4	5
Цемент	470	450	470	450	350
Песок	1100	1000	1000	1000	1000
Щебень	850	750	750	750	750
Зола-уноса	90	80	80	80	70
Шлак	-	-	-	-	-
Микрокремнезем	-	10	37	20	52
Суперпластификатор	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Вода	242	227	245	235	229
<b>Отклики</b>					
Распływ конуса	55-60 см	60-65 см	47-50 см	55-60 см	50 см
Распływ конуса через 120 мин.	45 см	55-60 см	40-45 см	45 см	50 см
Прочность на 3 сут.	36 МПа	35 МПа	35 МПа	35 МПа	22 МПа
Прочность на 7 сут.	42 МПа	40 МПа	40 МПа	46 МПа	32 МПа
Прочность на 28 сут.	46 МПа	48 МПа	58 МПа	56 МПа	36 МПа

Окончание таблицы 3.2

<b>Состав/ № эксперимента</b>	6	7	8	9	10
Цемент	450	450	300	400	450
Песок	1000	1000	1000	1000	1000
Щебень	750	750	750	750	750
Зола-уноса	100	50	30	70	50
Шлак	100	50	150	100	50
Микрокремнезем	-	-	-	-	36
Суперпластификатор	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Вода	256	242	211	230	260
<b>Отклики</b>					
Распływ конуса	65-70 см	60 см	60 см	60 см	60 см
Распływ конуса через 120 мин.	65-70 см	60-65 см	60 см	60 см	60 см
Прочность на 3 сут.	28 МПа	31 МПа	23 МПа	29 МПа	26 МПа
Прочность на 7 сут.	36 МПа	36 МПа	29 МПа	33 МПа	29 МПа
Прочность на 28 сут.	46 МПа	44 МПа	39 МПа	49 МПа	37 МПа

## **ВЫВОДЫ**

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

– Введение в бетон в качестве наполнителя микрокремнезема, способствует увеличению его прочности в процессе твердения, однако он негативно влияет на реологические свойства СУБ, увеличивая водопотребность смеси и незначительно увеличивая подвижность;

– введение золы-уноса положительно сказывается на свойствах бетонной смеси, улучшается текучесть, подвижность и удобоукладываемость, но воздействие золы-уноса на повышение прочности бетона – незначительно;

– использование доменного гранулированного шлака – наиболее эффективно проявляет свои свойства в самоуплотняющихся бетонах. С одной стороны, он выступает как хороший тонкодисперсный наполнитель, обеспечивая повышение реологических свойств смеси, с другой стороны, проявляет себя в качестве активной составляющей вяжущего и позволяет бетону набирать дополнительную прочность в поздние сроки твердения;

– тонкодисперсная составляющая искусственного песка (отсева), представляющая собой минералы диорита и гранодиорита – положительно сказывается на реологических свойствах бетона и может быть использована в самоуплотняющейся бетонной смеси – как дополнительный вид микронаполнителя, для увеличения текучести бетонной смеси.

#### 4 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

По результатам исследования можно выделить несколько наиболее оптимальных составов с хорошими функциональными свойствами, которые представлены в таблице 4.1 и рассмотреть их технические характеристики более подробно.

Таблица 4.1 – Разработанные составы самоуплотняющегося бетона класса В30, В35 (кг/м<sup>3</sup>)

Состав/ Класс бетона	В30	В35
Цемент	300	450
Песок	1000	1000
Щебень	750	750
Зола-уноса	30	100
Шлак	150	100
Микрокремнезем	-	-
Суперпластификатор	3,5	3,5
Вода	211	256
<b>Отклики</b>		
Распływ конуса	60 см	65-70 см
Распływ конуса через 120 мин.	60 см	65-70 см
Прочность на 3 сут.	23 МПа	28 МПа
Прочность на 7 сут.	29 МПа	36 МПа
Прочность на 28 сут.	38 МПа	46 МПа
Морозостойкость	F <sub>1</sub> 200	F <sub>1</sub> 300
Пористость	4,72%	3,95%
Водонепроницаемость	W10	W12

##### 4.1 Исследование структуры самоуплотняющегося бетона

Изучение фазового состава структуры проводилось по данным дифференциально-термического анализа (ДТА), на дериватографе системы LuxxSTA 409 фирмы

Netsch, и рентгенофазового анализа (РФА), на дифрактометре ДРОН-3М (модернизированной приставкой PDWin).

Данные методы позволяют исследовать фазовый состав, структуру формирующегося цементного камня и оценить ее стабильность при твердении.

#### 4.1.1 Дериватографический анализ

С помощью дериватографического метода в первую очередь было определено количество химически связанной воды и содержание свободного гидроксида кальция.

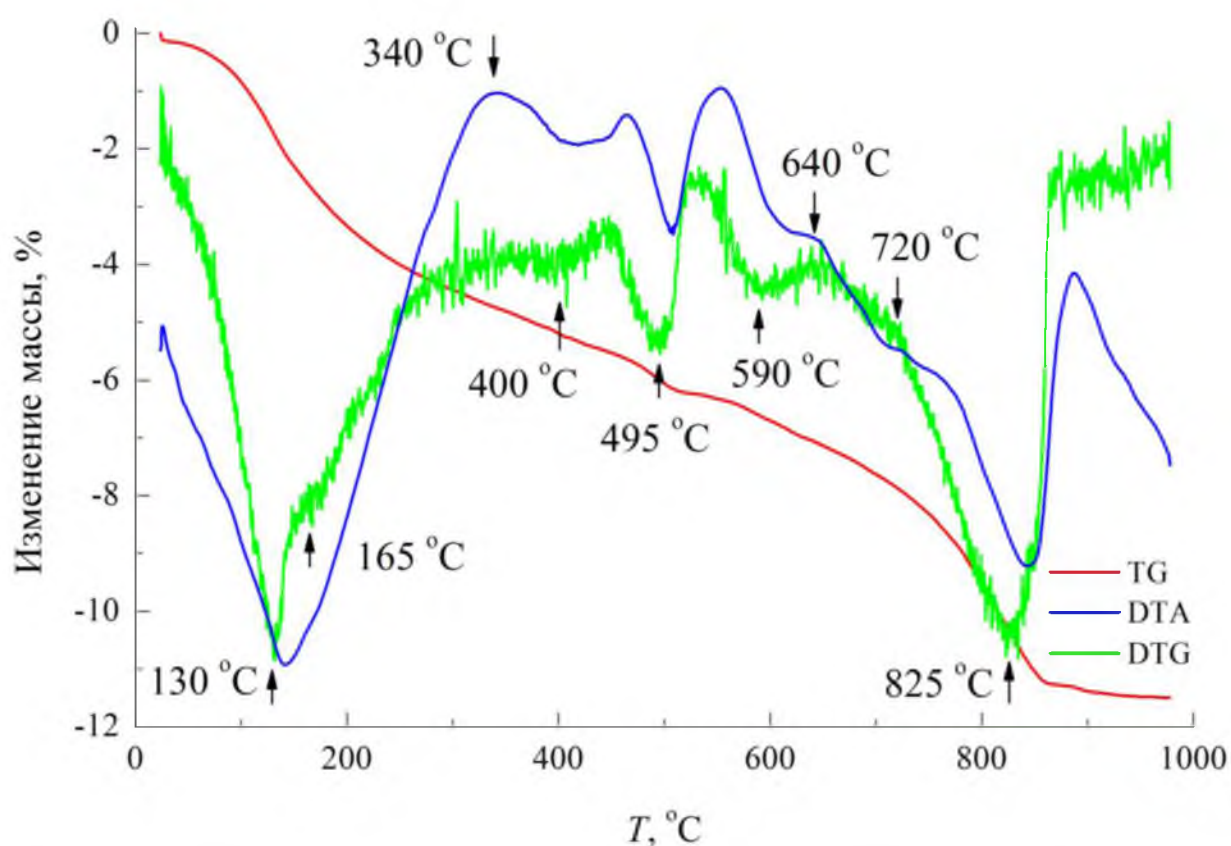


Рисунок 4.1 – Дериватограмма СУБ класса В30

- Содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – 3,7 %;
- Химически связанная вода W – 11,2 %.

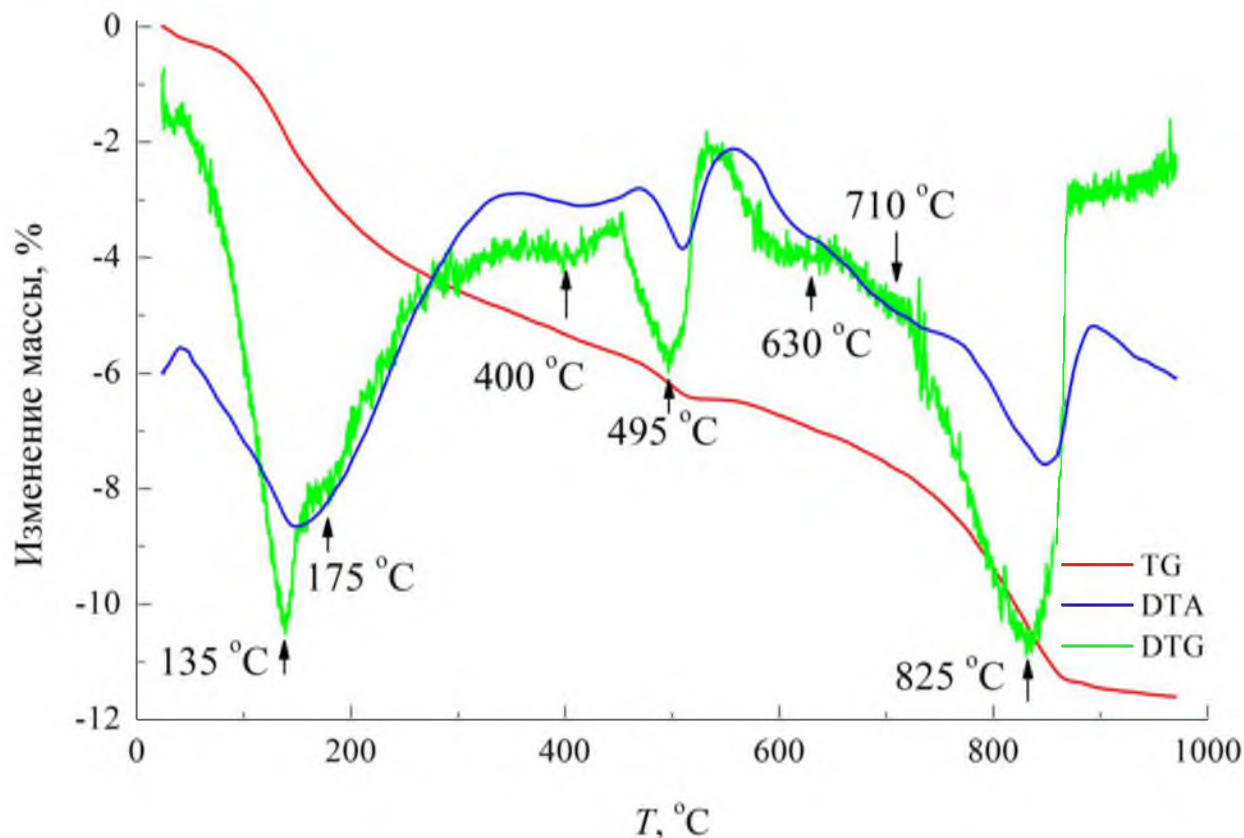


Рисунок 4.2 – Дериватограмма СУБ класса В35

- Содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – 3,7 %;
- Химически связанная вода  $W$  – 11,3 %.

При обработке результатов дериватограмм, было обнаружено, что гелевидной фазы С-S-H(I) значительно больше, чем С-S-H(II), а алюминатные фазы представлены стабильными гидроалюминатами – кубическими С3АН6 и гексагональными САН10, а также гидрогранатами С3АSH4, которые в дальнейшем, с изменением  $R_h$  – среды цементного камня при эксплуатации, не подвергаются процессам перекристаллизации и способствуют сохранению прочности камня.

## 4.1.2 Рентгенографический анализ

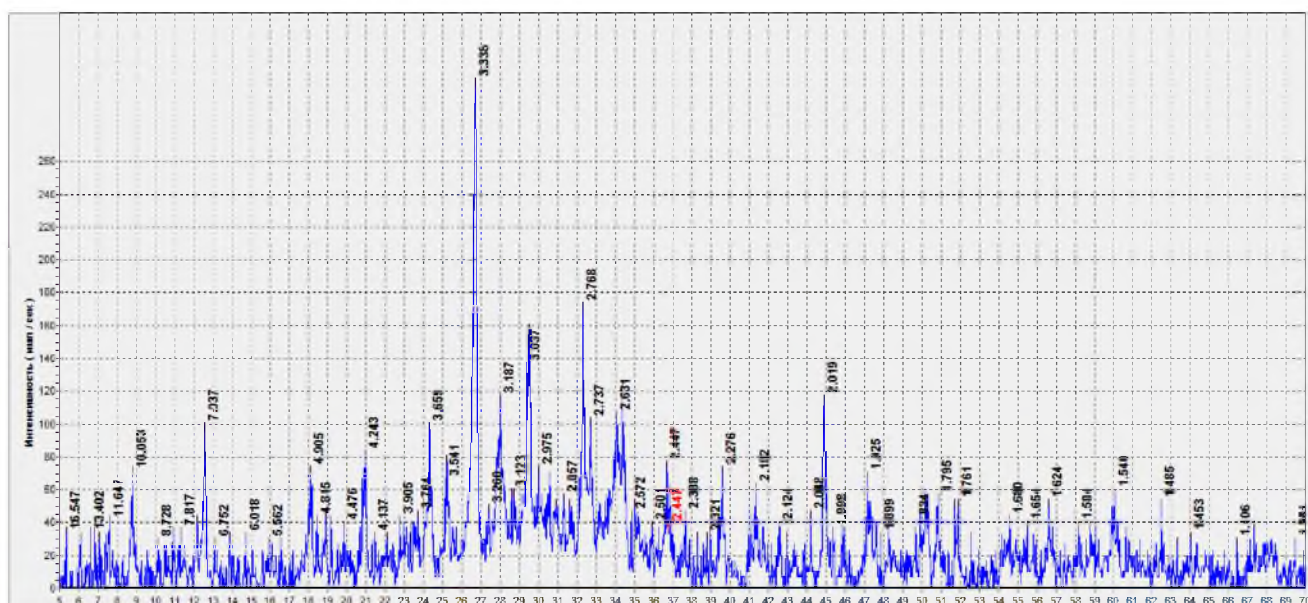


Рисунок 4.3 – РФА СУБ класса В30

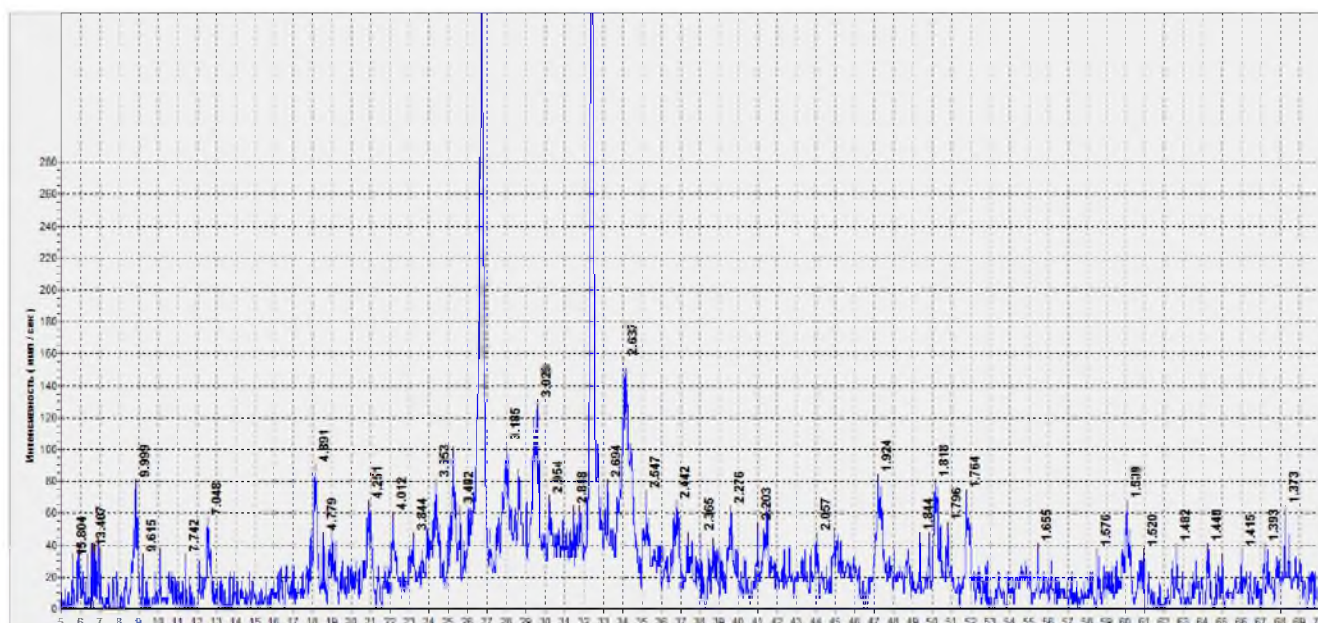


Рисунок 4.4 – РФА СУБ класса В35

Использование золы-уноса с молотым доменным шлаком приводит к формированию цементного камня, который содержит:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$   $d/n=4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79 \text{ \AA}$ , преимущественно низкоосновные гидросиликаты кальция типа C-S-H (I) фазы и стабильные гидроалюминаты кубической сингонии типа  $\text{C}_3\text{AH}_6$   $d/n= 1,7; 1,63 \text{ \AA}$ , гидрогранатов  $d/n= 2,72 - 2,8 \text{ \AA}$  и высокоосновного гидросиликатного геля. Структура цементного камня в бетоне сформирована, в основном, аморфизированными гидросиликатами кальция.

## **5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Обеспечение безопасности трудового процесса – это необходимое условие любой деятельности. В условиях научно-технического прогресса, развития техники и технологий проблема безопасности жизнедеятельности приобретает все большую актуальность.

В нашей стране приняты специальные нормативно-правовые акты, направленные на обеспечение условий труда, которые отвечают требованиям сохранения жизни и здоровья работников в их трудовой деятельности. Данные акты собраны в системе стандартов безопасности труда (ССБТ), действующей на сегодняшний день.

Конституция Российской Федерации [4] в качестве одного из основных прав граждан закрепляет право на охрану здоровья (статья 41). Естественным следствием этого является и право работника на здоровье и безопасные условия труда, которые также закреплены в Конституции (статья 37).

Организация и руководство работой по охране труда, а также ответственность за состояние работы по охране труда на предприятии возлагается на руководителя (директора, начальника, управляющего) и главного инженера предприятия.

### **5.1 Краткое описание рассматриваемого проекта, процессов, применяемого оборудования, механизмов, условий труда**

Дипломная работа заключается в разработке самоуплотняющегося бетона со стабильными свойствами на рядовых материалах Челябинской области. Работа проводилась на базе кафедры «Строительные материалы» архитектурно-строительного института ЮУрГУ.

Бетонная смесь представляет собой подвижную смесь вяжущего, заполнителя и добавок, затворенных водой. В данной работе используется цементное вяжущее, щебень и песок в качестве заполнителя, различные добавки (пластификатор, микрокремнезем, шлак и зола-уноса) и затворитель – вода.

В ходе разработки кладочной смеси использовалось следующее оборудование:



- бетоносмеситель;
- виброплощадка;
- весы электронные и механические;
- гидравлический пресс для испытаний на сжатие;
- сушильный шкаф.

Используемые инструменты:

- измерительные колбы, мерные цилиндры;
- мастерки;
- чаши для перемешивания смесей.

Материалы, применяемые в данной работе: цемент Цем I 42.5, зола-уноса, шлак, микрокремнезем, суперпластификатор на базе эфиров поликарбоксилатов.

## **5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением №1)» при изготовлении бетонных смесей в лабораторных условиях опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические;

Физические опасные и вредные производственные факторы подразделяются на:

- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;

- повышенный уровень вибрации;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- пониженная контрастность;
- повышенная пульсация светового потока;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок,

инструментов и оборудования;

Химические опасные и вредные производственные факторы подразделяются:

1. По характеру воздействия на организм человека на:

- токсические;
- раздражающие;

2. По пути проникания в организм человека через:

- органы дыхания;
- кожные покровы и слизистые оболочки.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на следующие:

1. Физические перегрузки:

- статические;
- динамические.

2. Нервно-психические перегрузки:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда.

### **5.3 Микроклимат рабочей зоны.**

В рабочей зоне производственного помещения микроклимат оказывает большое влияние на здоровье человека, его работоспособность. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей

средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха и поверхностей; относительная влажность и скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения.

В соответствии с [5], работа, производимая в лаборатории, а именно разработка, относится к категории легких работ класса 1б. Интенсивность энергозатрат от 121 до 150 ккал/ч. Работы производятся стоя и сопровождаются незначительными физическими нагрузками.

Санитарными нормами проектирования предприятий для рабочей зоны производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» установлены допустимые параметры: температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха. Оптимальные и допустимые параметры представлены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21–23	60–40	0,1
Теплый	22–24	60–40	0,2

Таблица 5.2 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	24–25	60–40	Не более 0,2
Теплый	28–30	60–40	0,1–0,3

Для поддержания постоянных значений параметров воздуха – влажности, температуры и скорости движения существует система вентиляции и кондиционирования.

### 5.3.1 Запыленность и загазованность рабочей зоны

Вредными веществами являются пыль, поднимающаяся в процессе работы, и токодсперсие материалы, вызывающие раздражающее действие и проиикающие через органы дыхания. Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны возникает в результате дозирования и перемешивания пылящих компонентов, которые применяются в научном исследовании. Такими компонентами являются цемент, шлак, зола-уиоса и микрокремиезем. Поскольку эти материалы с высокой удельной поверхностью, они способны оседать в легких человека, и при постоянном их воздействии вызвать одышку, кашель, сухость во рту. Также при длительном воздействии пылящих материалов человек подвержен риску заболевания спликозом.

Для предотвращения попадания вредных веществ необходимо использовать средства индивидуальной защиты.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
Пыль цемента	6	а	4	ф
Микрокремиезем	1	а	3	ф
Зола-уиоса	0,8	а	3	ф
Шлак	6	а	4	ф

Класс опасности:

3 класс – опасные;

4 класс - умеренно опасные.

Особенности действия на организм человека:

Ф - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

В помещениях, где хранятся добавки или ведут работы с их использованием, запрещается принимать пищу. При попадании раствора добавки в глаза или на слизистые оболочки необходимо срочно промыть пораженные участки чистой водой или 2 % раствором борной кислоты.

### 5.3.2 Освещение рабочей зоны

Уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать характеру выполнения зрительной работы. Грамотно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда.

Правильно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда. ГОСТ 12.0.003 [6] содержит следующие опасные и вредные факторы, связанные с неудовлетворительным освещением:

- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света;
- пониженная контрастность;
- прямая и отраженная блескость;
- повышенная пульсация светового потока.

Воздействие этих факторов вызывает преждевременное утомление, притупляет внимание, снижает производительность труда, может привести к ухудшению зрения и оказаться причиной несчастного случая.

В лаборатории предусмотрено естественное и искусственное освещение. Естественное (боковое) освещение помещений осуществляется через световые проемы в наружных стенах лабораторного цеха (3 окна размерностью 3x4 м).

Искусственное освещение обеспечивается шестнадцатью блоками люминесцентных ламп, расположенными над рабочими местами в цехе.

### 5.3.3 Вибрация на рабочем месте

В лаборатории источниками вибрации является виброплощадка. При работе машины и механизмов вибрации вызываются инерционными силами, силами трения, движением элементов с переменным ускорением, соударением деталей. Вибрация от этого оборудования передается на рабочие места и может оказать вредное воздействие на рабочего.

При длительном действии сильной вибрации на организм человека у него изменяется чувствительность кожи рук, появляется общее утомление, головная боль, ослабление внимания, некоторое нарушение координации движения, снижение работоспособности. При повышенной интенсивности и длительном воздействии вибрации могут развиваться профессиональные заболевания.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентируют документы ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», СН-2.2.4/2.1.8.556-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Так как в лаборатории виброплощадка малогабаритная и длительно не используются, поэтому вредное воздействие на работника отсутствует.

Наиболее действенным средством защиты человека от вибрации является устранение непосредственного его контакта с вибрирующим оборудованием. Замена и усовершенствование технологических операций, конструктивные усовершенствования, применение средств внешней виброзащиты, которые размещаются между источником вибрации и руками человека, а также постоянный контроль за исправностью оборудования и своевременным планово-предупредительным его ремонтом, так как, в процессе его эксплуатации и износа, особенно для ручного механизированного оборудования, происходит выражение усиления вибрации. В целях профилактики рабочие должны использовать средства индивидуальной защиты: рукавицы или перчатки, спец. обувь.

Для предотвращения вредного воздействия шума и вибрации в лаборатории необходимо:

- эксплуатировать только исправные машины, а также проводить периодический осмотр и необходимый ремонт техники;
- работать лицам не моложе 18 лет, прошедшим медицинский осмотр, имеющим соответствующую квалификацию и сдавшим технический минимум по правилам безопасного выполнения работ;
- выполнение работ при наличии средств индивидуальной защиты от шума (наушники);
- снижать уровень звукового давления архитектурно-акустическими мероприятиями;
- снижение шума за счет конструктивных решений;
- выбирать рациональный режим труда и отдыха рабочих.

#### 5.3.4 Шум на рабочем месте

Шум неблагоприятно воздействует на человека. Продолжительное действие сильного шума на организм вызывает общее утомление, повышение кровяного давления, снижение остроты слуха, ослабление внимания, некоторого нарушения координации движения и снижение работоспособности. Постоянное воздействие шума приводит к бессоннице, раздражительности.

В лаборатории источником шума является устройство для испытания образцов-балочек на изгиб и пресс для испытания их же на сжатие, виброплощадка, бетоносмеситель. Однако, в виду непродолжительности воздействия и малых габаритов, данные приборы не оказывают значительного вредного влияния на организм человека.

Также для борьбы с механическим шумом используют смазочные и прокладочные материалы. Коллективным методом защиты от шума являются звукопоглощающие облицовки, перегородки, кожухи. Индивидуальные меры защиты включают использование вкладышей, наушников.

## 5.4 Безопасность производственных процессов и оборудования

При работе использовалось оборудование: бетономеситель, виброплощадка, гидравлическая пресса.

Все работники должны быть ознакомлены с правилами безопасного поведения в лаборатории. Также, должна быть проведена проверка рабочего на знание этих правил.

Основные мероприятия, обеспечивающие безопасность производственных процессов:

- Конструкция производственного оборудования должна исключать опасность для работающих. Студент или преподаватель, приступая к работе, обязан проверить состояние и исправность оборудования.

- Размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего.

- Работать разрешается только в установленных нормативными документами средствах индивидуальной защиты.

- Допуск к работе лиц, прошедших инструктаж по охране труда на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам работы и проверка знаний.

- На территории лаборатории запрещается находиться посторонним людям без соответствующего разрешения, а также не прошедших инструктаж по охране труда.

Общие требования безопасности согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [7]:

1) Требования к конструкции и ее отдельным частям:

- конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих;

- конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного



смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа);

– движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование;

– конструкция зажимных, захватывающих, подъемных и загрузочных устройств или их приводов должна исключать возможность возникновения опасности при полном или частичном самопроизвольном прекращении подачи энергии, а также исключать самопроизвольное изменение состояния этих устройств при восстановлении подачи энергии;

– производственное оборудование должно быть пожаро-, взрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации;

– производственное оборудование, являющееся источником шума, ультразвука и вибрации, должно быть выполнено так, чтобы шум, ультразвук и вибрация в предусмотренных условиях и режимах эксплуатации не превышали установленные стандартами допустимые уровни;

2) требования к рабочим местам:

– размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего;

– при проектировании рабочего места следует предусматривать возможность выполнения рабочих операций в положении сидя или при чередовании положений сидя и стоя, если выполнение операций не требует постоянного передвижения работающего.

Требования к работе гидравлического пресса:

- конструкция гидравлических прессов должна отвечать требованиям ГОСТ 12.2.017 «Оборудование кузнечно-прессовое» и ГОСТ 12.2.117 «Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические»;
- все детали пресса, находящиеся под давлением, необходимо подвергать постоянному осмотру, периодическим освидетельствованиям и испытаниям;
- подвижная траверса пресса должна скользить по направляющим с минимальным зазором, не допуская перекоса;
- подвижная траверса не должна доходить до верхнего положения на 30...40 мм, для чего пресс должен быть оборудован конечным выключателем. На колоннах должны быть установлены специальные ограничители (или конечные выключатели) хода вииз;
- прессы должны быть снабжены устройством, предотвращающим самопроизвольное опускание подвижной траверсы;
- прессы должны быть снабжены устройствами для удержания подвижной траверсы в верхнем положении при выполнении ремонтных и наладочных работ;
- при проведении испытаний запрещается поправлять образец без выключения пускового механизма и полной остановки траверс.

Для безопасной работы с сушильным агрегатом необходимо соблюдать следующие правила:

- Загрузочное окно агрегата должна закрываться плотно прилегающей заслонкой с необходимой теплоизоляцией.

Требования к сушильным агрегатам:

- конструкция аппаратов и установок должна обеспечивать надежность, долговечность и безопасность их эксплуатации в течение срока службы;
- сушильный агент и режимы сушки должны быть выбраны с учетом пожаро- и взрывоопасных свойств высушиваемого материала;
- поверхности аппаратов и установок температурой выше 45 °С должны быть изолированы.

– При соблюдении всех требований, приведенных выше, обеспечивается безопасность условий труда.

## 5.5 Электробезопасность

В данной работе используются электроустановки напряжением до 380 В. Для безопасной эксплуатации электрических установок, работающих в цехе, согласно ГОСТ 12.1.019-79-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1)» [8], используют конструктивные меры защиты – зануление, заземление, системы защитного отключения и другие. Зануление устраивают на случай повреждения изоляции и возможности замыкания тока на металлических частях электроустановок с изолированным нулем. По ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменениями №1)» заземление можно производить с естественным и искусственным заземлителями. Естественные – металлические трубопроводы и конструкции зданий, соединенные с землей. Искусственные – забитые в землю стальные трубы диаметром 50 мм или металлические уголки размером 50×50 мм.

Использование напряжения в 12 или 36 В исключает поражение электрическим током. При использовании напряжения свыше 36 В должно обеспечиваться ограждение проводов и токоведущих частей.

В лабораторные провода выполнены изолированными. Пусковые устройства защищены кожухами, помещенные в запирающиеся ящики и заземленные.

Защитное отключение осуществляется автоматически при возникновении опасного напряжения на металлических частях оборудования в связи с порчей изоляции.

Во избежание термических ожого необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности при работе с электроприборами. Значение ПДУ напряжения прикосновения токов, протекающих через тело человека, при аварийном режиме электроустановок для постоянного и переменного тока устанавливается ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов» [9].

Таблица 5.4 – ПДУ напряжений прикосновения токов

Режим работы	Род тока					
	Переменный (50 Гц)			Постоянный		
	U, В	I, мА	Продолжительность протекания силы тока	U, В	I, мА	Продолжительность протекания силы тока
Нормальный	2	0,3	< 10 мнн	8	1	< 10 мнн
Аварийный	20	6	> 1 сек	–	–	–

По электробезопасности помещение лаборатории относится к категории без повышенной опасности.

Данное оборудование регулярно проверяется на наличие неисправностей. К работе с ним не допускаются лица, не изучившие описание эксплуатации и не расписавшиеся в журнале по технике безопасности.

Для защиты человека от поражения электрическим током применяются следующие меры:

- все электроустановки согласно ГОСТ 12.1.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» заземлены медными проводами. Заземлитель и заземленный провод присоединен при помощи хомута из меди или латуни, на участке зачищенном от краски;
- согласно ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования», обеспечена недоступность токоведущих частей электроустановок и приборов;
- контроль изоляции и профилактика ее повреждения.

### 5.6. Пожаробезопасность

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [10], являются:

- повышенная температура окружающей среды;
- пламя и искры;
- токсичные продукты горения и термического разложения;

- дым;
- понижённая концентрация кислорода.

Помещение лаборатории по пожароопасности относится к категории Д – пониженной пожароопасности, оснащена системой пожарной сигнализации, пожарными гидрантами, первичными средствами защиты от пожара: ОП-4 (твёрдые вещества, жидкие вещества, газообразные вещества), ОУ-4 (для тушения пожаров горючих жидкостей, пожаров газообразных веществ, а также пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением не более 10000 В). Кроме того, все специалисты, практиканты, студенты в обязательном порядке проходят вводный инструктаж по правилам пожарной безопасности перед допуском к работе в лаборатории. Курение разрешено в специально отведенных местах.

## 6. ЭКОНОМИКА

Таблица 6.1. – Расчёт себестоимости бетонных смесей предлагаемого СУБ класса В30 (1) и СУБ – аналогов (2 и 3)

Сырьевые материалы и их цены			Расход, кг/м <sup>3</sup>			Стоимость, руб/м <sup>3</sup>		
Перечень материалов	Цены*	Ед. изм.	1	2	3	1	2	3
Щебень фр. 5-20, Др12	400	руб/т	750	750	750	300	300	300
Песок, Мкр 2,5	300	руб/т	-	865	1050	-	259,5	345
Цемент - ПЦ 500 Д0	4200	руб/т	300	280	400	1260	1176	1680
Искусственный песок	120	руб/т	1000	-	-	120	-	-
Граншлак	2000	руб/т	150	-	-	300	-	-
Зола-уноса	1400	руб/т	70	-	100	98	-	140
Известковый наполнитель	2500	руб/т	-	245	-	-	612,5	-
Пластификатор	160	руб/кг	3	4,2	4,2	480	672	672
Итого себестоимость бетонной смеси, руб/м <sup>3</sup> :						<u>2558</u>	3020	3137

\* представлены средние рыночные цены сырьевых материалов по г. Челябинску на октябрь 2016 года.

1 – Один из разрабатываемых составов СУБ, класса В30.

2 – Европейский аналог, класс В30 (по данным журнала «Промышленные страны Сибири» №6-7(90) июнь-июль 2014г. стр. 38-40).

3 – Отечественный аналог, класс В30 (по данным журнала «Технологии бетонов» Выпуск №10 2008 год.

Таблица 6.2. – Технико-экономическое сравнение с аналогами

Характеристики	Предлагаемый СУБ	СУБ-аналог	
		2	3
Подвижность бетонной смеси	P6	P6	P5
R <sub>сж</sub> , МПа	42	38,5	40
R <sub>изг</sub> , МПа	5,0	4,7	5,0
Водонепроницаемость, W	10	12	14
Себестоимость СУБ, руб/м <sup>3</sup>	2558	3020	3137

## **ВЫВОДЫ**

- Таким образом, при сравнении разрабатываемых составов с существующими аналогами было установлено, что проектируемый состав дешевле на 18.5% европейских и отечественных аналогов;
- эксплуатационные характеристики разработанных бетонов не уступают аналогам;
- разрабатываемые составы найдут эффективное применение в монолитном строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений;
- при внедрении разрабатываемых составов в производство, это не повлечет за собой переналадку оборудования. Составы будут отличаться лишь сырьевыми материалами для получения СУБ.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В результате проведенного исследования были получены составы самоуплотняющегося бетона классов В30-В35.
2. Бетонная смесь показала высокие реологические характеристики по подвижности и сохраняемости. А также, достаточно высокие функциональные свойства, в частности прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, что дает возможность использовать их при монолитном строительстве.
3. Применение искусственного песка из отсева дробления в самоуплотняющихся бетонных смесях позволяет:
  - получать стабильную бетонную смесь с требуемой для СУБ подвижностью;
  - создавать бетон с заявляемыми характеристиками;
  - использовать в качестве песка – отход производства дробления щебня;
  - обеспечивать экономический эффект при производстве СУБ.

По данной работе были опубликованы статьи:

- «Разработка составов и исследование свойств самоуплотняющихся бетонов на рядовых материалах Челябинской области» журнал Вестник Южно-Уральского государственного университета. г. Челябинск – 2016. - №3. – С. 55-59.
- «Оценка возможности применения отходов промышленности в самоуплотняющихся бетонных смесях» журнал Строительство: новые технологии, новое оборудование. г. Москва – 2017. -№1. С. 17-23.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ACI 237R-07. Self-consolidating Concrete. ACI Committee 237, 2007.
2. ACI SP233 Workability of Self-consolidating Concrete 2008.
3. ERMCO – European Ready-mixed Concrete Organization – Европейская ассоциация по готовым бетонным смесям. The European Guidelines for Self-compacting Concrete – Руководство по СУБ, 2005.
4. Конституция (1993). Конституция Российской Федерации. – М.: Изд-во «Экзамен», 2004. – 64 с.
5. ГОСТ 12.1.005-88 (1999, с изм. №1 2000). ССБТ. Общие санитарногигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 17 с.
6. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением №1). – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 2 с.
7. ГОСТ 12.2.003-91 (2001). ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 37 с.
8. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменением №1). – М.: Издательство стандартов, 1897. – 4с.
9. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (с Изменением №1). – М.: Издательство стандартов, 1982. – 5с.
10. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная опасность. Общие требования (с Изменением №1). – М.: Издательство стандартов, 1991. – 23 с.
11. Александров, Я.А. Выбор сырьевых материалов для производства самоуплотняющихся бетонов / Я.А. Александров // Технология бетонов №3-4. 2011. – С. 18-19.
12. Болотских, О.Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика / О.Н. Болотских // Технологии бетонов. 2008. № 10. С. 28-31.

13. Бычков, М.В. Самоуплотняющиеся бетоны пониженной плотности с применением вулканического туфа / М.В. Бычков // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3 (26).

14. Волков, Ю. С. Самоуплотняющиеся смеси - новое слово в технологии бетона. Ч. 1 / Ю. С. Волков // Технологии бетонов. - 2014. - № 9. - С. 30-35 : табл. - (Технологии). - Белград.: с. 35 .

15. Войлоков, И.А. Самоуплотняющиеся бетоны. Новый этап развития бетоноведения / И.А. Войлоков // Бетоны. 2008. № 4. С. 5-8.

16. Замчалин, М. Н. Выбор суперпластификаторов для самоуплотняющихся бетонов / М.Н. Замчалин, М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкнна // Современные научные исследования и инновации. 2015.

17. Калашников, В. И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 20–23.

18. Калашников, В. И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В. И. Калашников // Строительные материалы. 2008. № 10. С. 4–6.

19. Комаринский, М.В. Литье и самоуплотняющиеся бетонные смеси / М.В. Комаринский, С.И. Смирнов, Д.Е. Бурцева // Производственное, научно-исследовательское и проектно-конструкторское учреждение «Венчур». – Санкт-Петербург, 2015. №11. С. 112-124.

20. Коровкин, М. О. Принципы создания и применения самоуплотняющегося бетона / М.О. Коровкин, М.Н. Замчалин, Н.А. Ерошкнна // Молодой ученый. – 2015. – №5. – С. 165-168.

21. Матвеев, Д.В. Разработка составов и исследование свойств самоуплотняющихся бетонов на рядовых материалах Челябинской области / Д.В. Матвеев, И.М. Иванов, Т.Н. Черных, Л.Я. Крамар // Вестник Южно – Уральского государственного университета. – 2016. - №3. – С. 55-59.

22. Несветаев, Г. В. Самоуплотняющиеся высокопрочные и легкие бетоны на пористых заполнителях для эффективных конструкций / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк А. Н. // – Технологии бетонов №1-2. 2011. – С. 57-59.

23. Несветаев, Г.В. Некоторые вопросы применения добавок для бетонов / Г.В. Несветаев // Бетон и Железобетон. 2011. №1. С. 78-80.
24. Несветаев, Г. В. Самоуплотняющиеся бетоны: усадка / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Стронтельные материалы. 2009. №.8 С. 52–53. 15.
25. Оучи, М. Самоуплотняющиеся бетоны: разработка, применение и ключевые технологии / М. Оучн // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: труды 1-й Всерос. коиф. по бетону и железобетону. — Москва, 2001.- С. 209–215.
26. Суздальцев, О. В. Новые высокоэффективные бетоны / О. В. Суздальцев, В. И. Калашннков, М. Н. Мороз, Г. П. Сехпосян // Новый уннверситет. Серия: Техннческне наукн. 2014. № 7–8 (29–30). С. 44–47.
27. Словьянчнк, А.Р. Ппрнмененне самоуплотняющихся бетонов в транспортном строительстве / А.Р. Словьянчик, И.С. Пуляев, Д.Е. Нагорный // Бетон и Железобетон. 2012. №1
28. Тарасеева, Н. И. Роль безотходных технологий в расширении сырьевой базы для получения эффективных моднфицпрующих добавок и активных наполнителей в цементные растворы и бетоны / Н. И. Тарасеева, А. В. Воскресенский, А. С. Тарасеева // Новый уннверситет. Серия: Техннческне наукн. 2014. № 10 (32). С. 90–93.
29. Феррари, Г. Самоуплотняющийся бетон для моста «Калатрава» в Венеции / Г. Феррари, Ф. Сурико // Бетон и Железобетон. 2006. №3. С. 28-29.
30. Шестерннн, А. И., Свойства тоикого наполнителя для бетона из лома железобетонный конструкций / А.И. Шестернин, О.А. Козюра, М.О. Коровкин // Актуальные вопросы строительства: материалы Междунар. науч.-техн. коиф.: Ч. 1 – Саранск: Изд-во Мордовского гос. ун-та, 2008. – С. 238–242.
31. Lei, L. A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance / L. Lei, J. Plank // Cem. Concr. Res.2012. – Vol. 42. – Pp. 118–123.
32. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p.
33. Okamura, H. Mix design for self-compacting concrete / H. Okamura, K. Ozava // Concrete Library of the JSCE. 1995. № 2. P. 107-120.

34. Kitamura, H. Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete / H. Kitamura, T. Nishizaki, H. Ito, R. Chikamatsu, F. Kamada, M. Okudate // Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete. 1999. P. 262-291.

35. Sakai, E. Molecular Structure and Dispersion-Adsorption Mechanism of Comb-Type Superplasticizers Used in Japan / E. Sakai, K. Yamada, A. Ohta // Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. 1(1). 16–25.

36. Okamura, H, et al. Mix-design for self-compacting concrete / H. Okamura, et al. // Concrete Library of JSCE. – June 1995. – No. 25. -P.107–120.

37. Horst G. and Joerg R. Self compacting concrete – another stage in the development of the 5-component system of concrete // Betontechnische Berichte (Concrete Technology Reports), Verein Deutscher Zementwerke. – Dusseldorf, 2001. P. 39–48.

38. Ng, S. Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers. / S. Ng, J. Plank // Cement and Concrete Research, 2012. – Vol. 42. – Pp. 847–854.

39. Long Xiong. Effect of typical clay upon the dispersion performance of polycarboxylate superplasticizer. / Long Xiong, Guangjun Zheng, Yao Bi, Chengfei Fu. // Proceedings of 2015 International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering (MEBE 2015). 2015.