



## АННОТАЦИЯ

Михайлов А.В. «Повышение водонепроницаемости бетонов путем введения кремний содержащих добавок» – Челябинск: ЮУрГУ, Стр. мат. и изд., 2017, с.102, ил.26, фор.5, табл.33.

Библиографический список 85–наименований.

В дипломной работе представлен обзор основных теоретических вопросов, затронутых в ходе выполнения данной исследовательской работы, приведены поставленные цели и задачи, представлено описание используемых материалов и методов исследования, приведены данные экспериментов, проведен анализ результатов исследования, представлен расчет сравнительной экономической эффективности от применения комплексной добавки в бетонных смесях, представлены основные аспекты безопасности труда и жизнедеятельности.

					<i>08.04.01.2017.161.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Михайлов А.В.</i>			<i>Повышение водонепроницаемости бетонов путем введения кремний содержащих добавок</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бутакова М.Д.</i>					5	102
<i>Н. Контр.</i>		<i>Черных Т.Н.</i>				<i>ЮУрГУ Кафедра «Строительные материалы и изделия»</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Черных Т.Н.</i>						

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	10
1.1 Понятие водонепроницаемости бетона .....	10
1.2 Влияние элементов структуры бетона на его водонепроницаемость	13
1.2.1 Цементный камень.....	13
1.2.2 Крупный и мелкий заполнитель.....	23
1.3 Методы увеличения водонепроницаемости бетона .....	23
1.3.1 Добавки для уплотнения структуры бетона.....	24
1.3.2 Применение бетонополимеров .....	27
1.3.3 Бетоны с пропиткой поверхности .....	30
1.3.4 Бетоны пропитанные серой .....	32
1.3.5 Введение кольматирующих добавок .....	35
1.3.6 Введение активных минеральных добавок .....	37
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ .....	42
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	43
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	44
2.1 Методы исследования.....	44
2.1.1 Свойства сырьевых материалов .....	44
2.1.2 Свойства бетонной смеси.....	45
2.1.3 Свойства бетона .....	45
2.1.4 Дифференциально-термический анализ.....	46
2.1.5 Микроскопический анализ.....	47
2.1.6 Математический метод планирования эксперимента.....	47
2.2 Характеристика сырьевых материалов.....	47
2.2.1 Цемент.....	47
2.2.2 Мелкий заполнитель.....	48
2.2.3 Крупный заполнитель.....	50
2.2.4 Микрокремнезем.....	51
2.2.5 Зола-унос.....	56

2.2.6 Аэросил .....	57
2.2.7 Метакаолин.....	58
2.2.8 Добавка суперпластификатор.....	59
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ .....	61
3.1 Подбор составов комплексных модификаторов.....	61
3.1.1 Подбор оптимальных дозировок кремнистых добавок. ....	61
3.2 Получение водонепроницаемого бетона. ....	70
ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ.....	74
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	75
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	79
6.1 Нормативные значения факторов рабочей среды .....	81
6.1.1 Микроклимат рабочей зоны.....	81
6.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны .....	82
6.1.3 Освещение рабочей зоны .....	83
6.1.4 Шум на рабочем месте .....	84
6.2 Безопасность производственных процессов и оборудования .....	85
6.3 Электробезопасность.....	87
6.4 Пожаробезопасность.....	87
6 ЭКОЛОГИЯ .....	89
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	94
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	95

## ВВЕДЕНИЕ

Бетон – искусственно полученный каменный материал, в результате отвердевания уплотнённой смеси воды, порошка вяжущего вещества и заполнителей.

Гравий или щебень используются в роли крупного заполнителя, а мелким заполнителем выступает кварцевый природный песок или отсева дробления. Вяжущим веществом являются различные цементы с добавками наполнителями или нет.

По виду вяжущего бетон классифицируют:

- бетоны на системах с органическими вяжущими, к которым относятся асфальтобетоны, пластбетоны;
- бетоны на системах с неорганическими вяжущими, к которым относятся специальные, кислотоупорные, силикатные, цементные, жаростойкие и гипсобетоны.

Бетон один из самых первых строительных материалов, появившийся в прошлом веке. Свидетельство этому, здания и сооружения, оставшиеся нам из истории строительства сооружений и зданий из бетона. По началу, бетон применялся, как самостоятельный материал, возводили из него монолитные конструкции, но, к сожалению, такие конструкции долго не существовали.

Поэтому учёные всех стран обдумывали вопрос долговечности конструкций из бетона и повышения его эксплуатационных характеристик, так в ходе разработок, испытаний и исследований был создан новый более действенный, долговечный, и крепкий строительный материал, получивший название железобетон, так как в растянутой части тела бетона стали использовать арматурные каркасы и стержни.

С продолжением изучения железобетонных конструкций, содержащих в своем теле сетки и каркасы, быстрыми темпами стало продолжаться строительство совершенно разных зданий, сооружений, массивных конструкций при минимальных трудозатратах и быстрых сроках возведения. Развитие науки в области

железобетона дало возможность применения предварительно-напрягаемых конструкций, что давало следующие преимущества:

- сокращение числа требуемой арматуры в ЖБК (железобетонных конструкциях);
- увеличение срока эксплуатации конструкций и трещиностойкости [31].

Воздействие воды – это один из главных факторов, влияющих на долговечность подземной части зданий и сооружений

Проникая внутрь строительной конструкций, вода вызывает разрушение бетона и коррозию арматуры, что снизит эксплуатационные характеристики конструкции и приведёт к её разрушению, а также нарушит работу технологического оборудования, ухудшит микроклимат в помещении.

Большая часть (до 90 %) подземных сооружений имеют проблемы с гидроизоляцией. Они появляются ещё на ранней стадии эксплуатации и приводят к быстрому износу несущих конструкций. Большая часть проблем с гидроизоляцией связаны с неверным выбором конструктивных решений, плохим качеством выполнения работ, не технологичным подбором изоляционных материалов и неправильной эксплуатацией.

Гидроизоляция как система должна обеспечивать:

- Защиту коммуникаций и оборудования;
- Возможность эксплуатировать подземные сооружения без ограничений при этом минимизируя затраты на их содержание;
- Эффективную защиту подземных конструкций от контакта с подземными водами;
- Устойчивость к различным нагрузкам от подземных и поверхностных вод [31].

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Понятие водонепроницаемости бетона

Проницаемость бетона – это свойство бетона пропускать через себя газы или жидкости при наличии градиента давления, или обеспечивать диффузионную проницаемость растворенных в воде веществ в отсутствие градиента давления [47].

Проницаемость в известной мере определяет то, как бетон будет сопротивляться воздействию замораживания и оттаивания, увлажнения и высушивания, влиянию различных агрессивных сред и атмосферных факторов. С практической стороны наибольшее значение имеет водонепроницаемость бетона.

Проникание в бетон жидких агрессивных веществ существенно, согласно [48].  
влияет на его долговечность, например, при вымывании  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или при действии агрессивных растворов.

Проницаемость бетона зависит от структуры пор, пористости, свойств заполнителей и вяжущего. Бетон – это капиллярно-пористый материал, во всём объёме пронизанный тончайшей сеткой капилляров и пор различного размера. Мелкие поры (микропоры размер менее  $10^{-5}$  см): поры цементного геля, непроницаемы для воды. Микропоры и капилляры размерами более  $10^{-5}$  см доступны для миграции воды, происходящей вследствие действия градиента влажности, давления, или осмотического явления. Объём макропор и капилляров напрямую влияет на проницаемость бетона.

Макропор в бетоне занимают от 0 до 40 % всего объёма. Величину макропористости бетона можно уменьшить при увеличении степени гидратации цемента, понижении В/Ц, уменьшении воздухововлечения, применении добавок, уплотняющих структуру бетона.

Чтобы представить капиллярно-пористые материалов в виде проницаемых тела авторами в [39] предлагали упрощенные модели. Дейс [33], Флад [32], Баррер [41], Дамкелер, Лейбензон [50] в своих трудах исходили из модели пористо-

капиллярной системы, представляющей собой параллельные цилиндрические каналы.

Слихтером предложен наиболее распространенную модель пористого тела, которая представлена в виде пространства, заполненного одинаковыми шарообразными частицами. Укладка такой структуры может быть гексагональной, кубической, тетраэдрической. Предложенная модель состоит из капилляров с кривой осью, в поперечном сечении имеющих треугольник, периодически изменяющийся от максимума до минимума.

В работах Дарапского, Манегольда [44] указано на то, что в системе из большого числа шаров, уложенных послойно, можно получать различные системы, потому что некоторые шары изменяют упаковку при попадании в углубление между нижележащими шарами. Вследствие более плотной упаковки получают две отличные формы пор вместо одной, которую принял Слихтер.

Поскольку водоцементное отношение оказывает ключевое влияние на макропористость, то для удобства практического применения можно построить зависимость проницаемости от В/Ц (рис. 1).

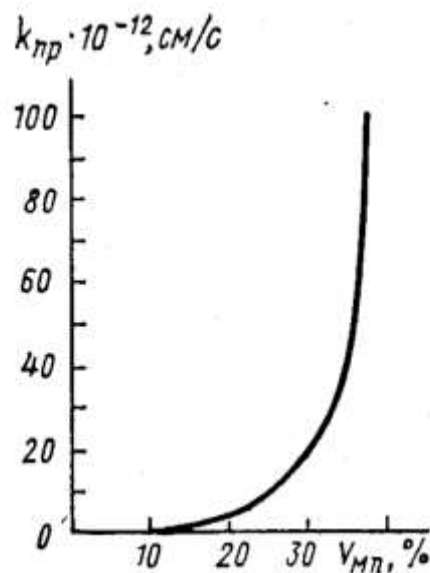


Рисунок 1 – зависимость коэффициента проницаемости бетона  $k_{пр}$  от В/Ц

На практике можно увидеть отклонение от этой зависимости. Степень уплотнения, расход цемента и ряда других факторов, окажут заметное влияние на проницаемость бетона.



При насыщении бетона водой мельчайшие поры и капилляры закупориваются под действием физических поверхностных сил воды, которая теряет свою подвижность. Этот процесс называется «кольматацией» и приводит к снижению проницаемости бетона.

С увеличением возраста бетона снижается объем макропор, зарастающих продуктами гидратации цемента, что приводит к уменьшению проницаемости бетона (рис. 2)

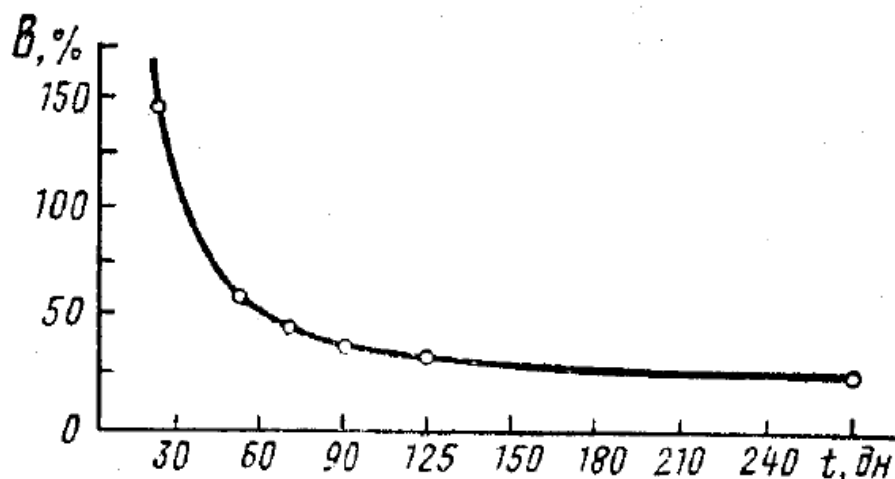


Рисунок 2 – Влияние возраста бетона на его водопроницаемость В (за 100 % принята водопроницаемость в возрасте 30 сут)

Проницаемость бетона оценивается коэффициентом проницаемости, измеряющийся количеством воды В, прошедшим через 1 см<sup>2</sup> образца в течение 1 часа при постоянном давлении.

Плотные бетоны не фильтруют воду, поэтому для их оценки используют понятие – марки по водонепроницаемости, W2, W4, ... W20. Данная марка определяется гостированными испытаниями и показывает, до какой величины избыточного давления бетон непроницаем для воды.

С одной стороны образца, соприкасающегося с водой, создают давление, постепенно его повышая. С другой стороной образца отмечают, при каком давлении появляется мокрое пятно. Давление, предшествовавшее тому, при котором начало наблюдаться мокрое пятно, и определяет марку бетона по водонепроницаемости.

Однородность и сохранение целостности материала оказывают большое значение в вопросах непроницаемости бетона в течение его твердения и эксплуатации. Усадка бетона при попеременном увлажнении-высушивании водой и замораживании-оттаивании заметно снижает непроницаемость бетона, вызывая появление микротрещин. Это справедливо так же при воздействии на бетон: нефтепродуктов, растворов солей и кислот и т.д. К тому же подобные воздействия могут вызывать физико-химические процессы взаимодействия цементного камня, заполнителя с неинертной жидкостью, что может привести к росту проницаемости бетона, и крайне редко приводит к коагуляции пор продуктами реакции [1].

## 1.2 Влияние элементов структуры бетона на его водонепроницаемость

### 1.2.1 Цементный камень

Итак, прежде чем разобраться, как влияет структура цементного камня(ЦК) на водостойкость бетона, стоит рассмотреть процессы образование структуры бетона и ЦК в частности.

Структура бетона образуется в результате затвердевания бетонной смеси и последующего твердения. Гидратация цемента, его схватывание и твердение – ключевые факторы формирования структуры.

Основной составляющей микроструктуры ЦК являются гидросиликаты кальция (ГСК). ГСК создают определенную пространственную структуру, которая состоит из непрореагировавших зерен цемента с оболочкой новообразований в виде системы глобул и межзернового пространства, заполненного частично или полностью новообразованиями.

Гидросиликаты кальция обладают кристаллическим, полукристаллическим или аморфным строением. Кристаллические продукты с различной формой кристаллов чаще всего появляются при тепловой, особенно автоклавной, обработке и при кристаллизации новообразований в межзерновом пространстве и порах. При нормальных условиях твердения в ЦК и в оболочке новообразований вблизи гра-

ницы с исходным материалом, где возможности роста кристаллов ограничены, преобладают гелеподобные субмикроструктурные продукты гидратации.

Состав и строение гидросиликатов зависят от  $\text{CaO/SiO}_2$  (C/S). Наиболее часто встречающиеся ГСК тоберморитовой группы. В нормальных условиях твердения образуются минералы типа CSH (I) и CSH (II) отличные друг от друга по составу и степени закристаллизованности. CSH (I) обозначает, что ГСК переменного состава с  $C/S=0,8\dots2$ , обозначение CSH (II) – это ГСК с  $C/S=1\dots1,5$ .

Кристаллические минералы группы тоберморита имеют несколько разновидностей, отличающихся межплоскостным расстоянием и количеством межслоевой воды. Тоберморит  $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$  с расстоянием 11,3 А называют «нормальным»; если в его составе Si замещен Al, то его называют Al-замещенным. Тоберморит чаще образуется при повышенных температурах. В материалах автоклавного твердения распространен ксонолит  $\text{C}_3\text{S}_3\text{H}$ , а также минералы типа  $\gamma$ -гидрата  $\text{C}_2\text{S}(\text{C}_2\text{SH}_{0,3-1})$ , трехкальциевого гидросиликата  $\text{C}_3\text{SH}_2$  и др.

Аморфные и полукристаллические формы ГСК обозначают C–S–H, подразумевая неопределенность состава. Кристаллы гидроксида кальция (минерал портландит) выделяются в поровом пространстве между зернами цемента на поверхности воздушных пор, в системе гидросиликатного геля, иногда срастаясь с кристаллами других минералов. Кристаллы различной формы образуют гидроалюминаты кальция и гидросульфалюминаты (эттрингит и др.)

Продукты гидратации алита – основного минерала ЦК– создают, по современным воззрениям, две оболочки «внешнюю» – кристаллическую и «внутреннюю» – аморфную. Внешняя оболочка складывается из кристаллов различных минералов в зависимости от условий твердения и ряда других факторов и может содержать материалы с менее упорядоченной структурой, особенно в стесненных условиях. Внутренняя оболочка содержит слабозакристаллизованные продукты гидратации переменного состава, по соотношению C/S близкое к исходному материалу. Граница между зерном  $\text{C}_3\text{S}$  и внутренней оболочкой четкая, а граница между внутренней и внешней оболочкой расплывается. В этой зоне могут возникать микротрещины от нагрева, усадки и прочих воздействий.

Цементный камень содержит участки с различной структурой, выстроенной разными минералами. Строение ЦК отличается сложностью, многообразием и неоднородностью. Неоднородность строения обоснована тем, что ЦК состоит из глобул зерен цемента с постепенно убывающей к их поверхности плотностью, контактной зоны между глобулами, состоящей из разного рода новообразований, а также включает поры, неплотности и дефекты. Стоит помнить и про химическую неоднородность камня, то есть то, что отдельные участки состоят из отличающихся друг от друга минералов и в некоторых местах возможно значительное увеличение содержания отдельных химических компонентов и систем в сравнении со средним значением. Неоднородность и микроструктура ЦК оказывают весомое влияние на его прочность и другие свойства.

Свойства ЦК во многом зависят от его минералогического состава. Изменяя его и условия твердения можно получать различные типы микроструктуры ЦК: зернистую, волокнистую, ячеистую, сотовую или сложные типы, являющиеся сочетаниями простых. В технологии бетона используются разные типы вяжущих веществ, применяются различные условия твердения бетона, что и обуславливает отличия конечных микроструктур ЦК.

Около зерен заполнителя в результате влияния его поверхностных сил и ряда других причин микроструктура ЦК может видоизменяться по сравнению со структурой основной массы. Поэтому часто эту контактную зону между заполнителем и ЦЕ выделяют в отдельный структурный элемент.

Современные теории считают, что в начальный момент при смешивании с водой в процессе гидролиза алита, выделяется  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , образуя насыщенный раствор. В этом растворе находятся  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  и щелочи, а также в малом количестве  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Так как первые новообразования из раствора начинают осаждаться в течение первых минут – этtringит и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , высокая концентрация сульфат и кальций ионов наблюдается малый промежуток времени после затворения вяжущего водой.

Вторая стадия наступает спустя примерно час. Происходит гидратация, для которой характерно образование очень мелких ГСК. Так как в реакции задейство-

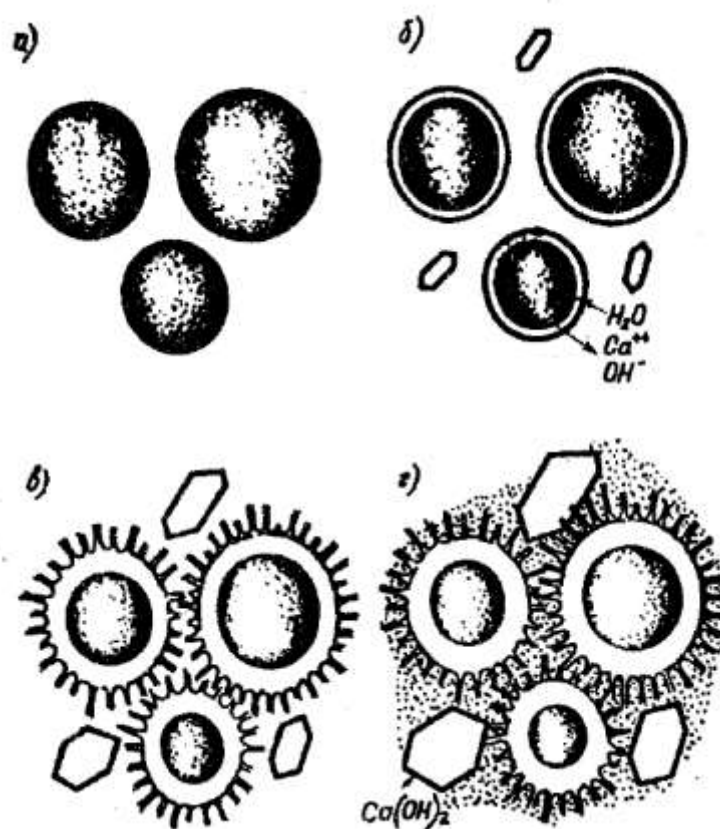
ваны лишь верхние слои частиц цемента, новые гидратные фазы, названные «цементный гель», крайне малы, размер зёрен цемента уменьшается незначительно. С повышением числа новообразований и плотности их расположения граничный слой становится практически непроницаемым для воды на 2-6 ч.

Вторую стадию гидратации обычно называют «скрытым или индукционным периодом». Во время скрытого периода цементное тесто – это плотная суспензия, стабилизированная флокулообразующими силами. Однако притяжение между частицами цемента в воде ослаблено, это можно обосновать следующим образом. Зерна цемента покрыты гелем, имеют положительный заряд и образуют вокруг себя сольватный слой. Комбинированное действие сольватного слоя и электрического заряда не даёт произойти непосредственному контакту между зёрнами. Однако на некоторых пограничных участках зёрна подвергаются межчастичному притяжению. Силы притяжения и отталкивания уравниваются на некотором удалении от поверхности раздела, где у частицы наименьшая потенциальная энергия. Благодаря этим силам цементное тесто обретает связность и подвижность.

В время скрытого периода поверхностные оболочки цементных зёрен поглощают воду. Уменьшение толщины прослойки воды влечет к снижению подвижности смесей. В оболочках геля появляется осмотическое давление. Далее гелевые оболочки разрушаются, так как внутренние слои цементных зёрен, вступая в реакцию с водой, расширяются. Возникают условия для проникновения воды вглубь зёрен вяжущего, интенсифицируется процесс гидратации.

Третья стадия процесса гидратации. Из насыщенного раствора выкристаллизовывается  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Этот процесс достаточно интенсивен. Свободный рост, в пространстве между частицами вяжущего, и одновременное образование тончайших пластинок  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и этtringита в виде длинных призм, из-за того, что число гидратных фаз невелико. Новообразования проходят через поры, разделяя их на более мелкие и создавая пространственную связь, а также усиливают сцепление между цементом и гидратными фазами. Вследствие чего цементное тесто схватывается, твердеет, формируется цементный камень.

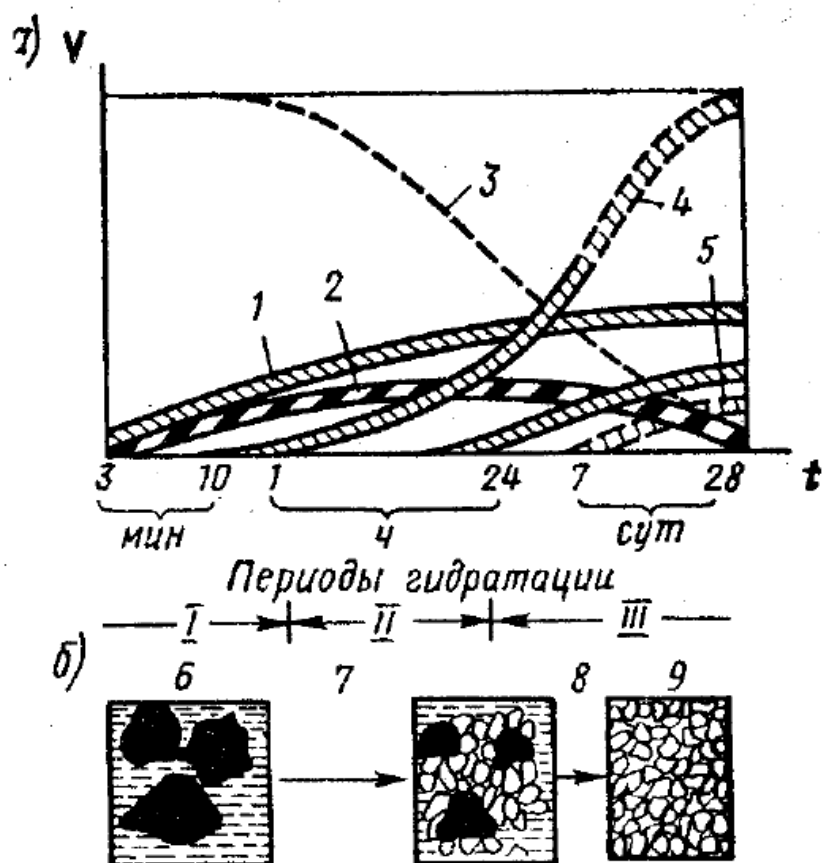
Возникающая структура поначалу очень рыхлая, но ее плотность со временем растёт благодаря тому, что в заполненных водой порах непрерывно образуются новые гидратные соединения. Растет число контактов между новообразованиями, уменьшаются размеры и объём капилляров и пор. Оболочки геля на зернах вяжущего уплотняются и утолщаются, срастаются в единый цементный гель, в который заключены непрореагировавшие зерна цемента. Прочность бетона и ЦК начинает расти. Схематически процессы, происходящие в системе «цемент-вода», в ходе гидратации цемента представлены на рисунке 3.



а – цементные зерна в воде – начальный период гидратации; б – образование гелевой оболочки на цементных зернах – скрытый период гидратации; в – вторичный рост гелевой оболочки после осмотического разрушения первоначальной оболочки, образование волнистых и столбчатых структур на поверхности зерен и в порах цементного камня – третий период гидратации; г – уплотнение структуры цементного камня при последующей гидратации цемента.

Рисунок 3 – Схема процесса преобразований в структуре цементного теста и камня при гидратации цемента

В. Рихвартц и Ф. Лохер предложили обобщенную схему процесса гидратации цемента и структурообразования цементного камня, которая отражает изменение с течением времени объема различных новообразований и пористости ЦК (рис. 4). Схема учитывает возможный переход части образовавшегося этtringита в моносulfат после того, как весь двуводный гипс, из состава цемента, прореагирует с трехкальциевым алюминатом.



1 – образование длинных кристаллов; 2 – этtringит; 3 – изменение пористости; 4 – образование коротких волокон; 5 – моносulfат; 6 – неустойчивая структура; 7 – формирование основной структуры; 8 – уплотнение структуры; 9 – стабильная структура

Рисунок 4 – Схемы процесса гидратации цемента(а) и структурообразования(б) цементного камня во времени

Гидратационные процессы развиваются на границах зерен, а цементный гель растет внутрь и наружу, в таких условиях каждое зерно окружено гелем. В то время как вода проникает через гелевую оболочку внутрь зерна, часть компонентов уже прогидратировавшего цемента диффундирует к наружным слоям геля,

где компоненты соединяются к существующим кристаллам или образуются новые. 45 % новообразований остаётся внутри первоначальной границы зерна вяжущего появляется, а другая часть остается снаружи.

С одной стороны, это ведёт к уменьшению размера частиц гидратных фаз, а с другой стороны затрудняет доступ воды к ещё не вступившим в реакцию частям цемента и снижению скорости гидратации. Волокна ГСК в начале гидратации имеют длину 5...10 нм и диаметр 0,1...0,2 нм, а в конце гидратации в 10...100 раз меньше. Неизбежно возникают поры геля внутри тела гидратированного вяжущего. Эти поры не зарастут новообразованиями, в связи с тем, что размер их пор крайне мал  $150-400 \cdot 10^{-8}$  нм и в них невозможно новообразование.

Пористость геля примерно 28 %. Образование более крупных пор увеличит пористость геля, однако в них уже возможно новообразование, поэтому со временем числовой показатель пористости снизится до 28 %. Наряду с порами геля в ЦК сохраняются более крупные капиллярные поры, образовавшиеся при приготовлении цементного теста. В течение всей гидратации жидкая фаза постепенно перераспределяется: снижается количество свободной воды, благодаря её переходу в химически и физико-химически связанную.

При полной гидратации химическая связывается с минералами вяжущего вступает 20-25 % воды от массы цемента.

В ходе гидратации происходит изменение относительного объема фаз. Вода, реагирующая с вяжущим, и суммарный объем системы «цемент-вода» снижается, тогда как объем твердой фазы из-за присоединения воды увеличивается. Гидратированный цемент в 2,1...2,2 раза занимает больший объем, чем цемента до гидратации, однако меньший на 0,254 от суммы объемов воды и не прореагировавшего цемента. Истинная плотность продуктов гидратации (с учётом гелевых пор) составляет примерно 2,1-2,2 г/см<sup>3</sup>.

Явление уменьшения объема системы «цемент – вода» в ходе гидратации называется контракция. Основными факторами, которые влияют на величину контракции являются: тонкости помола цемента, минералогический состав, вид и количество добавок, В/Ц и др. При прочих равных условиях за протеканием про-



цесса гидратации можно следить по величине контракции. В среднем контракция составляет 7-9 мл. на 100 г. цемента.

Степень гидратации к определенному моменту времени  $\alpha$  определяют, как отношение воды, связанной к этому моменту  $\omega_t$ , к количеству воды, связанной при полной гидратации  $\omega_{max}$ :

$$\alpha = \omega_t / \omega_{max} \quad (2)$$

Степень гидратации позволяет судить об объеме структурных составляющих ЦК, его микроструктуре к конкретным срокам твердения.

Так как большая часть новообразований ЦК коллоидных размеров, то поверхность твердой фазы существенно увеличивается в ходе гидратации. Удельная поверхность геля составляет  $5,5 \cdot 10^6 \text{ см}^2/\text{г.}$ , а удельная поверхность вяжущего  $3000 \text{ см}^2/\text{г.}$

Гель может адсорбировать большое количество воды из крупных пор. Вода, которая находится в гелевых порах, не участвует в процессе гидратации, потому как прочно удерживается поверхностными силами. Вода в гелевых порах имеет плотность  $1,1-1,15 \text{ г/см}^3$ . Объем воды, физико-химически связанной поверхностью геля приблизительно равен объему химически связанной воды.

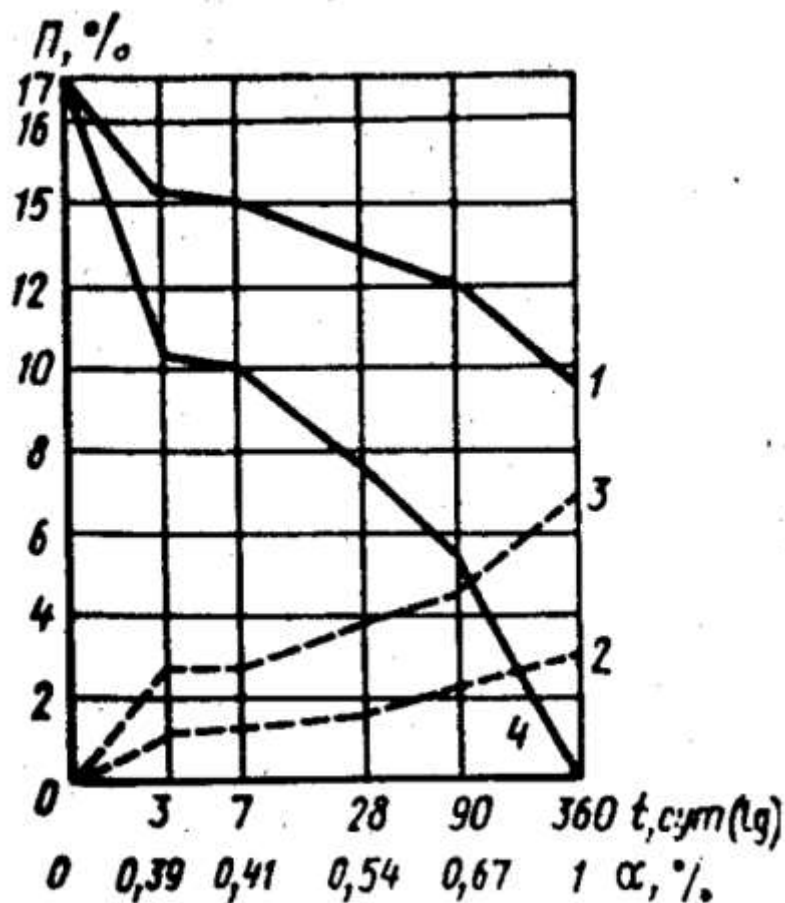
При приготовлении бетона с водоцементным отношением большего 0,5 всегда будут капиллярные поры, доступные для миграции влаги, что снизит стойкость. В ЦК сохраняются контракционные и капиллярные поры, при В/Ц равных 0,38...0,5, при отсутствии поступления влаги извне за счет того. При В/Ц меньше чем 0,38 в ЦК отсутствуют капиллярные поры. Такой ЦК полностью состоит из геля и имеет включения непрогидратировавшего цемента. В дальнейшем это будет способствовать уплотнению материала и как следствие повышению прочности.

При В/Ц равном 0,38 пористость ЦК приблизительно равна пористости геля 0,28.

Степень уплотнение цементного теста оказывает влияние на пористость. Роль условий твердения также немаловажна.

В обычных условиях и сроках твердения гидратирует лишь часть вяжущего, даже при В/Ц больших 0,5 в бетоне есть непрогидратировавшие зерна вяжущего и значительно число капиллярных пор.

ЦК в теле бетона занимает лишь долю объёма, другую часть занимают заполнители, поэтому хотя общие зависимости пористости от В/Ц и сохраняются, их реальные значения отличаются от теоретических. Например, если пористость для ЦК при В/Ц= 0,5 достигает 61 %, то уже в бетоне с расходом воды 170 л. и цемента 340 кг этот показатель уменьшится до 17 %. Изменение пористости бетона от времени изображено на рисунке 5. Так как изменяя расход цемента и воды, пористость тоже изменится; приблизительно можно считать, что для снижения капиллярной пористости на 1 % необходимо снизить количество воды на 10 л/м<sup>3</sup>.



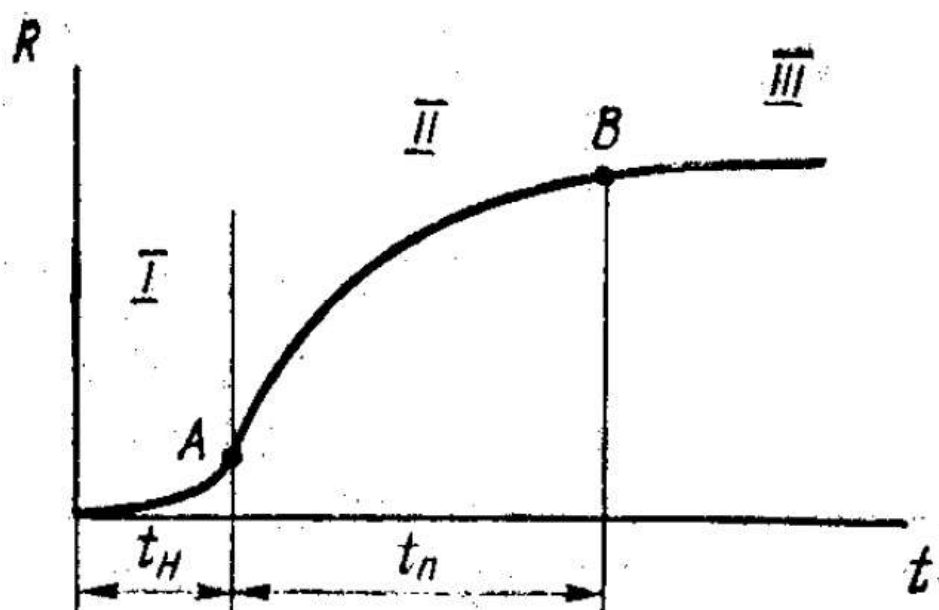
1— общая пористость; 2— контракционная пористость; 3— пористость геля; 4— капиллярная пористость

Рисунок 5 – Изменение пористости бетона в процессе твердения

Чтобы упростить расчеты и прогнозирование свойств бетона, процесс формирования его структуры разбили на 3 периода: первоначальный, в течение которого бетонная смесь превращается в бетон; второй, во время которого структура бетона постепенно упрочняется; третий, когда структура стабилизируется и почти не меняется со временем (рис. 6). Точка А – граница между первым и вторым периодами определяет момент, когда первоначальная структура бетона уже возникла и далее следует лишь рост прочности. Рост прочности в данном периоде описывает логарифмический закон. Это позволяет более точно прогнозировать изменение свойств бетона в течение времени. В общем виде уравнение прочности бетона выглядит так:

$$R = R_0 + \Delta R, \quad (3)$$

где  $R_0$  – прочность первоначальной структуры бетона;  $\Delta R = f(t; T)$  – прочность бетона, приобретаемая в процессе твердения, зависит от времени и температуры, при которой происходило твердение.



I – период образования первоначальной структуры; II – период упрочнения структуры; III – период стабилизации структуры

Рисунок 6 – Расчетные периоды структурообразования

При определении прочности бетона при нормальном твердении время первоначального твердения (несколько часов), обычно не учитывают. И учитывают в условиях ТВО.

Кроме прочности в процессе формирования структуры и последующего твердения бетона изменяются: пористость, электропроводность, и т.д. Также происходят объемные изменения: чаще всего происходит усадка, однако возможно и увеличение объема. Данные изменения существенны во время первого этапа формирования структуры. В особенности, когда структура из псевдожидкого состояния бетонной смеси переходит в твердый бетон.

В основном гидратация цемента определяет главные изменения свойств бетона, поэтому свойства вяжущего имеют ключевое влияние на данные закономерности. Свойства заполнителя, состав бетона и др. также оказывают влияние на изменение строения и свойства бетона. Однако их воздействие на кинетику этого изменения является вторичным и обосновано в известной мере их влиянием на гидратацию вяжущего и образование структуры ЦК. Замедление гидратации объясняется постепенной стабилизацией и сокращением изменений свойств бетона [1].

### 1.2.2 Крупный и мелкий заполнитель

Существенное влияние на структурообразование заполнитель оказывает лишь после полного затвердевания бетонной смеси. Заполнитель будет служить жестким каркасом, упрочняющим структуру. Взаимодействие и твердение вяжущего с водой происходит в тонком слое между зернами. Зерна заполнителя снижают усадочные деформации, способствуют образованию кристаллического каркаса цементного камня, повышают водоудерживающую способность растворов и смесей [1].

### 1.3 Методы увеличения водонепроницаемости бетона

Чтоб повысить непроницаемость бетона существует ряд специальных методов, основные из которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы и степень понижения проницаемости бетона

Метод	Степень понижения, раз
Введение в бетонную смесь органических и гидрофобных добавок	2-10
Введение в бетонную смесь неорганических добавок	5-1000
Введение в бетонную смесь загустевающих веществ или термопластичных полимеров	10-500
Пропитка после изготовления специальными веществами	50-1000
Гидрофобизация поверхностных слоев бетона	2-10
Покрытие специальными пленкообразующими составами	10-100
Пропитка мономером с последующей полимеризацией	50-1000

Давно известны и применяются ПАВ, добавки типа ГКЖ, эмульсии водорастворимые смолы, а также некоторые типы латексов.

Изредка применяют высокодисперсные порошки полимеров или близких к полимерам веществ, к примеру пек. После затвердевания бетона его нагревают, полимеры размягчаются и коагулируют открытые поры.

Среди добавок распространены: жидкое стекло, хлорид железа и алюминат натрия.

Одним из лучших способов считается введение высокодисперсных кремнистых порошков таких как трепел, диатоматы, микрокремнезем и пр. Хорошие непроницаемость можно получить при применении безусадочных и расширяющихся растворов. К практически непроницаемым можно отнести полимербетоны.

Также к методам повышения непроницаемости можно отнести производство прессованных бетонов [31].

### 1.3.1 Добавки для уплотнения структуры бетона

С применением минеральных и водорастворимых добавок увеличивается плотность бетона раствора, а также долговечность изделий.

Высокодисперсные минеральные вещества, содержащие в своем составе аморфный кремнезём, благодаря реакции с гидроксидом кальция, выделяющийся при гидратации цемента, образуют новые соединения двухкальциевого силиката. Это приводит увеличению прочности при сжатии, а также повышению плотности цементного камня и улучшению других не менее важных характеристик.

Тонкомолотые и тонкодисперсные минеральные добавки, обладающие гидравлической активностью: опоки, треплы, доменные гранулированные шлаки, шлаки и золы ТЭС, применяют в качестве уплотнителей бетонов и растворов. Данные добавки кольматируют в теле бетона капилляры сечением более 1 мкм, позволяющие миграцию влаги.

К водорастворимым добавкам, уплотняющим бетон и раствор относят:

Нитрат кальция – НК, выпускается в виде  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  или тетрагидрата  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , бесцветные. Следует хранить в упакованном виде в вентилируемых, закрытых, сухих складских помещениях.

Сульфат алюминия – СА, производится в безводном виде и в виде гидрата  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , бесцветные. Кристаллогидрат при хранении на открытом воздухе легко выветривается.

Нитрат железа – НЖ, вещество состава  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , бледно-фиолетового цвета. В сухом виде при нагревании разлагается с выделением кислорода, пожароопасно, не подлежит совместному хранению с горючими материалами.

Полиаминная смола С-89 – прозрачная темная однородная жидкость с зеленоватым оттенком. Содержание связанного хлористого водорода 15,5...18,5 %. Концентрация смолы в водном растворе 29...45 %. Устойчива к разведению водой при отношении 1:100. Рекомендуемые дозировки – 0,6-1,5 %. Не рекомендуется использовать сланцевый цемент. Производится Охтинским комбинатом НПО «Пластполимер» и поставляется в виде водного раствора в бутылках по цене. Должна соответствовать ТУ 6-05-1224-76 [27]. С-89 – прозрачная темная однородная жидкость с зеленоватым отливом. Содержание связанного хлористого водорода 15,5-18,5 %. Концентрация смолы в водном растворе 29,45 %. Устойчива к разведению водой при соотношении 1:100.

Битумная эмульсия – БЭ– эмульсия I рода, состав: битум марки БН-III 56...57 %. ЛСТ – 5 %. Рекомендуемая дозировка– 5-10 % эмульсии от массы цемента.

Хлорид железа – ХЖ, продукт состава  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ , красно-коричневого цвета, сильно гигроскопичен. Пожаро- и взрывобезопасен, мало токсичен.

Бетоны с водорастворимыми смолами ДЭГ-1, ТЭГ-1 и С-89 твердеют в воздушно-влажных, влажных и водных условиях. Они способствуют некоторому увеличению прочности бетона и пластифицируют бетонные смеси, в некоторых случаях снижают усадку и ползучесть бетона, повышают плотность, водонепроницаемость, морозостойкость и трещиностойкость.

Сульфат железа – СЖ, производится в виде кристаллогидрата  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ . желтоватого цвета. Продукт негигроскопичен, пожаро-, взрывобезопасен, мало токсичен.

Алифотическая эпоксидная смола ДЭГ-1– однородная жидкость желтого цвета плотностью 1,155 г/м<sup>3</sup>бетона. Молекулярная масса – 240-260. Содержание эпоксидных групп 21 %, гидроксильных – 4,5 %. Производится ПО «Химпром» (Башкирия) и поставляется во флягах. Должна соответствовать ТУ 6-05-18-23-77 [25].

Сульфат аммония – СА производится в безводном виде и в виде гидрата. бесцветный. Кристаллогидрат при хранении на открытом воздухе легко выветривается, безводный продукт гигроскопичен. Порошок пожаро- и взрывобезопасен. Цена 70...90 руб/т, стоимость 0,2...0,7 руб/м<sup>3</sup> бетона.

Алифатическая эпоксидная смола ТЭГ-1– Однородная жидкость желтого цвета, плотность 1,155 г/см<sup>3</sup>, молекулярная масса 300-320. Содержание эпоксидных групп 21 %, гидроксильных групп – 4,5 %.

К водонерастворимым добавкам, которые кольматируют поры в бетоне, относят: трепел и диатомит, кремнеземистая опоковидная порода, глина; церезит Ц– водная суспензия из нерастворимых смесей олеиновой кислоты и извести в насыщенном известковом растворе; готовый товарный продукт такого состава, %: из-

весть – 20, олеиновая кислота – 7-8, нашатырный спирт – 0,5, охра сухая – 0,2 (для подкраски), сернокислый алюминий – 5, вода – 66,5.

Уплотняющие добавки: НК, СА, С-89, НЖ, ДЭГ-1, ТЭГ-1; СЖ, НК при добавлении в бетонную или растворную смесь, в количестве 0,5...1 % массы цемента, обеспечивают наилучшую водонепроницаемость бетона и повышают прочность цементно-песчаного раствора на 20 %. Добавка НК в бетон приводит к интенсификации процессов гидратации цементных минералов и увеличению объема гелеобразных масс, которые закупоривают капиллярные и седиментационные поры и каналы. Кроме того, присутствие в жидкой фазе электролита приводит к уплотнению адсорбционных пленок воды и понижению их подвижности. При ТВО бетона добавка НК не повышает его водонепроницаемости [32,63,64,75,86].

### 1.3.2 Применение бетонополимеров

Бетонополимер – материал, полученный в результате пропитки обычного бетона полимерами с последующей их полимеризацией.

Бетонополимеры продукт пропитки бетона полимерами эпоксидной или полиэфирной смолой, а также сополимерами, самыми распространёнными из которых стали составы на основе мономеров акрила и метакрила.

На заводах в большинстве случаев применяют искусственную сушка бетона до влажности 0,1...0,2 % по массе при температуре 105...150 °С. Если высушивание не будет приведено к данным процентам влажности, то прочность бетонополимера снизится.

Чтобы обеспечить полную пропитку бетона, его вакуумируют в течение до одного часа. Режим вакуумирования для каждого типа бетона подбирается опытным путем. Так как чем выше степень вакуумирования бетона, то есть чем меньше влаги, воздуха, пара останется в его теле, тем полнее будет пропитка, а прочность возрастет.

Пропитка бетона мономером крайне важная операция. Материал с мелкими капиллярами пропитывается за счёт действия капиллярных сил. Бетон с крупными капиллярами и порам рекомендуется пропитывать под давлением до 1 МПа.



Прочность бетонополимера будет выше, чем больше пористость исходного бетона и чем больше из него удалены воздух, пар и влага, тогда насыщение мономерами пройдет полнее. На этот процесс оказывают влияние краевой угол смачивания, вязкость и поверхностное натяжение мономера и его температура.

Так, чтобы полностью пропитать тяжелый бетон требуется мономера 2-6 % по массе, для легкого бетона на пористом заполнителе, до 30-68 %, ячеистого 102-117 %.

Последней технологической операцией является полимеризация мономера, которую проводят термokatалитически или радиационно. Чаще применяется первый способ.

Чтобы уплотнить и упрочнить бетон, повысить плотность защитного слоя арматуры, можно провести пропитку только поверхности бетона, а также отдельных частей конструкций с целью.

По структуре бетонополимер являет собой капиллярно-пористое тело, где поры и капилляры заполнены полимеризованным затвердевшим мономером, хорошо сцепленным с твердой фазой. Поры таких бетонов замкнутые и близки к сферической форме. Полимер заполняет собой открытые поры, трещины заполнителя, и проникая в ЦК и заполнитель, существенно повышает их сцепление, и как следствие прочность материала при изгибе и сжатии, прочность для бетонополимера на основе полиметилметакрилата до 80, а полистирола до 60 МПа.

Полимер склеивает дефекты структуры бетона и образует механическую связь между его участками. Практически отсутствуют усадочные явления в контактной зоне “цементный камень – полимер”. Бетонополимер разрушается с разлетом удлиненных осколков. Разрушение хрупкое и происходит по раствору и заполнителю в связи с тем, что пропитанный полимером ЦК оказывается прочнее крупного заполнителя. Поэтому наибольшую прочность имеют мелкозернистые бетонополимеры (до 200 МПа).

С увеличением числа ЦК в исходном бетоне степень упрочнения после пропитки полимером повышается.

При охлаждении до +20 °С после нагрева до +150 °С образцов их прочность не изменяется. А при нагреве +200 °С и охлаждении прочность уменьшится относительно первоначальной на 10 %.

Прочность бетонополимера при растяжении выше в 3...16 раз по сравнению с исходным бетоном, и разница может достигать 19 МПа. Модуль упругости бетонополимера больше на 30-60 %, чем у исходного бетона.

Полезной особенностью бетонополимера является то, что введение золы и подобных добавок практически не отражается на прочности, что позволяет экономить цемент.

В отличие от обычных бетонов для ускорения твердения можно ввести до 5 % CaCl<sub>2</sub>, так как после пропитки бетона полимером, сталь будет хорошо защищена от коррозии.

Трещиностойкость от 2 до 5 раз выше, чем у исходного бетона, а предельные допустимые деформации в 2 раза.

Марка по водопоглощению бетонополимера в 5-6 раз меньше чем у обычного, а коэффициент размягчения почти равен единице. По этим причинам морозостойкость бетонополимера достаточно велика и может достигать 5000 циклов.

Бетонополимер хорошо подобранного состава крайне устойчив к магниезиальным, щелочным, солевым и сульфатным средам, а также в средне- и низкоконтрированных кислотах, за исключением фтористоводородной. Такие концентрированные кислоты как азотная, серная, соляная разрушают бетонополимер.

Таблица 2 – Улучшение свойств различных бетонов после пропитки полимерами

Вид бетона	Прочность при сжатии, МПа	
	До обработки	После обработки
Обычный бетон	10...40	80...150
Высокопрочный бетон	50...70	150...200
Керамзитобетон	3...15	30...90
Газобетон	1...8	15...90
Гипсобетон	15...22	80...92
Силикатный бетон	30...50	100...200

Таблица 3 – Свойства бетонов и бетонополимеров

Показатель	Исходный бетон	Бетонополимер
Предел прочности, МПа		
При сжатии	30...50	100...200
При растяжении	2...3	6...19
При изгибе	5...6	14...28
Модуль упругости, МПа	$(2,5...3,5)*10^4$	$(3,5...5)*10^4$
Прочность сцепления с арматурой, МПа	1...2	10...18
Относительные деформации усадки	$50*10^{-5}$	$5*10^{-5}$
Относительные деформации ползучести	$(40...60)*10^{-5}$	$(6...8)*10^{-5}$
Водопоглощение, %	3...5	До 1
Электрическое сопротивление, Ом	$10^5$	$10^{14}$
Морозостойкость	F200	До F5000
Коррозионная стойкость	Недостаточная	Высокая

При соответствии ТЭО и с учетом приведенных характеристик, бетонополимер предназначен к использованию в агрессивных или суровых климатических условиях [14-20].

### 1.3.3 Бетоны с пропиткой поверхности

Одним из самых эффективных типов защиты бетона от увлажнения считается гидрофобизация поверхности. С этой целью используют кремнийорганические материалы, например, метил-, и этилсиликонаты натрия (ГКЖ-10, ГКЖ-11) и вещество с наибольшим гидрофобизирующим эффектом полиэтилгидросилоксан (ГКЖ-94).

Кремнийорганические соединения, адсорбируются при осаждении на поверхности бетона, в порах и капиллярах, а затем химически реагируют с минералами цементного камня, точнее, с оксидами и гидроксидами металлов, входящих в их состав. Водоотталкивающий эффект создается за счёт образования тончайшей пленки, в которой органический радикал ориентирован в пространство пор, трещин и капилляров, а связь кремний-кислород к поверхности ЦК.

Растворением кремнийорганического соединения в растворителе образуется гидрофобизирующий состав. Эти растворы легко проникают в бетон на глубину от 2 до 10 мм так как имеют низкую вязкость. Бетон пропитанный гидрофобизирующим раствором перестаёт впитывать воду. На образование гидрофобной пленки уходит около 2-5 часов после пропитки, а стабильные водоотталкивающие свойства бетон приобретает в течение 5 суток.

В средствах защиты фасадов, наружных поверхностей ограждающих конструкций химкомбинатов, гидрофобизация поверхности широко применяется.

К пропиточным материалам предъявляются требования по щелочестойкости и малой чувствительности к воде, адсорбированной на поверхности. Лучшая адгезия между покрытием и поверхностью бетона оптимальна, когда пористость поверхности не более 5 %.

Наиболее эффективными мерами антикоррозионной защиты считаются покрытия из полиуретановых, полихлорвиниловых и эпоксидных материалов. Для защиты подземных частей сооружений от производственных и высокоминерализованных вод, иногда применяют гидроизоляцию из эмульсий и лаков на основе нефтебитумов и каменноугольных смол.

Наиболее высокой непроницаемостью покрытий толщиной 100-200 мкм обладают перхлорвиниловые. При верно подобранной толщине перхлорвиниловые покрытия стойки к действию большинства минеральных кислот и щелочей, 90 %-й серной кислоте, а также 50 % азотной кислоте и др. Так покрытие с толщиной 150-200 мкм обеспечит надежную защиту любой ЖБК в парогазовых средах на срок до 5 лет.

Такие материалы наносят краскопультom или кистью. Толщина одного слоя 20-25 мкм. Для агрессивных условий наносят 4-5 слоев покрытия. Сушки одного слоя проводят при 18-20 °С в течение от 1 до 4 часов.

Хлоркаучуковые покрытия несколько уступают перхлорвиниловым по величине проницаемости. При оптимальной толщине около 200 мкм, они высоко химически стойки в кислотах и щелочах. Хлоркаучуковые – это суспензии пиг-

ментов и наполнителей в растворе хлоркаучука, где хлора более 50 %, с добавлением пластификатора.

Также для защиты бетонных и ЖБ конструкций применяют и обычные, тиксотропные эмали. Тиксотропные эмали – суспензия пигментов и наполнителей в растворе хлоркаучука с пластификатором и тиксотропной добавкой. Тиксотропные добавки обеспечивают хлоркаучуковым эмалям способность увеличивать свою вязкость при нанесении на поверхность. Поэтому применение высоковязких тиксотропных покрытий позволяет создавать толстослойные покрытия толщиной в 200-250 мкм за два-три нанесения.

Эпоксидные покрытия стойки практически к любым агрессивным средам (кроме растворителей и уксусной кислоты). Оптимальная толщина покрытия 100-250 мкм, срок службы до 5 лет. Эпоксидные лакокрасочные покрытия – это раствор смол в органических растворителях и суспензии пигментов в эпоксидном лаке [14,29].

#### 1.3.4 Бетоны пропитанные серой

По сравнению с мономерами, применяемыми для пропитки бетона, сера менее дефицитна и значительно дешевле. Бетоны, пропитанные серой, не многим уступают бетонополимерам по своим физико-механическим свойствам. Кроме того, кристаллизация серы проще и доступнее.

Первые эксперименты по пропитке бетонов расплавленной серой проведены в начале 70-х годов в США, затем в Японии, СССР, Франции.

Технология пропитки пористых материалов расплавленной серой включает следующие основные операции: сушку изделий, приготовление расплава серы, погружение изделий в расплав серы и пропитку, извлечение из расплава и охлаждение. Пропитку можно производить на различную глубину в зависимости от предъявляемых требований к материалу. Глубина пропитки зависит от пористости материала, времени и условий пропитки (нормальное атмосферное давление, вакуумирование, избыточное давление или их сочетание). В зависимости от глубины различают поверхностную, частичную или полную пропитку.

В качестве исходных материалов для пропитки могут быть использованы обычные бетоны с крупным заполнителем, песчаные бетоны, золобетоны, бетоны на жидком стекле, асбоцемент, древесина и другие пористые материалы.

Анализируя закономерности получения бетонополимеров можно отметить, что требования, предъявляемые к исходному бетону, полностью сохраняются и при изготовлении бетонов, пропитанных серой [30]. Поэтому режимы сушки бетона практически не отличаются от аналогичных режимов при пропитке бетонов мономерами. Высушенные до постоянной массы бетонные изделия погружают в емкость с расплавленной серой (145-155 °С) и выдерживают в расплаве 3-6 ч. Затем изделия извлекают из емкости и охлаждают на воздухе.

В ряде случаев при пропитке бетонных и железобетонных изделий с небольшой площадью сечения (виноградные стойки, решетки животноводческих комплексов и т.п.) предварительную сушку не производят, а бетон пропитывают в расплаве серы при температуре 160-170 °С. В начальный период пропитки происходит быстрый нагрев бетона и интенсивное испарение воды из порового пространства. Исследования показали, что конечная прочность бетона непосредственно зависит от содержания влаги в исходном бетоне времени, пропитки и количества серы, заполнившей поровое пространство (табл. 4).

Таблица 4 – Зависимость прочности тяжелых пропитанных бетонов от количества поглощенной серы

Содержание воды в бетоне, % по массе	Количество поглощенной серы, % по массе	Глубина пропитки, мм	Прочность на изгиб, МПа	Прочность при сжатии, МПа
Контрольные	–	–	2,2	21,5
6,3	5	8	2,8	29,6
1,4	7	14	4,1	40
0	7,8	17	5,7	53,3

Для бетонов, пропитанных серой, сохраняются основные закономерности увеличения прочности, прочности и других физико-механических характеристик, полученных для бетонополимеров [22,28,31].

По сравнению с технологией пропитки мономерами или олигомерами пропитка расплавом серы имеет ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при назначении технологических параметров. При пропитке расплавом серы достигается более глубокая сушка исходного материала, так как оставшаяся в бетоне после сушки влага испаряется при пропитке в горячем расплаве серы.

После пропитки изделия извлекают из пропиточной камеры и охлаждают до температуры окружающей среды. Процесс охлаждения сопровождается кристаллизацией расплава в поровом пространстве. Температура кристаллизации серы является физической константой и всегда происходит при охлаждении ниже 119 °С. Этот процесс зависит от температуры, и вся сера, вошедшая в поровое пространство, при охлаждении кристаллизуется. Потерь серы из изделия при охлаждении практически не происходит. Процесс кристаллизации идет начиная с поверхности изделия, что также снижает потери серы. Бетоны, пропитанные серой, могут использоваться для изготовления дорожных и тротуарных плит, бордюрных камней, виноградных стоек, лотков, труб, тубингов, секций опреснительных установок, элементов морских причалов, каркаса градирен, блоков сенажных башен и многих других конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по прочности и морозостойкости к агрессивным средам [32].

Основные характеристики различных видов бетонов, пропитанных серой, приведены в табл. 5. Их данные подтверждают достаточно высокую эффективность применения серы.

Таблица 5 – Основные характеристики тяжелых и легких бетонов, пропитанных серой

Показатель	Тяжелые бетоны		Легкие бетоны	
	До пропитки	После пропитки	До пропитки	После пропитки
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2000-2400	2100-2500	1200-1700	1300-1800
Предел прочности при сжатии, МПа	20-40	60-100	15-30	40-70
Предел прочности при изгибе, МПа	5-6	14-16	2-4	6-10
Модуль упругости при сжатии, 10 <sup>4</sup> МПа	2-2,5	3-4	0,9-1,6	1,7-2,4
Морозостойкость, циклы	200-300	1000	100-200	8000
Водопоглощение (по массе), %	6-8	0,1-0,3	6-10	Менее 2
Водонепроницаемость, (класс W)	2-4	10-12	2-4	8-10
Сульфатостойкость, Кст	нестоек	0,9-0,95	нестоек	0,85-0,9

### 1.3.5 Введение кольматирующих добавок

Не смотря на обилие материалов, вводимых в состав бетона для кольматации пор, чаще других применяется добавка «ПенетронАдмикс».

«ПенетронАдмикс» вводится в приготавливаемую смесь бетона или цементно-песчанного раствора, и уже с затвердевшим бетоном обеспечивает водонепроницаемые свойства бетона. Основой добавки являются активные химические



вещества. Эти вещества реагируют с побочными продуктами гидратации цемента. Продукты реакции являют собой нерастворимые кристаллические образования в порах и капилляр бетона. Данные кристаллы так же повышают коррозионную стойкость.

Бетоны, полученные с добавкой «ПенетронАдмикс» обычно применяются в производстве: фундаментов, туннелей, ёмкостей, подземных хранилищ, резервуаров, подземных стоянок, и создании других сооружений, где требуются высокие показатели по коррозионной стойкости и водонепроницаемости.

Бетоны, полученные с применением данной добавки, обладают свойствами:

- Высокой стойкости к агрессивным средам;
- Стойки к большим положительным и отрицательным гидростатическим давлениям;
- Обеспечивают паропроницаемости бетона;
- Заполняют трещин с шириной раскрытия до 0,4 мм;
- Сокращают сроки производства работ.

Основные характеристики приведены в таблице 6

Таблица 6 – Основные характеристики добавки «Пенетрон Адмикс»

Характеристика материала	Значение
Внешний вид	Сыпучий порошок серого цвета, не содержащий комков и механических примесей
Влажность, %, по массе, не более	2,5
Повышение марки по водонепроницаемости бетона с добавкой, ступеней, не менее	4 (до W 20)
Прирост прочности на сжатие бетона с добавкой, %, не менее	10,0
Повышение морозостойкости бетона с добавкой, циклы, не менее	100
Ультрафиолет	Не оказывает влияния

## Окончание таблицы 6

Характеристика материала	Значение
Применимость для резервуаров с питьевой водой	Допускается
Кислотность среды применения, рН	От 3 до 11
Температура эксплуатации, °С	От -60 до +130
Условия хранения материала	От -50 до +50
Гарантийный срок хранения материала, мес	18

### 1.3.6 Введение активных минеральных добавок

Минеральные добавки – это тонкоизмельченные материалы, которые добавляются в бетон в пределах от 20 до 100 % от массы цемента. Кроме существующих природных пуццолан, также применяются техногенные материалы. Производят искусственные минеральные добавки в виде побочных тепловые электростанции, топливом для которых являются уголь или рисовая шелуха, а также металлургические печи, участвующие в процессе выплавки никеля, чугуна, стали, меди, свинца, ферросплавов и ферросилиция. Отходы, образуемые этими предприятиями, должны быть надлежащим образом переработаны или захоронены. Сброс отходов в отвалы вредит окружающей среде. Утилизация в качестве заполнителей для бетона или других нужд строительства не слишком выгодна экономически. Однако, использование пуццолановых и вяжущих свойств некоторых отходов их предприятий, в качестве компонентов для бетона делает их применение экономически целесообразным [33].

В Европе широко развито производство смешанного портландцемента, с содержанием пуццолановых и других активных добавок. Ряд причин от экономических до экологических, в США и Канаде привёл к оживлению интереса к использованию отходов различных производств как АМД для бетона.

Цены на природные и искусственные пуццоланы настолько разнятся с ценой на цементы, что использование пуццолановых добавок, для частичной замены цемента, позволяет получить ощутимый экономический эффект. Введения АМД в бетон при правильной дозировке повысит его непроницаемость и химическую

стойкость, снизит трещинообразование при ТО и конечно же повысит предел прочности.

В дополнение к докладу Ли [34] по пуццоланам и ППЦ, были опубликованы обширные обзоры по свойствам цементов и бетонов, полученных с применением природных пуццолан, доменных шлаков и золы-уноса [35-41].

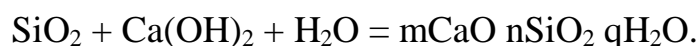
Доменный гранулированный шлак и зола-унос с низким содержанием кальция, уже достаточно давно применяются как добавки к цементу или как АМД к бетону. Попытка рассмотреть науку и технологию о применении пуццолан в едином ключе сделана в обзоре [42] о пуццолановых и гидравлических продуктах – отходах, применяемых в качестве активных добавок в бетон.

Согласно работам [44,47], в которых изложены данные о влиянии на структура цементного камня микрокремнезема, последний активно связывается с гидроксидом кальция, уплотняет структуру новообразованными гидросиликатами кальция C–S–H [43,48].

В работах [49-51], представленные модели структур гидросиликатов кальция, также в случаях с разным соотношением C/S. Данные работы подтвердили переменность минералогии кристаллов C–S–H при твердении цементного камня.

При использовании микрокремнезема в составе силикатных автоклавных газобетонов согласно работам [52,53] понадобится улучшения физико-механических характеристик.

Реакция микрокремнезема с гидроксидом кальция выглядит следующим образом:



В обычных условиях, то есть при отсутствии добавки микрокремнезема, образуются крупные гидросиликаты (рис. 7). Такие кристаллы обладают меньшей прочностью по сравнению с низкой основными силикатными кальция, а значит более низкими механическими показателями.



Рисунок 7 – Макроструктура цементной матрицы с кристаллами гидроксида кальция (при 1500-кратномувеличении)

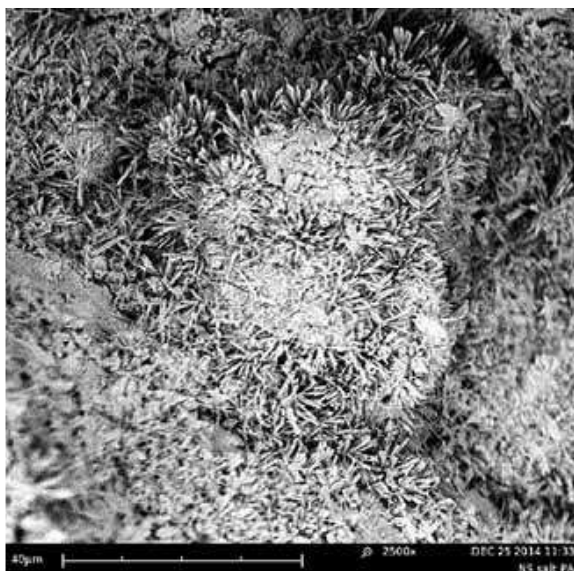


Рисунок 8 – Микроструктура образцов с высолами на поверхности новообразований; образец с добавлением микрокремнезема

Игольчатые гидросиликаты, в затвердевшей структуре цементного камня, возможно получить ведение микрокремнезема с водой затворения состав прессованных изделий (рис. 8).

Согласно работе [54], при температуре 930°С на кривой ДСК экзотермическим эффектом определяются низкая основные гидросиликаты (рис. 9).

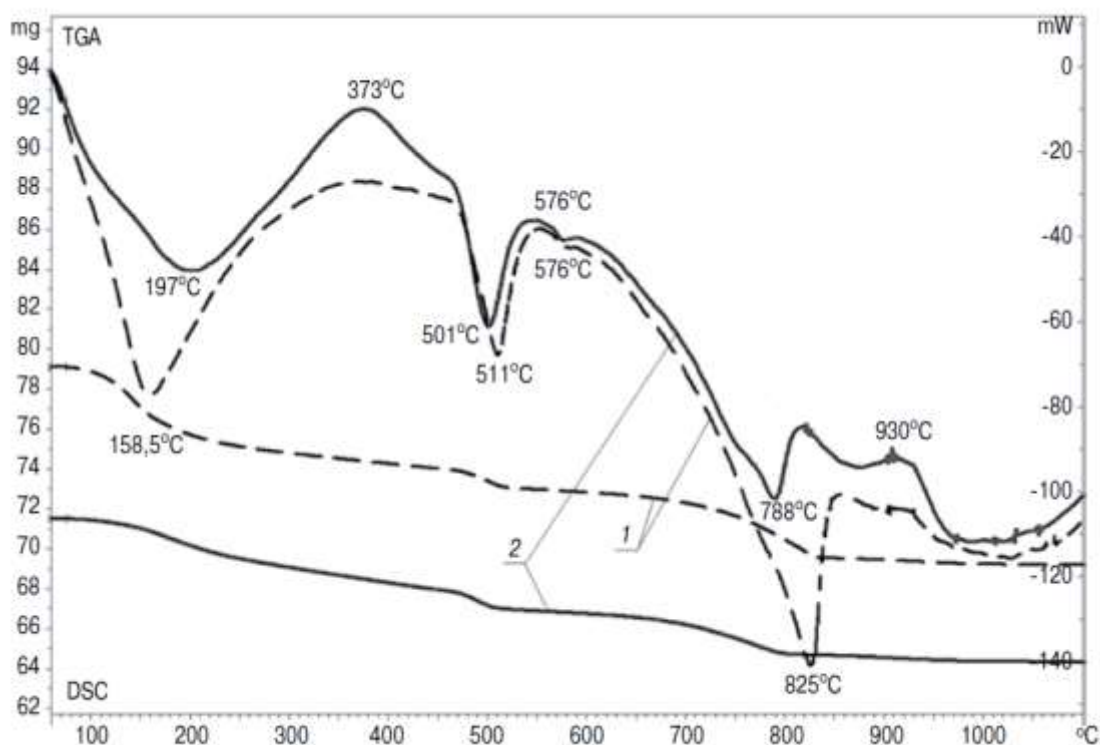


Рисунок 9 – Дифференциально-сканирующая калориметрия образцов после высолообразования: 1 – контрольный образец (без микрокремнезема); 2 – образец с микрокремнеземом МК-85

Появление гидросиликатов кальция с разным модулем основности определяется эндотермическими эффектами в диапазоне температур 700-850 °С.

Дегидратация кристаллогидратной воды в образцах с микрокремнеземом наблюдается при температуре 788 °С в контрольных образцах 825 °С.

Ведение кремнезёма в количестве 5 % вызовет уплотнения микроструктуры игольчатыми ГСК и пластинчатыми новообразованиями на основе гидросиликат кальция (рис. 10).



Рисунок 10 – Микроструктура цементного камня с добавкой дисперсии микрокремнезема (5 % от массы портландцемента)

При повышении содержания микрокремнезема до 8 % происходит существенное изменение микроструктуры прессованных изделий. А именно наблюдается увеличение общего числа ГСК игольчатой структуры (рис. 11), по сравнению с образцами с содержанием МК в количестве 5 %



Рисунок 11 – Микроструктура с добавкой с добавкой дисперсии микрокремнезема (8 % от массы портландцемента)

## ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

1. Выявлено, что бетон – это один из распространенных строительных материалов и обладает рядом важных свойств и качеств: прочность, долговечность, универсальность и др.

2. На основе литературных данных было обнаружено, что в теле бетона, твердевшего в нормальных условиях, без введения специальных добавок в состав бетона, пористость изделий достаточно велика.

3. Установлено, что высокая пористость и как следствие высокая водопроницаемость, ограничивают спектр изделий и сооружений в которых можно применять бетоны, в качестве конструкционного материала.

4. Выявлены способы снижения пористости бетона различными способами.

5. Выявлено, что введение в состав бетонной смеси пуццолановых активных минеральных добавок, таких как микрокремнезем, является одним из самых эффективным способом уплотнения структуры и повышения водонепроницаемости.

6. Установлено, что использование микрокремнезема более эффективно в комплексе добавок, в состав которого обязательно должен входить суперпластификатор.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: Разработать комплекс добавок, позволяющий увеличить показатель водонепроницаемости бетонов, применяемых при бетонировании фундаментов в частном домостроительстве.

Задачи:

1. выявить лучшие дозировки активных, кремний содержащих добавок для бетона;
2. разработать комплексы добавок, увеличивающие водонепроницаемость бетона;
3. определить свойства бетонов, полученных на данных комплексных добавках;
4. выбрать наиболее эффективный из полученных комплекс добавок;
5. сравнить свойства и себестоимость бетонов традиционных составов, с бетоном полученном на предложенных модификаторах.



## 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 2.1 Методы исследования

В настоящее время свойства используемых материалов изучается при помощи совместного применения большого количества методик, это связано с тем, что только повсеместный подход к изучению характеристик материалов приводит к необходимому получению результатов.

Для того чтобы решить задачи, которые были поставлены в данной работе, необходимо изучить следующие характеристики: состав и свойств сырьевых материалов, цементного камня, цементного раствора и бетона, наряду с общепринятыми и предусмотренными ГОСТ методами, использовались и другие специальные методы.

#### 2.1.1 Свойства сырьевых материалов

2.1.1.1 Определение нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста

Оба параметра определялись согласно ГОСТ 310.3-76 на приборе Вика [15].

2.1.1.2 Определение тонкости помола цемента и золы-унос по остатку на сите.

Тонкость помола определялась по остатку на сите, испытание проводилось согласно ГОСТ 310.2-76 [16].

2.1.1.3 Определение загрязняющих примесей в крупном и мелком заполнителях.

Для мелкого заполнителя определение загрязняющих примесей проводилось согласно методике по ГОСТ 8736-93 [17].

Для крупного заполнителя определение загрязняющих примесей проводилось согласно методике по ГОСТ 8269.0-97 [18].

## 2.1.2 Свойства бетонной смеси

### 2.1.2.1 Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси определялась согласно ГОСТ 10181 «Смеси бетонные. Методы испытаний». Подвижность бетонной смеси оценивали по ОК, отформованного из бетонной смеси [19].

### 2.1.2.2 Определение средней плотности бетонной смеси

Среднюю плотность бетонной смеси определяли отношением массы уплотненной бетонной смеси к ее объему. Определялась согласно ГОСТ 10181 «Смеси бетонные. Методы испытаний» [19].

### 2.1.2.3 Определение расслаиваемости бетонной смеси

Расслаиваемость бетонной смеси оценивали по показателю раствооротделения. Определялась согласно ГОСТ 10181 «Смеси бетонные. Методы испытаний» [19].

### 2.1.2.4 Определение сохраняемости подвижности

Оценка сохраняемости достигнутой ОК бетонной смеси заключается в получении данных об изменении характеристик в течение некоторого времени. Определялась согласно ГОСТ 10181 и ГОСТ 30459 [19,29].

### 2.1.2.5 Определение водонепроницаемости бетона.

Водонепроницаемость бетона определялась согласно ГОСТ 12730.5-84 [12]. по методике в приложении 4, по прибору «Агама-2Р».

## 2.1.3 Свойства бетона

Для определения прочности бетонов при сжатии, на растяжение при изгибе, средней плотности водопоглощения по массе, а так показателей трещиностойкости изготавливались образцы-кубики с ребром 7,07 см и образцы призмы квад-

ратного сечения с ребром 4x4x16. Образцы формовались в металлических формах по ГОСТ 22690 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия» [21].

#### 2.1.3.1 Прочность при сжатии

Проводилось испытание по методике ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [22].

#### 2.1.3.2 Средняя плотность бетона

Перед испытанием образцы взвешивали и измеряли их линейные размеры с погрешностью не более 1 % с целью определения их средней плотности, по ГОСТ 12730.1-78 [23].

#### 2.1.3.3 Водопоглощение

Для определения водопоглощения пользовались методикой, описанной в ГОСТ 12730.3-78 [24].

#### 2.1.3.4 Пористость

Определение пористости проводилось по методике описанной А.Е. Шейкиным «Структура и свойства цементных бетонов». Применялся дискретный метод [25].

#### 2.1.4 Дифференциально-термический анализ

Природа дифференциально-термического анализа основывается на изучении фазовых изменений или превращений, происходящих в материале при его нагревании, по сопровождающим физико-химические превращения тепловым эффектам.

Эндотермические эффекты на дифференциальной кривой могут быть вызваны следующими физико-химическими процессами: дегидратацией вещества, диссоциацией, некоторыми полиморфными превращениями, плавлением. Причи-

нами экзотермического эффекта могут быть: реакции окисления или образования новых соединений, полиморфные превращения, сопровождающиеся переходом неустойчивой при данной температуре модификации в устойчивую, переход из аморфного состояния в стабильное или метастабильное кристаллическое.

### 2.1.5 Микроскопический анализ

Данный анализ позволяет оценить структуру и строение бетона, а также зону контакта цемент-заполнитель.

### 2.1.6 Математический метод планирования эксперимента

В работе, для того что бы выявить зависимость свойств бетонов и бетонных смесей от используемых модификаторов, а также для построения математических моделей изучаемых процессов и их статистического анализа применяли математическое планирование эксперимента. Оно содержало в себе: обоснование, а также, выбор плана эксперимента; постановку экспериментов по данному плану с нужным числом повторений; математическую обработку полученных данных экспериментов для установления регрессионных зависимостей; оценку данных зависимостей [65].

## 2.2 Характеристика сырьевых материалов

### 2.2.1 Цемент

В качестве вяжущего в работе применялся цемент ЦЕМII/A-Ш42,5Н по ГОСТ 10178-85, ГОСТ 30515-2013, ГОСТ 31108-2016 производства ЗАО «Дюккерхоф Коркино цемент». Минералогический состав цементного клинкера представлен в таблице 7 [16-18].

Таблица 7 – Минералогический состав клинкерной части

$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
59,2...59,4	15,9...16,1	6,22..6,28	11,9...12,1

Химический состав цемента приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Химический состав цемента

Содержание основных оксидов составе цемента, % по массе								ППП, %
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O +K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	СГ	
21,0	5,59	3,94	64,91	0,79	2,55	2,55	0,023	2,29
...	...	...	...	...	...	...	...	...
21,08	5,60	3,96	64,93	0,81	2,57	2,57	0,025	2,31

Свойства применяемого цемента приведены в таблице 9.

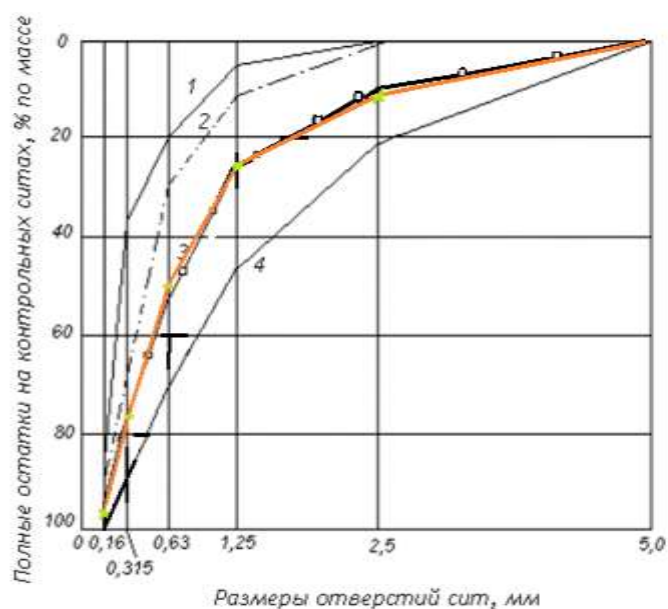
Таблица 9 – Свойства цемента

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 10178;31108 [66, 68]
Нормальная густота, %	26,4-26,6	–
Начало схватывания	2 ч 00 мин...2 ч 10 мин	Не ранее 60 мин
Конец схватывания	3 ч 20 мин...3 ч 30 мин	Не позднее 10 ч
Остаток на сите №008, %	5,1...5,3	Не более 15
Удельная поверхность	3500...3600 м <sup>2</sup> /кг	–

### 2.2.2 Мелкий заполнитель

Как мелкий заполнитель применялся кварцевый песок Хлеборобского месторождения по ГОСТ 8736 [19].

Зерновой состав песка определяется гранулометрическим составом, приведенным в таблице 10. На рисунке 12 представлены также границы крупности песка для различных классов бетона по ГОСТ 26633 [23].



1 – нижняя граница крупности песка; 2 – нижняя граница крупности песка для бетонов класса В15 и выше; 3 – нижняя граница крупности песка для бетонов класса В25 и выше; 4 – верхняя граница крупности песков; 5 – кривая просеивания исследуемого материала.

Рисунок 12 – График зернового состава мелкого заполнителя для бетона

Таблица 10 – Гранулометрический состав песка

Остатки	Остатки, % по массе, на ситах					Проход через сито с сеткой № 016, % по массе
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные	9,1	7,7	16,3	29,1	34,6	0,26
	...	...	...	...	...	...
Полные	9,3	7,9	16,5	29,3	34,8	0,28
	9,1	16,9	33,3	62,5	97,2	—
	...	...	...	...	...	—
	9,3	17,1	33,5	62,7	97,4	—

Модуль крупности песка составил 2,18...2,22, что лежит в пределах 2,0...2,5 для средней группы песка [57].

Свойства песка отображены в таблице 11.

Таблица 11 – Свойства песка

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 8736 [17], соответствующие II классу
Модуль крупности	2,18...2,22	2,0...2,5
Содержание зерен >10 мм, %	0,20...0,24	Не более 5
Содержание зерен 10...5 мм, %	6,4...6,6	Не более 15
Содержание зерен <0,16 мм, %	7,2...7,4	Не более 15
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2275...2315	–
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2450...2550	2000...2800*
Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	1,9...2,1	Не более 3
Пустотность, %	7,8...8,2	–

Примечание – в очень мелком природном песке класса II, по согласованию с потребителем, возможно содержание пылевидных и глинистых частичек до 7 % от массы;

\*согласно ГОСТ 26633 Мелкие заполнители должны иметь среднюю плотность зерен от 2000 до 2800 кг/м<sup>3</sup> [24].

В зависимости от значений полученных характеристик (зернового состава, количества пылевидных и глинистых частиц) исследуемый песок относится ко II классу.

### 2.2.3 Крупный заполнитель

Как крупный заполнитель для бетона применяли гранодиоритовый щебень Казанцевского карьера по ГОСТ 8267-93 [12]. Гранулометрический состав щебня представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Гранулометрический состав щебня

Остатки на ситах	Размеры отверстий сит, мм			
	20	10	5	<5
Полные остатки по ГОСТ 8267 [12], %	До 10	30...60	90...100	95...100
Частные, %	4,8...5,2	61,6...61,8	31,6...31,8	1,5...1,7
Полные, %	4,8...5,2	66,6...66,8	98,3...98,5	98,4...100

– наибольший и наименьший размеры зерен щебня в смеси фракций составили соответственно 20 и 5 мм;

– количество зерен лещадной формы по фракциям 10...20 и 5...10 мм соответственно составляет 10,8 и 13,8 %, следовательно, используемый щебень по содержанию зерен пластинчатой и игловатой форме относится ко второй группе [71];

– насыпная плотность щебня смеси фракций равна 1450 кг/м<sup>3</sup>;

– истинная плотность – 2660 кг/м<sup>3</sup>;

– пустотность щебня – 25,2 %;

– количество пылевидных и глинистых частичек – 1...3 %.

#### 2.2.4 Микрокремнезем

Одним из компонентов комплексного модификатора являлся микрокремнезем. Для выбора производителя микрокремнезема был проведен предварительный эксперимент. При исследовании микрокремнезема определялись следующие параметры:

– Потери при прокаливании по ГОСТ 5382-91 «Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа» [23];

– Насыпная плотность по ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» [21];



– Активность определялась по изменению прочности цементно-песчаных образцов с добавкой микрокремнезема 10 % сверх массы цемента и 10 % взамен части цемента, прочность образцов с добавкой сравнивалась с прочностью бездобавочных образцов;

– Прочность по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний» [17].

Для испытаний растворы изготавливались равноподвижными.

Сравнению подвергались микрокремнеземы производителей:

- МКУ-85 ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (КФ);
- МКУ-85 ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат» (ЧЭМК);
- МК-85 ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат» (ЧЭМК).

Характеристики сравниваемых микрокремнеземов приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики микрокремнеземов

Производитель	КФ	ЧЭМК	ЧЭМК
Марка	МКУ-85	МКУ-85	МК-85
Цвет	светло-серый	темно-серый	темно-серый
Характеристика	легко пересыпается, не слипается, частицы различимы на глаз	плохо пересыпается, частицы на глаз неразличимы, агрегируются, сильно пылит	не пересыпается, частицы на глаз неразличимы, агрегируются, сильно пылит
Насыпная плотность	605 кг/м <sup>3</sup>	635 кг/м <sup>3</sup>	-
Содержание SiO <sub>2</sub> , %	92,30	92,34	-
Содержание MgO, %	1,79	1,57	-
Содержание MnO, %	0,10	0,31	-
ППП	1,23 %	2,16 %	2,60 %

В ходе проведения предварительного эксперимента было принято решение отказаться от применения в составе модификатора микрокремнезема марки МКУ-85 производства «ЧЭМК» в связи с тем, что данный продукт при производстве

модификатора будет вызывать сильное пыление. Дальнейшему анализу подвергались только уплотненные микрокремнеземы. Проведенный микроанализ показал, что микрокремнеземы уплотненные производства ОАО «ЧЭМК» и ОАО «КФ» имеют отличия по внешнему виду. На рисунках 13 и 14 заметно, что форма частиц МКУ производства «КФ» сферическая, за счет чего обеспечивается хорошая сыпучесть данного микрокремнезема, в то время как МКУ производства «ЧЭМК» имеет более мелкие частицы с шероховатой поверхностью и неправильной формой.

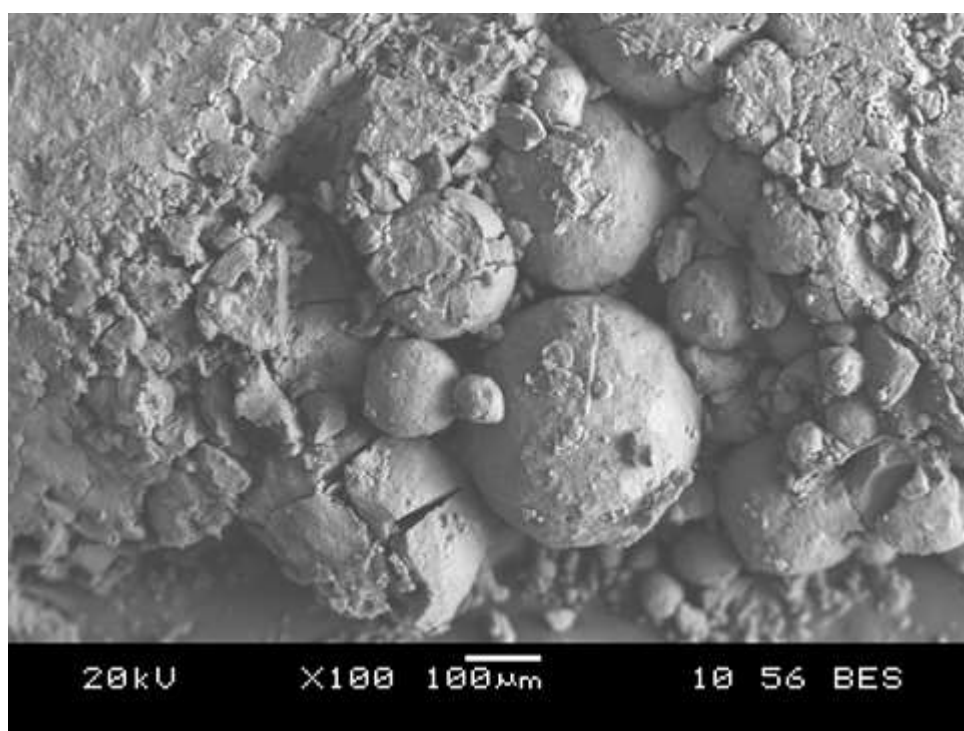


Рисунок 13 – Внешний вид уплотненных частиц МКУ «Кузнецкие ферросплавы»,  
увеличение x100

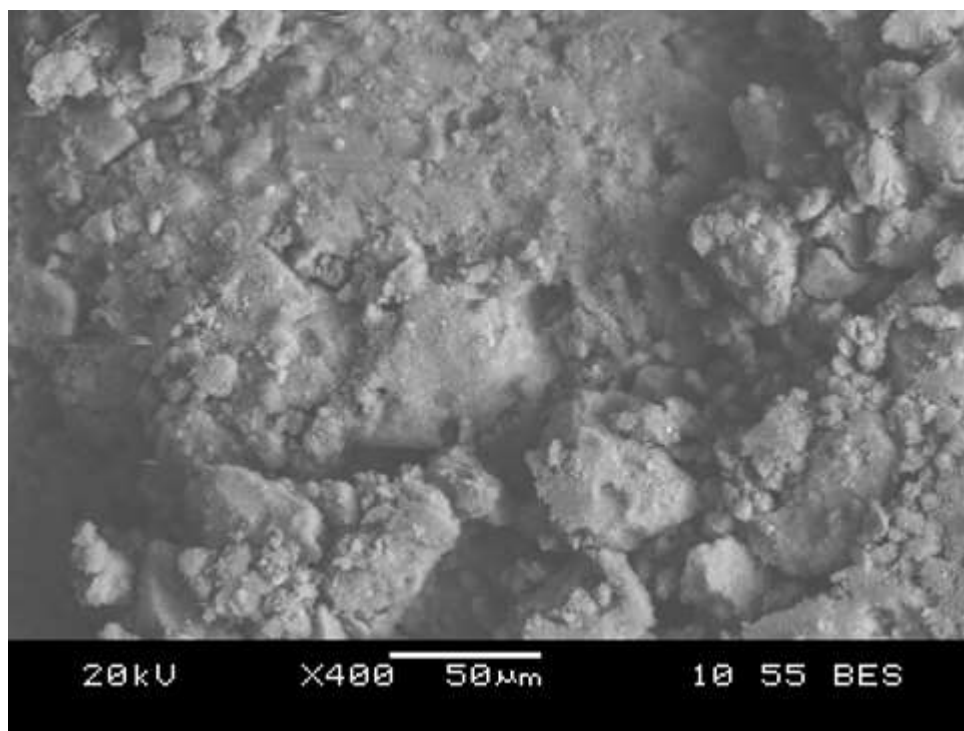


Рисунок 14 – Внешний вид уплотненных частиц МКУ ЧЭМК, увеличение x400

В связи с неправильной формой частиц МКУ «ЧЭМК» плохо пересыпается и слипается. Кроме прочего в МКУ «ЧЭМК» присутствует много мелких частиц, которые являются причиной пыления. Основываясь на результатах микроанализа можно сделать вывод, что характеристики микрокремнезема такие, как сыпучесть, количество пылящих частиц, форма частиц во многом зависят от способа уплотнения микрокремнезема на предприятии. На рисунках 15 и 16 представлены микрофотографии микрокремнеземов марок «КФ» и «ЧЭМК», проанализировав которые было выявлено, что размер элементарных частиц микрокремнезема у обоих марок близкий.

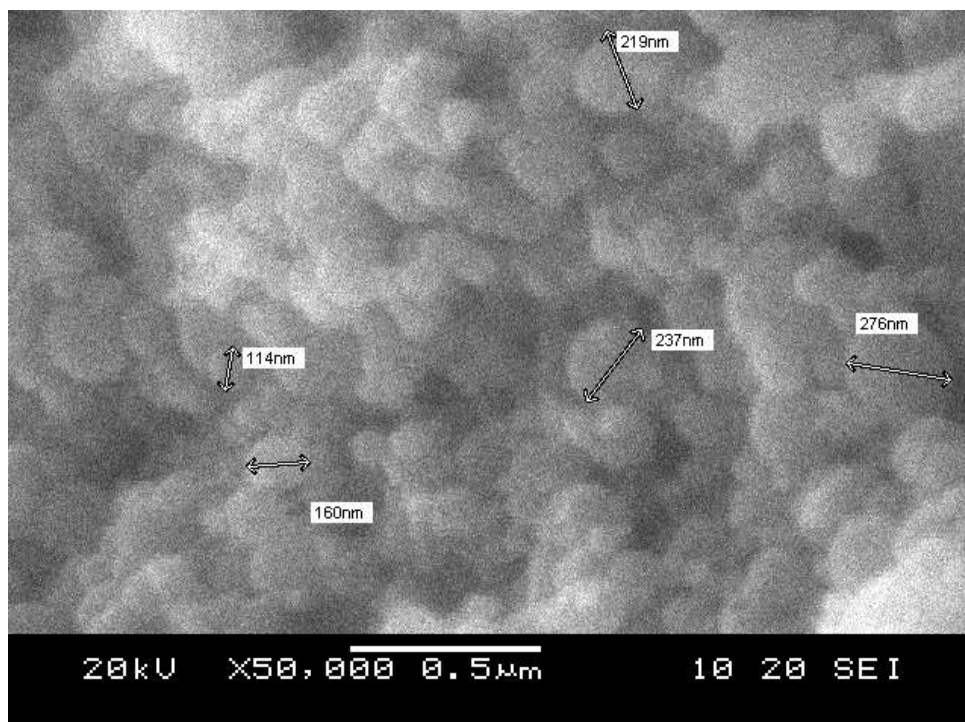


Рисунок 15 – Элементарные частицы микрокремнезема МКУ «Кузнецкие ферросплавы», увеличение x50 000

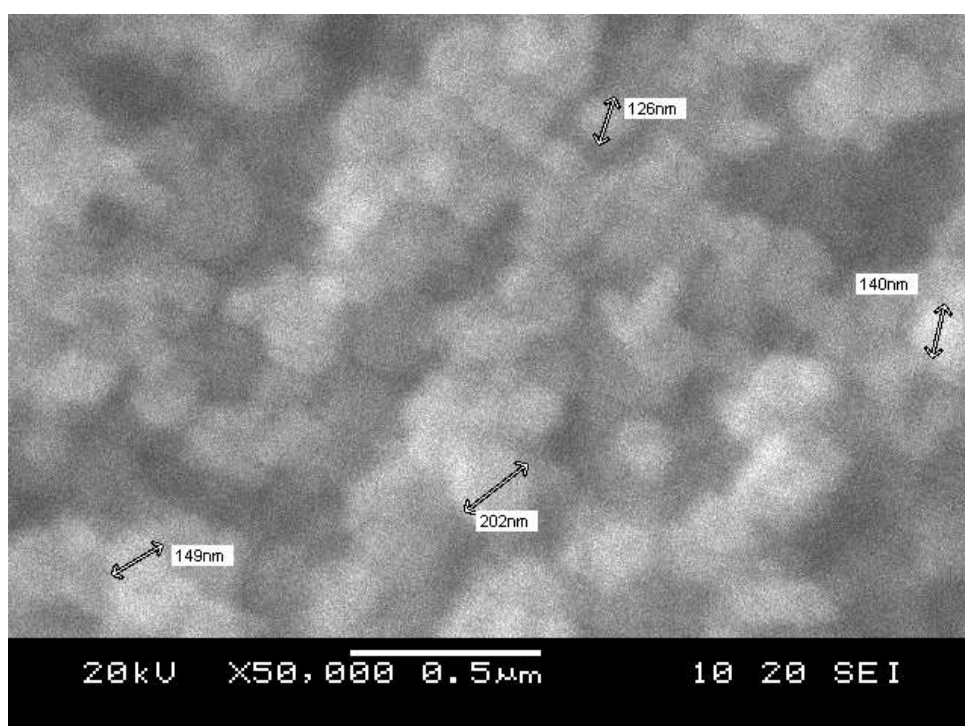


Рисунок 16 – Элементарные частицы микрокремнезема МКУ ЧЭМК, увеличение x50 000

Кроме прочего микрокремнеземы обоих производителей имеет близкие значения характеристики насыпной плотности и похожий химический состав. Мик-

рокремнезем производства «ЧЭМК» показал несколько выше значения потерь при прокаливании, в отличие от МКУ производства «Кузнецкие ферросплавы».

Анализируя полученные результаты при определении активности микрокремнеземов, можно сделать вывод, что все марки микрокремнеземов, используемые в качестве монодобавки снижают прочность материала в марочном возрасте как при дозировании сверх массы цемента, так и вместо части цемента. Данный эффект обусловлен перекристаллизацией минералов портландцемента из-за избыточного введения микрокремнезема. Таким образом, при проектировании состава комплексного модификатора необходимо подобрать оптимальную дозировку микрокремнезема, а совместное применение микрокремнезема и суперпластификатора в комплексном модификаторе приведет к повышению прочности всей композиции за счет снижения водоцементного отношения. В образцах с применением микрокремнезема МКУ производства «Кузнецкие ферросплавы» менее выражен эффект снижения прочности.

Было принято решение использовать микрокремнезем марки МКУ-85 производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы».

### 2.2.5 Зола-унос

Минеральной составляющей комплексного модификатора также являлась зола-унос Рефтинской ГРЭС. Технические характеристики золы-унос приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики золы-унос Рефтинской ГРЭС

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 25818 [22]
Насыпная плотность	720-750 кг/м <sup>3</sup>	-
Содержание SiO <sub>2</sub> , %	58-59	≥45
Содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	20,2-23,5	-
Содержание Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	5,3-5,86	-
Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 25818 [22]
Содержание СаО, %	3,04-3,8	-

Окончание таблицы 14

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 25818 [22]
Содержание SO <sub>3</sub> , %	0,1-0,5	≤ 2,0
Содержание CaO, % по массе	3,04-3,8	Не более 10
Содержание MgO, % по массе	0,9-0,95	Не более 5
Содержание сернистых и серноокислых соединений в пересчете на SO <sub>3</sub> , % по массе	0,1-0,5	Не более 3
ППП, %	2,8-3,2	Не более 10
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	300-350	Не менее 150-250
Остаток на сите №008, %	18,2	Не более 20

Используемая зола-унос удовлетворяет требованиям ГОСТ 25818 «Зола-уноса тепловых станций для бетонов. Технические условия» [19].

### 2.2.6 Аэросил

AEROSIL® 200 является гидрофильным пирогенным оксидом кремния с площадью поверхности 200 м<sup>2</sup>/г.

Область применения:

- Лакокрасочные материалы;
- Ненасыщенные полиэфирные смолы, ламинирующие смолы и гелевые покрытия;
- 2-х компонентные силиконовые каучуки с полимеризацией при комнатной и высокой температуре;
- Клеи и герметики;
- Печатные краски;
- Кабельный пластикат и кабельные гели;
- Защита растений;
- Продукты питания и косметика.

Свойства:

- Регулирование реологии и тиксотропии жидких систем, связующих, полимеров и др.;
- Используется в качестве добавки для загущения, для предотвращения осаждения и потеков;
- Улучшение физико-механических свойств 2-х компонентных систем силиконовых каучуков;
- Для улучшения сыпучести и предотвращения слеживания порошкообразных материалов.

Таблица 15 – Технические характеристики Аэросил 200

Свойство	Значение
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г.	200
Средний размер частиц, нм	12
Насыпная плотность, г/л	50
Содержание влаги, 2 часа при 105 °С, %	Менее 1,5
ППП, %	Менее 1
pH 4 % дисперсии	3,7-4,7
Содержание SiO <sub>2</sub> , %	Более 99,8

### 2.2.7 Метакаолин

Метакаолин МКЖЛ – аморфный силикат алюминия, полученный при термической обработке обогащенного каолина месторождения Журавлиный Лог.

На предприятии производится три марки метакаолина с основным отличием между собой по белизне.

Показатели белизны (координата цвета L\* CIELAB (светлота) по (ИСО 787/1) (C/2)): для МКЖЛ-1 – 97-94,5 %, для МКЖЛ-2 – 95-93 %.

МКЖЛ-3 метакаолин имеет ярко выраженный кремовый оттенок

Минералогический состав метакаолина МКЖЛ представлен полностью аморфизованным каолинитом (90-93 %), кристаллическая фаза представлена реликтовыми слюдой (2,5-3,0 %) и кварцем (4-5 %), кристаллические новообразования (муллит, кристаболит) практически отсутствуют.

Таблица 16 – Технические характеристики химический состав метакаолина МКЖЛ

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	ППП
Содержание, %	42–43	53–54	0,4– 0,8	0,3– 0,5	0,8– 1,1	0,05	0,15	до 1,5

- Массовая доля остатка на сите №0080 не более 0,4 %, №0040 не более 5,0 %;
- Концентрация водородных ионов 10 % водной суспензии, 5-6(pH);
- Удельная поверхность не менее 16500 см<sup>3</sup>/г;
- Насыпная масса 250-300 кг/м<sup>3</sup>;
- Пуццолановая активность не менее 1400 мг Са(ОН)<sub>2</sub>/г метакаолина.

#### 2.2.8 Добавка суперпластификатор

Основу суперпластификатора С-3 составляют нитриевые соли продукта конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида.

Суперпластификатор С-3 производится в жидкой и сухой форме: в виде водорастворимого порошка светло-коричневого цвета или водного раствора темно-коричневого цвета, имеющего концентрацию не менее 32 %. При хранении не выделяет вредных газов или паров.

Суперпластификатор С-3 в сухом виде не изменяет своих свойств в интервале температур от +85 °С до -40 °С с последующим полным оттаиванием. Водный раствор суперпластификатора С-3 сохраняет свои свойства при нагревании до 40-45°С. При нагревании раствора выше указанной температуры компоненты добавки подвергаются частичной деструкции, что снижает пластифицирующий эффект. По этой же причине не рекомендуется предварительный разогрев бетонных смесей с химической добавкой С-3.

Добавка С-3 легко смешивается с другими добавками (гидрофобизаторами, ускоряющими, замедляющими, воздухововлекающими), не вступая в химическую реакцию с ними и сохраняя свои свойства.



В процессе эксплуатации ЖБИ суперпластификатор С-3 не оказывает вредного влияния на организм человека. Добавка разрешена для применения в конструкциях, контактирующих с питьевой водой.

Применение суперпластификатора С-3 позволяет:

- увеличить подвижность бетонной смеси от П1 до П5;
- снизить водопотребность при затворении вяжущего вещества на 20-28 %;
- увеличить конечные прочностные характеристики до 50 %;
- регулировать сроки схватывания, изменяя количество вводимой добавки С-3;
- в 1,5-1,6 раз увеличить сцепление бетона с закладной арматурой и металлоизделиями с одновременным ингибированием поверхности металла;
- получить «литые» бетоны с повышенной влагонепроницаемостью, трещиностойкостью, морозостойкостью (350 циклов);
- снизить расход цемента (на 20 %).

Применение: Химическая добавка С-3 применяется в производстве напорных железобетонных труб, сборных конструкций из высокопрочного бетона В20 и выше. Изготовлении на стендах густоармированных конструкций (типа ферм, балок, колонн, пролетных строений мостов), плит и панелей в кассетах, на поточно-агрегатных и конвейерных линиях. Возведении ответственных конструкций монолитных сооружений с повышенной степенью армирования и сложной конфигурацией.

### 3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Подбор составов комплексных модификаторов

Основной целью работы являлось разработать составы комплексных модификаторов для повышения водонепроницаемости бетона, без ухудшения других важных для бетонов параметров.

##### 3.1.1 Подбор оптимальных дозировок кремнистых добавок.

###### 3.1.1.1 Подбор дозировок аэросила

Для разработки состава комплексного модификатора, обладающего пластифицирующим действием, был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент. Факторами эксперимента являлись:

- Фактор X: содержание суперпластификатора СП-1;
- Фактор Y: содержание активной минеральной добавки аэросил.

План-матрица эксперимента и свойства полученных композиций представлены в таблицах 17, 18

Таблица 17 – План-матрица эксперимента с добавкой аэросила

№ состава	Содержание АМД		Содержание СП	
	Кодовое значение	В %	Кодовое значение	В %
1	-1	0	-1	0,8
2	-1	0	0	0,9
3	-1	0	+1	1
4	0	1,5	-1	0,8
5	0	1,5	0	0,9
6	0	1,5	+1	1
7	+1	3	-1	0,8
8	+1	3	0	0,9
9	+1	3	+1	1

Таблица 18 – Результаты эксперимента с добавкой аэросила

№ со- става	Стандарт- ная конси- стенция, СК  %	Прочность при изгибе в различные сроки твердения,  МПа			Прочность при сжатии в различные сроки твердения,  МПа		
		1	7	28	1	7	28
		1	38,8	2,01	6,10	7,56	10,1
2	37,5	2,35	6,88	7,68	11,2	32,0	49,6
3	36,3	2,89	6,90	8,48	12,8	35,4	58,6
4	45,7	2,28	5,81	6,85	12,0	26,1	37,0
5	43,1	2,75	6,53	7,23	14,1	32,6	39,9
6	43,1	3,79	6,78	7,91	15,9	34,9	41,6
7	58,0	2,63	4,40	5,65	8,4	23,5	29,1
8	54,1	2,75	4,98	5,80	8,8	24,3	30,0
9	52,8	2,83	5,15	5,93	9,9	26,1	33,7

### 3.1.1.2 Подбор дозировок микрокремнезема

Для разработки состава комплексного модификатора, обладающего пластифицирующим действием, был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент. Факторами эксперимента являлись:

- Фактор X: содержание суперпластификатора СП-1;
- Фактор Y: содержание активной минеральной добавки микрокремнезем.

План-матрица эксперимента и свойства полученных композиций представлены в таблицах 19, 20

Таблица 19 – План-матрица эксперимента с добавкой микрокремнезема

№ состава	Содержание АМД		Содержание СП	
	Кодовое значе- ние	В %	Кодовое значе- ние	В %
1	-1	0	-1	0,8
2	-1	0	0	0,9

Окончание таблицы 19

№ состава	Содержание АД		Содержание СП	
	Кодовое значение	В %	Кодовое значение	В %
3	-1	0	+1	1
4	0	4	-1	0,8
5	0	4	0	0,9
6	0	4	+1	1
7	+1	8	-1	0,8
8	+1	8	0	0,9
9	+1	8	+1	1

Таблица 20 –Результаты эксперимента с добавкой микрокремнезема

№ состава	Стандартная консистенция, СК %	Прочность при изгибе в различные сроки твердения, МПа			Прочность при сжатии в различные сроки твердения, МПа		
		1	7	28	1	7	28
		1	38,8	2,01	6,10	7,56	10,1
2	37,5	2,35	6,88	7,68	11,2	32,0	49,6
3	36,3	2,89	6,90	8,48	12,8	35,4	58,6
4	45,1	2,12	7,59	9,91	17,1	27,3	50,3
5	44,0	2,43	7,70	10,3	19,2	29,1	51,4
6	42,2	2,59	7,96	10,4	20,0	31,3	54,5
7	48,3	2,57	8,44	10,59	21,4	35,7	57,5
8	47,1	2,73	8,87	10,69	23,1	39,6	63,6
9	45,9	2,81	8,94	11,0	24,5	41,5	64,1

После формования образцы (40x40x160 мм.) хранили 28 суток в условиях нормального твердения.

Согласно результатам эксперимента, представленным в таблице 18, очевидно, что введение аэросила в размере 3 % вместо цемента заметно снижает прочность,

поэтому для следующих опытов было принято решение использовать замену вяжущего аэросилом на 1,5 %.

Отклики из таблицы 20, позволяют сделать однозначный вывод, что наилучшими показателями обладают составы, где заменялось 8 % от массы вяжущего вещества на микрокремнезем. И для дальнейших экспериментов будет применяться именно эта дозировка.

В случаях и с аэросилом и с микрокремнеземом наименьшие значения нормальной консистенции были получены при введении 1 % суперпластификатора, и данные составы обладали самым низким В/Ц отношением в серии. Как было указано в литературном обзоре данной статьи, чем меньше В/Ц отношение, тем меньше проницаемость бетона, чего и необходимо добиться в ходе данного исследования.

По результатам математического метода планирования были получены регрессионные уравнения следующего вида:

$$MI(x,y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_{11}x^2 + b_{22}y^2 + b_{12}xy, \quad (4)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$  – коэффициенты регрессионного уравнения;  $x, y$  – варьируемые факторы.

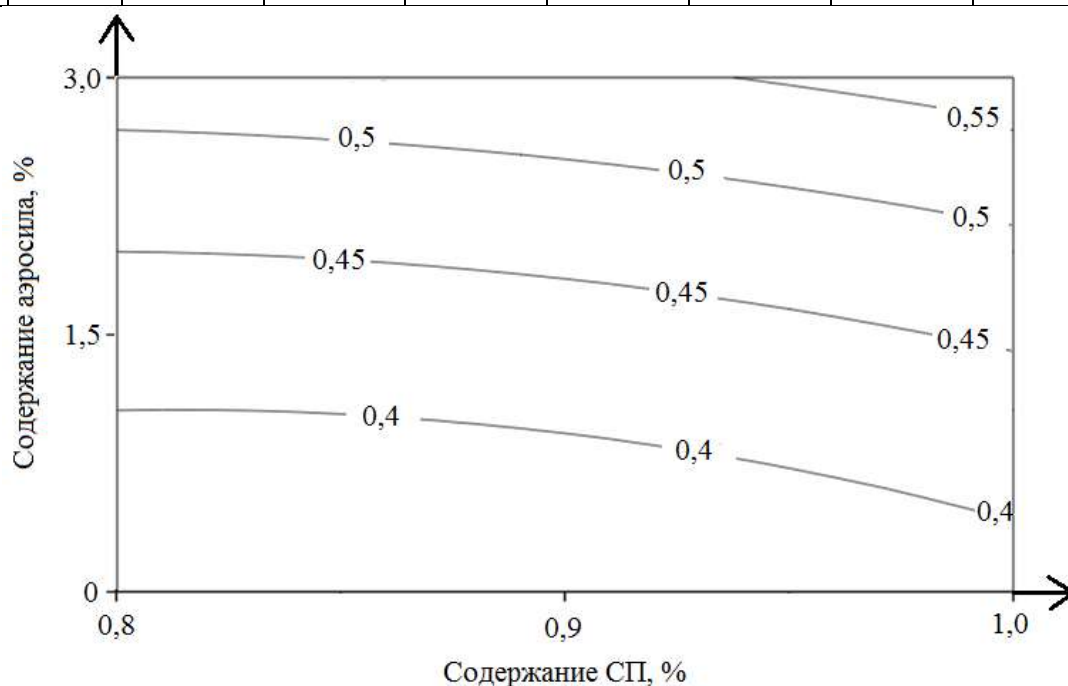
Значения коэффициентов  $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$  и Фишера (FR) для двухфакторных экспериментов представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Значения коэффициентов регрессионных уравнений и Фишера

АМД	Коэффициенты	Значение коэффициентов при определении прочность при изгибе в различные сроки твердения			Значение коэффициентов при определении прочность при сжатии в различные сроки твердения			Значение коэффициентов при определении (НК)
		1 сут.	7 сут.	28 сут.	1 сут.	7 сут.	28 сут.	
аэро-сил	$b_0$	2,859	6,555	7,223	13,900	31,244	38,767	29,569
	$b_1$	0,432	0,420	0,377	1,350	2,257	3,700	2,748
	$b_2$	0,160	-0,892	-1,057	-1,167	-4,150	-10,167	-0,321
	$b_{11}$	0,122	-0,273	0,160	0,150	-0,067	1,100	0,459
	$b_{12}$	-0,170	-0,013	-0,160	-0,300	-0,350	-2,100	-0,250

Окончание таблицы 21

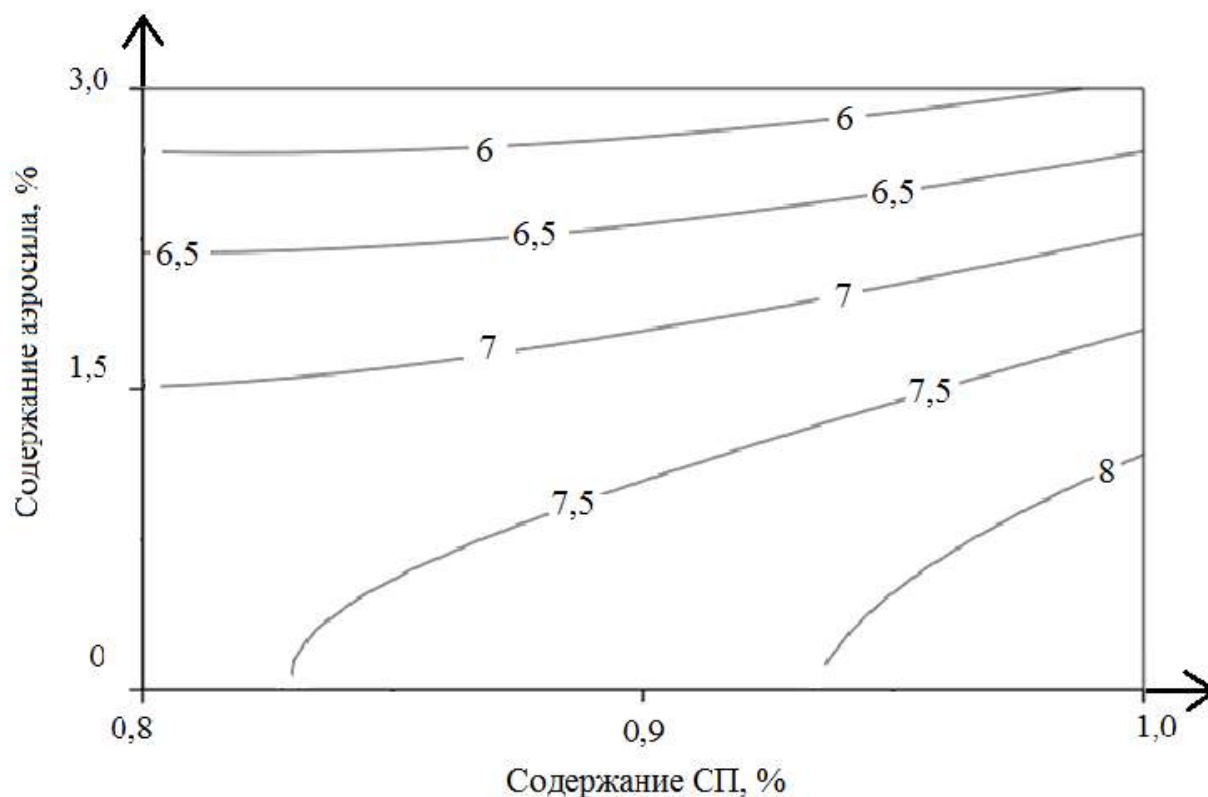
АМД	Коэф- фици- енты	Значение коэффициентов при определении проч- ность при изгибе в раз- личные сроки твердения			Значение коэффициентов при определении проч- ность при сжатии в раз- личные сроки твердения			Значение ко- эффициентов при определе- нии (НК)
		1 сут.	7 сут.	28 сут.	1 сут.	7 сут.	28 сут.	
аэро- сил	b <sub>22</sub>	-0,363	-0,638	-0,480	-3,800	-2,417	1,600	-1,043
	FR	98,603	6,958	31,848	3,352	41,394	26,209	34,719
МКУ	b <sub>0</sub>	2,383	7,858	10,137	18,889	29,100	51,911	28,006
	b <sub>1</sub>	0,265	0,278	0,303	1,450	2,300	3,967	4,412
	b <sub>2</sub>	0,143	1,062	1,427	5,817	3,000	5,233	4,501
	b <sub>11</sub>	-0,005	-0,162	0,100	-0,183	0,200	0,233	-0,067
	b <sub>22</sub>	-0,160	-0,075	-0,128	0,100	0,450	-1,600	-0,281
	b <sub>12</sub>	0,180	-0,062	-0,870	-1,583	6,700	4,433	5,524
	FR	4,038	27,279	25,326	0,775	6,257	58,298	14,105



$$M(x, y) := 0,43 - 0,02x + 0,09y + 0,009x^2 - 0,007y^2 + 0,02xy$$

Рисунок 17 – Зависимость нормальной плотности цементно-песчаного раствора от содержания аэросила и содержания СП (коэффициент Фишера 3,472), %

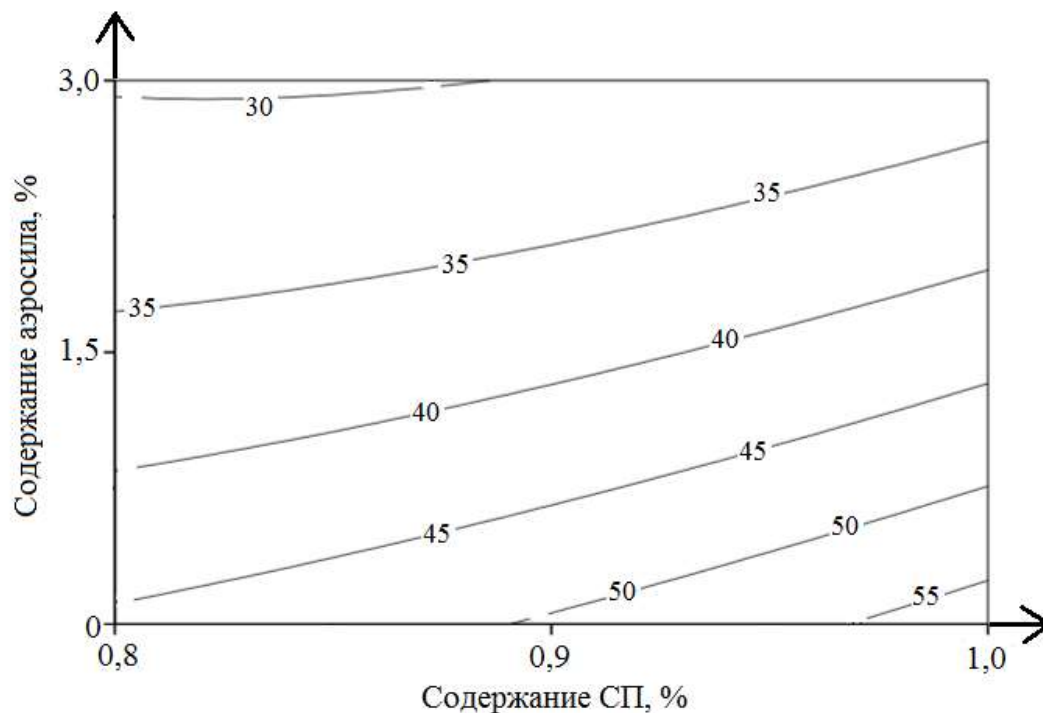
Характер расположения изолиний на рисунке 17 говорит о том, что главным фактором, оказывающим влияние на величину нормальной густоты является содержание аэросила.



$$M(x, y) := 7,22 + 0,38x - 1,06y + 0,16x^2 - 0,16y^2 - 0,48xy$$

Рисунок 18 – Зависимость прочности при изгибе образцов на цементно-песчаного раствора в возрасте 28 сут. от содержания аэросила и содержания СП (коэффициент Фишера 31,848), МПа

Анализируя рисунок 18, можно сказать, что с увеличением содержания аэросила прочность образцов бкднт падать, и быстрота падения резка увеличивается при дозировках выше 1,5 % по массе вяжущего.

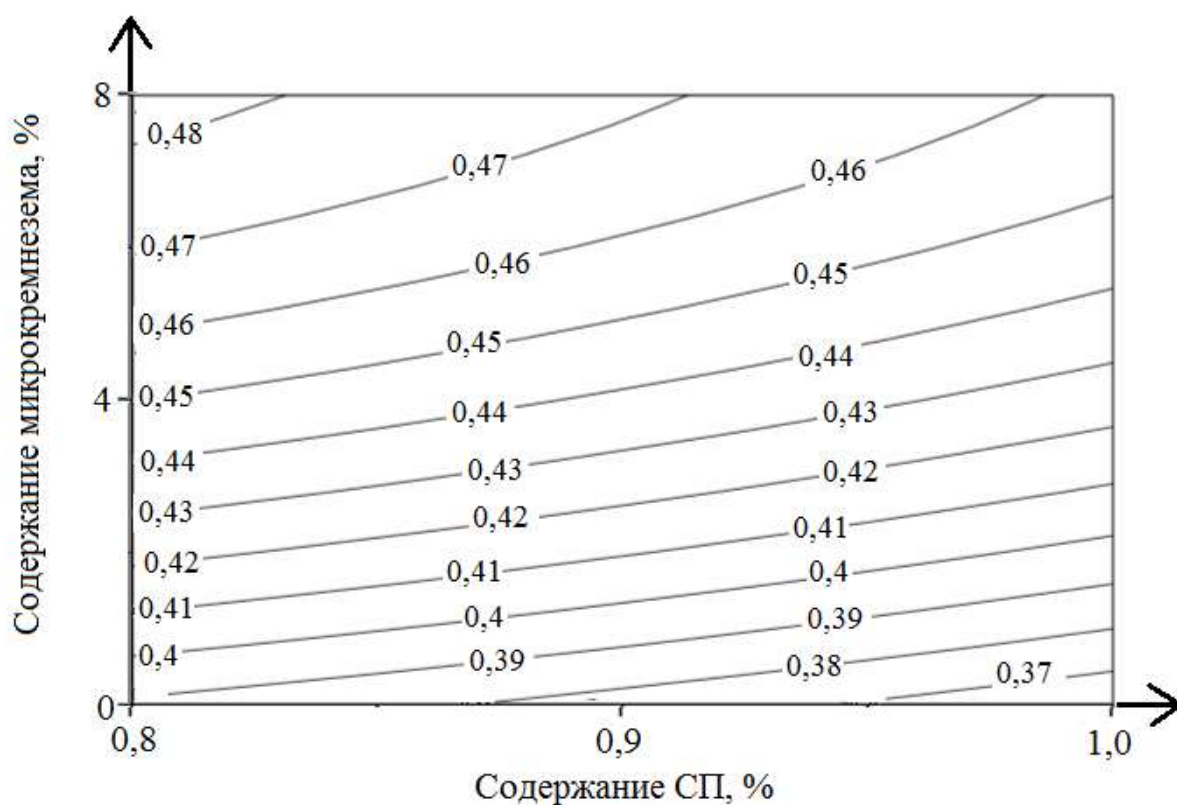


$$M(x, y) = 38,77 + 3,7x - 10,17y + 1,1x^2 - 2,1y^2 + 1,6xy$$

Рисунок 19 – Зависимость прочности при сжатии образцов на цементно-песчаного раствора в возрасте 28 сут. от содержания аэросила и содержания СП (коэффициент Фишера 26,206), МПа

Расположение изолиний на рисунке 19 указывает на то, что на прочность при сжатии оказывают большее влияние дозировки аэросила до 1,5 %, затем прочность при сжатии изменяется меньше, но данный вывод справедлив лишь для рассматриваемого интервала дозировок СП и аэросила.

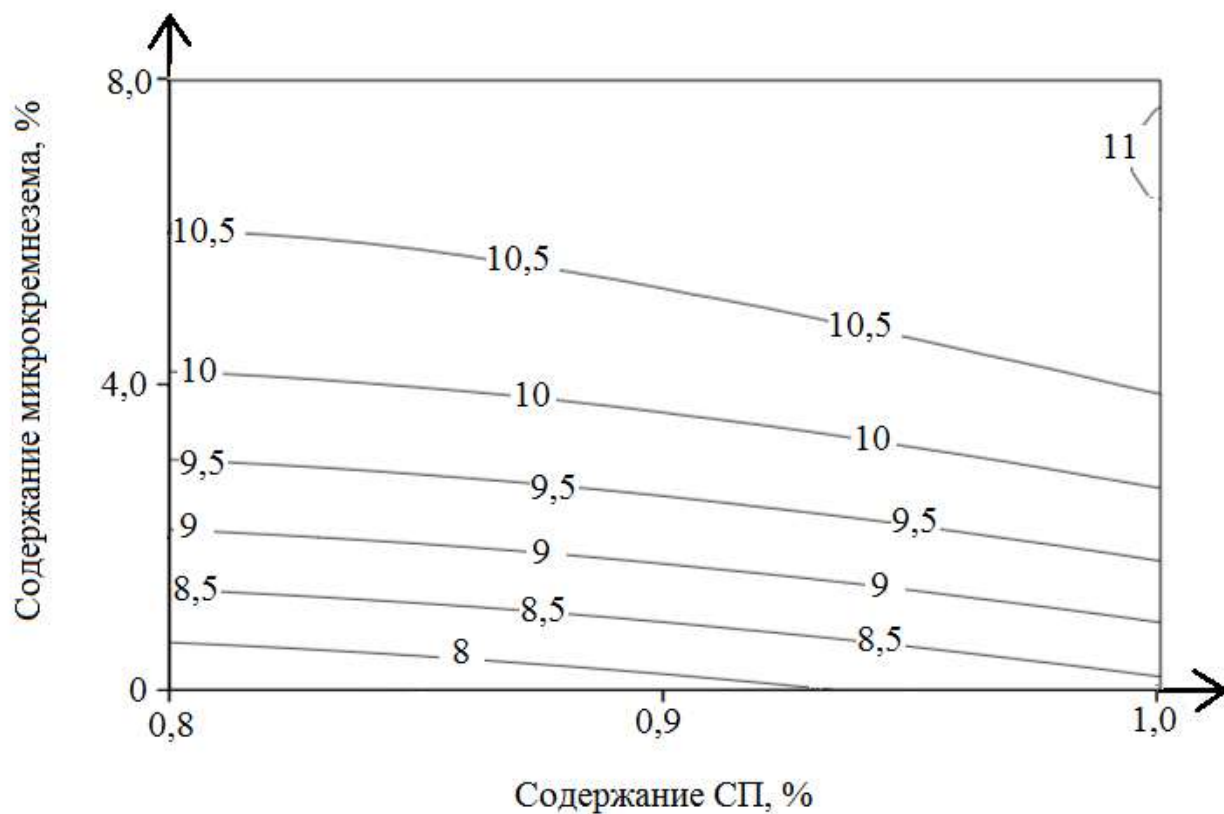




$$M(x, y) := 0,44 - 0,01 x + 0,05 y - 0,001 x^2 + 0,0003 y^2 - 0,373 xy$$

Рисунок 20 – Зависимость нормальной густоты цементно-песчаного раствора от содержания микрокремнезема и содержания СП (коэффициент (коэффициент Фишера 0,373), %

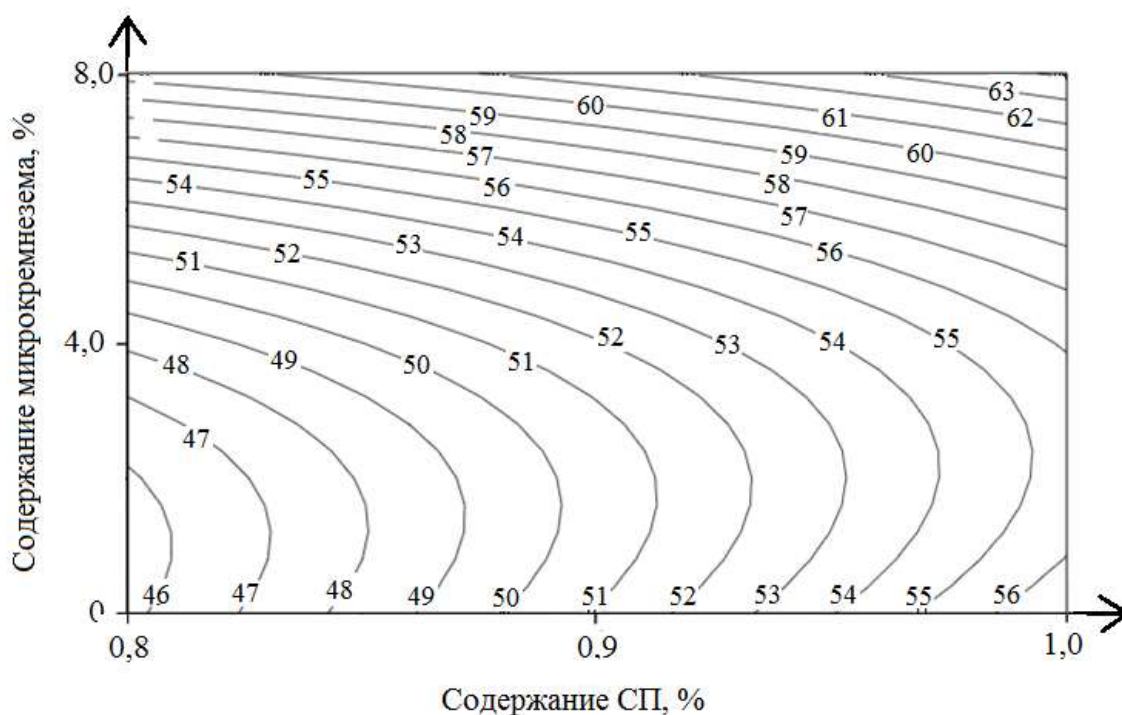
По рисунку 20 видно, что до уровня дозировки микрокремнезема около 4 %, она практически оказывает ключевое воздействие на величину нормальной густоты, и только за пределом 4 %. На величину НГ начинает влиять дозировка суперпластификатора.



$$M(x, y) := 10,14 + 0,303 x + 1,427 y + 0,1 x^2 - 0,13 y^2 - 0,87 xy$$

Рисунок 21 – Зависимость прочности при изгибе образцов на цементно-песчаного раствора в возрасте 28 сут. от содержания микрокремнезема и содержания СП (коэффициент Фишера 25,326), МПа

Как видно из рисунка 21, зависимость описанная выше к рисунку 3.5 сохраняет свою тенденцию и в зависимостях при испытаниях образцов при изгибе. Примерно до 4 % добавки МК, он является главным фактором воздействия на величину  $R_{изг}$  и лишь при больших дозировках существенное влияние оказывает СП.



$$M(x, y) = 51,91 + 3,97x + 5,23y + 0,23x^2 - 1,6y^2 + 4,43xy$$

Рисунок 22 – Зависимость прочности при сжатии образцов на цементно-песчаного раствора в возрасте 28 сут. от содержания микрокремнезема и содержания СП (коэффициент Фишера 58,294), МПа

Характер изолиний, приведенных на рисунке 22, позволяет с уверенностью сказать, что до уровня дозировки микрокремнезема в 4 % главное воздействие на величину прочности сыграет суперпластификатор, а уже после указанного значения преимущественно будет влиять размер дозировки МК.

### 3.2 Получение водонепроницаемого бетона.

Проанализировав результаты предварительных экспериментов, было принято решение, что для исследований водонепроницаемости бетонов будут применены следующие дозировки компонентов: аэросил: 0,2, 0,8 и 1,5 %, микрокремнезем 6 и 8 %, суперпластификатор С-3 – 1 %. Дополнительные составы с дозировками аэросила по величине 0,2 и 0,8 % от массы цемента были введены с целью исследования области дозировок добавки аэросила меньших 1,5 %. А также, дополнительно были применены метакаолин и зола-уноса. Их дозировки в размере 2,5 % и 6 % соответственно, были взяты согласно исследований, проведенных на кафедре

«Строительные материалы» ЮУрГУ г. Челябинска, Кирсановой А.А. и др. исследователями.

Решение применить метакаолин обосновывается тем, что в масштабах всей работы исследование затрагивает проблемы бетонирования фундаментов частного домостроительства, где строительный период короток, особенно в условиях Сибири и Урала. А применение золы-уноса в небольших дозировках позволит снизить стоимость бетонной смеси. Запроектированные составы представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Составы применяемых бетонных смесей на 1 м<sup>3</sup>

№ состава	Цемент, кг	Песок, кг.	Щебень, кг.	Вода, кг.	С-3, кг.	МКУ, кг.	Аэросил, кг.	Зола, кг.	МТК, кг.
1	322	850	1150	136	3,5	28	0	0	8,05
2	344,75	850	1150	136	3,5	0	5,25	0	8,05
3	347,2	850	1150	136	3,5	0	2,8	0	8,05
4	349,3	850	1150	136	3,5	0	0,7	0	8,05
5	308	850	1150	136	3,5	21	0	21	8,05
6	350	850	1150	136	3,5	0	0	0	8,05

На исследуемых составах были получены отклики по прочностям и водонепроницаемости и сведены в таблицу 23.

Таблица 23 – Значения пределов прочности и водонепроницаемости

№ состава	Прочность при сжатии в различные сроки твердения, МПа				Водонепроницаемость, по классу W
	1 сутки	3 сутки	7 сутки	28 сутки	
1	18,94	30,00	37,87	61,28	16
2	12,13	21,29	31,09	47,42	18
3	24,24	29,11	34,60	42,48	14
4	24,07	28,24	34,26	44,95	18
5	17,44	23,82	32,79	49,47	20
6	22,81	27,15	31,03	40,49	4

Согласно полученным данным, представленным в таблице 23, оптимальные результаты по показателям прочности при сжатии и водонепроницаемости были

получены на составе №1. Что еще раз подтверждает проведенные ранее исследования по применению микрокремнезема в бетоне, как модификатора его структуры, и, доказывает, что введение в состав бетона микрокремнезема приводит к образованию низкоосновных гидросиликатов кальция слоистой структуры, увеличивающих водонепроницаемость и другие свойства материала. Состав №5 был взят из литературных источников и приведён для сравнения [91].

Согласно результатам проведённых опытов, на составах под номерами 2, 3 и 4 с добавкой аэросила, можно сделать вывод, что аэросил не вступает во взаимодействие с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  бетона, то есть не образует соединения подобно тем, что получаются при взаимодействии микрокремнезема с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Это означает, что повышение водонепроницаемости с увеличением дозировки аэросила происходит лишь благодаря уплотнению самой структуры бетона путем коагуляции пор. Эту позицию доказывают результаты дериватографического (ДТ) анализа, представленные на рисунках 23 и 24.

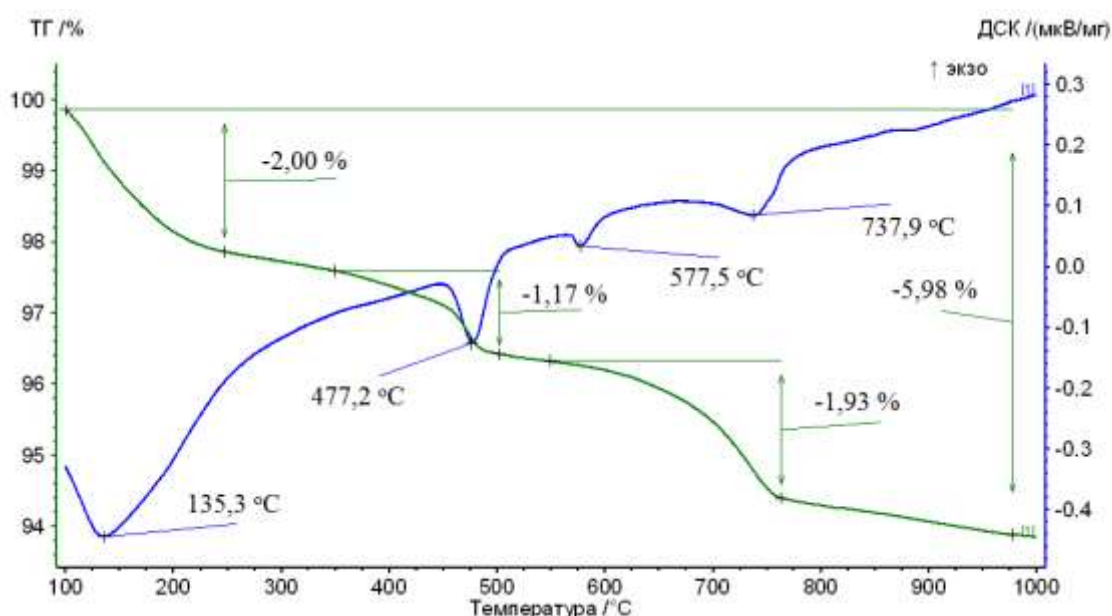


Рисунок 23 – ДТ анализ состава № 2

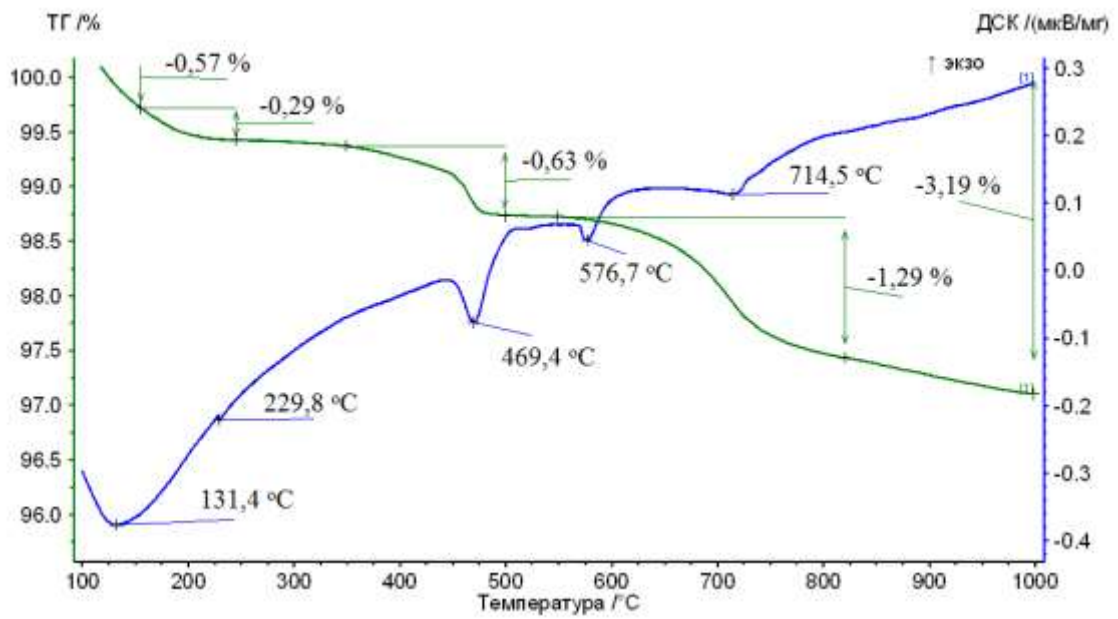


Рисунок 24 – ДТ анализ состава № 4

Как видно из рисунков 23 и 24 при 577 °С величина теплоты выделяющейся при дегидратации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  остаётся на одном уровне.

## ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

1. Выявлено, что увеличение количества добавки аэросила более 1,5 % приводит к заметному снижению прочностных характеристик бетонов.
2. Установлено, что применение аэросила приводит к значительному увеличению В/Ц, поэтому целесообразно использование пластификаторов.
3. Выявлено, что в рассматриваемом диапазоне дозировок СП, наибольшей прочностью будут обладать бетоны с дозировкой 1 % СП
4. Определено, что составы с микрокремнеземом способны обеспечить водонепроницаемость марок W16-W20.
5. Определено, что введение аэросила приводит к уплотнению структуры и понижению прочности.
6. Установлено, что при дозировках аэросила в 0,2 и 1,5 % по массе цемента, получаемые бетоны имеют одно значение по марке водонепроницаемости – W18.
7. Как показали рисунки дифференциально-термического анализа, аэросил не вступает во взаимодействие с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а лишь выполняет роль микрозаполнителя.

#### 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Таблица 24 – Составы экспериментальных бетонов

№ со-става	Це-мент, кг	Пе-сок, кг.	Ще-бень, кг.	Во-да, кг.	С-3, кг.	МКУ, кг.	Аэро-сил, кг.	Зола, кг.	МТК, кг.
1	322	850	1150	136	3,5	28	0	0	8,05
2	344,8	850	1150	136	3,5	0	5,25	0	8,05
3	347,2	850	1150	136	3,5	0	2,8	0	8,05
4	349,3	850	1150	136	3,5	0	0,7	0	8,05
5	308	850	1150	136	3,5	21	0	21	8,05
6	350	850	1150	136	3,5	0	0	0	8,05

Таблица 25 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №1

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	322 кг	4 руб/кг	1288
Песок	850 кг	0,3 руб/кг	255
Щебень	1150	0,6 руб/кг	690
Вода техническая	136 л	0,15 руб/л	20,4
С-3	3,5 кг	110 руб/кг	385
МКУ	28 кг	4 руб/кг	112
МТК	8,05 кг	15 руб/кг	120,75
ИТОГО:			2871,15

Таблица 26 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №2

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	344,8 кг	4 руб/кг	1379,2
Песок	850 кг	0,3 руб/кг	255
Щебень	1150	0,6 руб/кг	690
Вода техническая	136 л	0,15 руб/л	20,4



## Окончание таблицы 26

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
С-3	3,5 кг	110 руб/кг	385
Аэросил	5,25 кг	200 руб/кг	1050
МТК	8,05 кг	15 руб/кг	120,75
ИТОГО:			3900,35

Таблица 27 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №3

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	347,2 кг	4 руб/кг	1388,8
Песок	850 кг	0,3 руб/кг	255
Щебень	1150	0,6 руб/кг	690
Вода техническая	136 л	0,15 руб/л	20,4
С-3	3,5 кг	110 руб/кг	385
Аэросил	2,8 кг	200 руб/кг	560
МТК	8,05 кг	15 руб/кг	120,75
ИТОГО:			3419,95

Таблица 28 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №4

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	349,3 кг	4 руб/кг	1397,2
Песок	850 кг	0,3 руб/кг	255
Щебень	1150	0,6 руб/кг	690
Вода техническая	136 л	0,15 руб/л	20,4
С-3	3,5 кг	110 руб/кг	385
МТК	8,05 кг	15 руб/кг	120,75
ИТОГО:			3008,35

Таблица 29 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №5

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	308 кг	4 руб/кг	1232
Песок	850 кг	0,3 руб/кг	255

## Окончание таблицы 29

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Щебень	1150	0,6 руб/кг	690
Вода техническая	136 л	0,15 руб/л	20,4
С-3	3,5 кг	110 руб/кг	385
МТК	8,05 кг	15 руб/кг	120,75
ИТОГО:			2670,6

Таблица 30 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №6

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	850 кг	0,3 руб/кг	255
Щебень	1150	0,6 руб/кг	690
Вода техническая	136 л	0,15 руб/л	20,4
С-3	3,5 кг	110 руб/кг	385
МТК	8,05 кг	15 руб/кг	120,75
ИТОГО:			2871,15

Так же дополнительно представим состав с добавлением «Пенетрон Адмикс» в качестве сравнения.

Таблица 31 – Состав бетона, изготовленного с добавкой «Пенетрон Адмикс»

Цемент, кг	Песок, кг.	Щебень, кг.	Вода, кг.	С-3, кг.	МТК, кг	«Пенетрон Адмикс», кг
350	850	1150	136	3,5	8,05	3,5

Таблица 32 – Расчет затрат на состав с добавкой «Пенетрон Адмикс»

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	850 кг	0,3 руб/кг	255
Щебень	1150	0,6 руб/кг	690
Вода техническая	136 л	0,15 руб/л	20,4

Окончание таблицы 32

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
С-3	3,5 кг	110 руб/кг	385
МТК	8,05 кг	15 руб/кг	120,75
Пенетрон Адмикс	3,5	300 руб/кг	1050
ИТОГО:			3921,15

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Главный приоритет в области охраны труда сегодня – это сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. Соблюдение требований законодательства в области охраны труда является важной и неотъемлемой частью общей системы управления деятельностью предприятия залогом стабильности и улучшения экономического положения и благополучия всех сотрудников.

Цели предприятия в области охраны труда:

- обеспечение безопасности и здоровья сотрудников в процессе трудовой деятельности;
- гарантии прав работников на охрану труда;
- предупреждение травматизма, чрезвычайных, аварийных ситуаций, профессиональных заболеваний;
- неукоснительное исполнение требований охраны труда работодателем и работниками, ответственность за их нарушение.

Основные задачи предприятия в области охраны труда:

- создание условий, обеспечивающих соблюдение законодательства по охране труда, в том числе обеспечение безопасности эксплуатации зданий и сооружений, используемых в трудовом процессе оборудования, приборов и технических средств трудового процесса;
  - повышение эффективности производственного контроля соблюдения требований охраны труда и промышленной безопасности;
  - обеспечение доступности достоверной информации о состоянии условий и охраны труда;
  - повышение уровня ответственности и обеспечение вовлеченности каждого работника, независимо от его профессии или должности в соблюдение обязанностей в области охраны здоровья и безопасности труда;

- обучение и проверка знаний по охране труда, в том числе, создание и совершенствование непрерывной системы образования в области обеспечения охраны труда;
- обеспечение снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов, связанных с возможностью нанесения ущерба жизни и здоровью работников, за счет применения современных средств коллективной и индивидуальной защиты, создания оптимальных режимов труда и отдыха;
- обеспечение соблюдения требований Федерального, регионального законодательства, международных соглашений, требований отраслевых стандартов и норм, регламентирующих деятельность в области охраны труда и промышленной безопасности;
- разработка и реализация программ, направленных на предупреждение несчастных случаев и профессиональных заболеваний;
- реализация компенсационных мер, направленных на возмещение работникам ущерба, нанесенного воздействием неблагоприятных условий труда, осуществление реабилитации работников при несчастных случаях на производстве и в случае профессиональных заболеваний, реализация для работников специальных программ оздоровления и санаторно-курортного лечения.

Охрана труда является системой законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда. Право на безопасный труд закреплено в Конституции РФ. В области охраны труда на предприятиях и в учреждениях основными законодательными актами являются Трудовой кодекс РФ, Гражданский кодекс РФ, Федеральный закон от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации", а также акты собранные в системе стандартов безопасности труда (ССБТ). На рисунке 25 представлена структура документации по охране труда.



Рисунок 25 – Структура законодательной и нормативной документации по охране труда

Ответственность за организацию 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.

## 6.1 Нормативные значения факторов рабочей среды

### 6.1.1 Микроклимат рабочей зоны

На микроклимат рабочей зоны оказывают влияние следующие показатели:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Действующим нормативным документом, регламентирующим микроклимат производственной среды, является ГОСТ 12.1.005 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [8]. Сегодня заводы по производству сухих строительных смесей являются высоко автоматизированными и механизированными предприятиями и согласно ГОСТ 12.1.005 [8] работы на таком предприятии относятся к категории работ средней тяжести класса Па, интенсивность энергозатрат 151-200 ккал/ч (175-232 Вт).

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в производственном помещении указаны в таблице 33.

Таблица 33 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных помещениях

Пе-риод года	Кате-гория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движе-ния воздуха, м/с	
		опти-мальная	допу-стимая	опти-мальная	допу-стимая, не более	опти-мальная, не более	допу-стимая
хо-лод-ный	Сред-ней тяже-сти Па	18-20	15-23	40-60	75	0,2	Не бо-лее 0,3
теп-лый	Сред-ней тяже-сти Па	21-23	17-27	40-60	65 (при 26 °С)	0,3	0,2-0,4

Производство комплексного модификатора относится к производствам с условиями труда средней тяжести в связи, с чем системы отопления и вентиляции на данных предприятиях служат для создания необходимого микроклимата и контролируются нормативным документом СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [79].

#### 6.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны

При производстве комплексного модификатора в процессе дозирования, а также перемешивания возможно образование минеральной пыли.

Предотвращать запыленность воздуха на предприятии позволяет система

естественной вентиляции, соответствующая требованиям СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [79]. Кроме этого все оборудование, связанное с работой с сухими компонентами, должно быть герметично, должны использоваться системы пылеудаления и очистки, также должна производиться регулярная уборка пыли с использованием средств механизации.

Пыль является аэродисперсной системой, в которой частицы пыли, находясь в твердом состоянии, имеют размеры от десятых долей миллиметра до долей микрометра. В связи, с чем все рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания, а также очками. Кроме того, работники должны соблюдать меры личной гигиены такие, как ношение рабочей одежды, мытье рук перед приемом пищи, прием пищи в специально отведенных помещениях.

### 6.1.3 Освещение рабочей зоны

Нормирование производственного освещения ведется по СНиП 23-05-95\*(СП52.13330.20011) «Естественное и искусственное освещение» [80]. На предприятии по производству комплексной добавки предусмотрено, как и естественное, так и искусственное освещение, для обеспечения равномерного распределения яркости используется комбинированное освещение.

Естественное освещение помещений осуществляется через световые проемы в наружных стенах цеха, искусственное освещение обеспечивается при помощи нескольких блоков люминесцентных ламп.

Естественное и искусственное освещение на предприятии должно соответствовать нормам, указанным в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий» [81].



#### 6.1.4 Шум на рабочем месте

На производстве комплексной добавки основным источником шума является смеситель. Интенсивное шумовое воздействие вызывает в слуховом анализаторе изменения, составляющие специфическую реакцию организма. При длительном воздействии шума формируется повышение слуховых порогов, сначала медленно возвращающееся к исходному уровню (слуховое утомление), а затем сохраняющееся к началу очередного шумового воздействия (постоянное смещение порога слуха).

Шум является общебиологическим раздражителем и оказывает влияние не только на слуховой аппарат, но и на структуры головного мозга. Шум на рабочем месте вызывает вегетативные реакции организма, такие как нарушение периферического кровообращения, а также повышение артериального давления.

Некоторые неблагоприятные проявления воздействия шума на организм рабочего:

- снижение разборчивости речи;
- неприятные ощущения;
- развитие утомления и снижение производительности труда;
- появление шумовой патологии.

Гигиеническое нормирование шумов регламентируют ГОСТ12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [14], СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [15].

Для борьбы с шумом на предприятии необходимо использовать шумобезопасную технику, средств и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029 [15]., а также средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051 [16].

## 6.2 Безопасность производственных процессов и оборудования

Согласно статьи 212 главы 34 Трудового кодекса РФ обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя.

Работодатель обязан обеспечить:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;
- создание и функционирование системы управления охраной труда;
- применение прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке средств индивидуальной и коллективной защиты работников;
- соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте;
- режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права;
- приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств, прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением;
- обучение безопасным методам и приемам, выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда;

- недопущение к работе лиц, не прошедших в установленном порядке обучение и инструктаж по охране труда, стажировку и проверку знаний требований охраны труда;
- организацию контроля за состоянием условий труда на рабочих местах, а также за правильностью применения работниками средств индивидуальной и коллективной защиты;
- проведение специальной оценки условий труда в соответствии с законодательством о специальной оценке условий труда.

На предприятии должны быть выполнены следующие мероприятия, обеспечивающие безопасность производственных процессов:

- К работе допускаются только лица, прошедшие инструктаж по охране труда на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам работы и проверка знаний;
- Конструкции производственного оборудования должны исключать опасные составляющие. Работник перед началом работы обязан проверить состояние и исправность оборудования;
- Размеры рабочего места и размещение его элементов должны соответствовать нормативным требованиям;
- К работе допускается работник в установленных нормативными документами средствах индивидуальной защиты;
- На территории производственного цеха запрещено находиться посторонним людям без соответствующего разрешения, а также не прошедших инструктаж по технике безопасности [84].

Правила безопасной эксплуатации производственного оборудования должны соответствовать требованиям СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве» пункт 7.3 Требования безопасности при эксплуатации стационарных машин [85].

### 6.3 Электробезопасность

Электробезопасность в производственном цехе обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами индивидуальной и общей защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Безопасная эксплуатация электрических установок, работающих должна соответствовать ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1)» [10]. При производстве комплексной добавки используют конструктивные меры защиты – зануление, заземление, системы защитного отключения и другие. Согласно ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» [14] заземление можно производить к естественным и искусственным заземлителям.

При использовании напряжения свыше 36 В должно обеспечиваться ограждение проводов и токоведущих частей. Значения ПДУ напряжения прикосновения токов, протекающих через тело человека, при аварийном режиме электроустановок для постоянного и переменного тока должны соответствовать нормативным значениям указанным в ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [15].

### 6.4 Пожаробезопасность

Противопожарная защита достигается использованием средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники: огнетушителей, пожарного инвентаря. Все средства пожаротушения должны находиться в исправном состоянии в доступных местах. На производстве источниками пожара может быть электрическое оборудование и легковоспламеняющиеся материалы.

Общие требования к пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменениями №1)» [17].

Предприятие по производству сухих смесей относится к категории «Д» по пожароопасности и должно быть обязательно оснащено системой пожарной сигнализации, пожарными гидрантами, а также первичными средствами защиты от

пожара. Кроме того, все работники в обязательном порядке проходят вводный инструктаж по правилам пожарной безопасности перед допуском к работе.

## 6 ЭКОЛОГИЯ

Экологическая безопасность является неотъемлемой частью национальной безопасности государства и отдельных регионов. Решение экологических проблем страны выступает основой сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. УрФО в течение многих лет развивал свой промышленный комплекс, в его состав входят предприятия черной и цветной металлургии, крупные машиностроительные предприятия, горнодобывающие и горно-обогатительные комбинаты, а также предприятия теплоэнергетики.

Промышленные предприятия региона ориентированы на использование природного сырья для производства промышленной продукции. Многолетняя деятельность промышленных предприятий приводит к истощению природных ресурсов, к ухудшению экологической обстановки и деградации природных систем. Предприятия промышленного сектора не являются безотходными производствами, поэтому ежегодно в процессе производства промышленной продукции образуются миллионы тонн промышленных отходов.

УрФО является лидером среди других регионов по объему образующихся и накопленных отходов, на территории только Челябинской области уже накоплено более 5 млрд. т отходов. Для размещения техногенных отходов используются сотни гектаров лесных и сельскохозяйственных угодий. Производственная деятельность предприятий приводит к ежегодному образованию 50 тысяч гектаров нарушенных земель, в среднем в год рекультивации подвергается 3,5 тысячи гектаров, что не может обеспечить своевременное возвращение земель в сельскохозяйственный оборот [78]. Для улучшения экологической ситуации на территории области, УрФО и по всей стране в целом необходимо производить промышленную продукцию на основе безотходных технологий. Безотходная технология производства основана на принципе, что отход от производства первой продукции является сырьем для производства второй. В качестве безотходной технологии может выступить совместная работа промышленных

предприятий и заводов по производству товарного бетона, заводов ЖБИ и заводов крупнопанельного домостроения. Тонкодисперсные отходы промышленных предприятий являются ценным сырьем для отрасли производства товарного бетона, бетонных и железобетонных конструкций. Их введение в состав бетона оказывает положительное влияние на его структуру, свойства и долговечность.

В дипломной работе разрабатывался комплексный модификатор для товарных бетонов компонентами которого являлись активные минеральные добавки: зола-унос Рефтинской ГРЭС, а также микрокремнезем производства ОАО «НФ».

Рефтинская ГРЭС является филиалом ОАО «ОГК-5», а также одной из крупнейших тепловых электростанций России, которая производит 40 % от потребляемой электроэнергии Свердловской области. Топливом для ГРЭС является высокосольный каменный уголь Экибастузского бассейна. Зольность данного угля может достигать 40-43 %, то есть из одной тонны сожженного угля получается 430 кг золы и шлака. Для хранения отходов ГРЭС используются золоотвалы. Золоотвалы представляют собой сложные инженерно-технические сооружения, устраиваемые на естественных основаниях и ограниченные дамбами. В Свердловской области проблема утилизации отходов Рефтинской ГРЭС является очень актуальной. На сегодняшний день только 5-10 % золошлакового сырья ГРЭС утилизируются разными отраслями строительства и промышленности. Большая часть отходов остается в золоотвалах, а учитывая возрастание потребности в электроэнергии можно сделать вывод, что площадь золоотвалов только увеличится. Сегодня площадь действующего золоотвала Рефтинской ГРЭС составляет 950 га. Золоотвалы находятся на территории Сухоложского лесхоза, за все время работы ГРЭС удалось рекультивировать только 370 га отработанного золоотвала.

Также в составе комплексного модификатора использовался микрокремнезем производства ОАО «НФ». Новокузнецкий электрометаллургический комбинат – крупнейший производитель ферросплавов в России, способный полностью обеспечить потребности отечественной

металлургии. Процесс выплавки ферросилиция основан на восстановлении кремния из его диоксида в кварците углеродом кокса и угля и сплавлении его с железом стальной стружки. Выплавка ведется в руднотермических печах непрерывным процессом с закрытым колошником, постоянной завалкой шихты (кварцит, кокс, уголь, стружка, щепа) и периодическим выпуском металла и шлака в один футерованный ковш. Металл разливается на конвейерных машинах или в плоские изложницы. После остывания металл дробится, сортируется и отгружается потребителям.

Выплавка ферросиликохрома основана на том же принципе, но кремний сплавляется с хромом и железом передельного феррохрома, входящего в состав шихты вместо стальной стружки. Разлитый в плоские изложницы сплав без дробления отправляется цехам-потребителям. Ферросилиций и ферросиликохром выплавляются как в открытых печах с обеспыливанием отходящих газов в сухих рукавных фильтрах, так и в закрытых сводом печах, оборудованных системой мокрой газоочистки. Отходом производства ферросилиция является микрокремнезем составляющий 5-7 % от массы сплава. Микрокремнезем хранят в шлаковых отвалах. Площадь шлаковых отвалов ОАО «Новокузнецкие ферросплавы» составляет 31 га.

Механизм воздействия золошлакоотвалов на окружающую среду представлен на рисунке 26.

Отходы, скопившиеся в золошлаковых отвалах, загрязняют и истощают почву, аэрогенный вынос золошлакового материала загрязняет приземной слой атмосферы, оседание твёрдых частиц на прилегающей территории приводит к загрязнению почв и грунтов зоны аэрации. Инфильтрационным потоком происходит загрязнение подземных вод, разгрузка подземного потока вызывает загрязнение и изменение водного режима поверхностного стока.



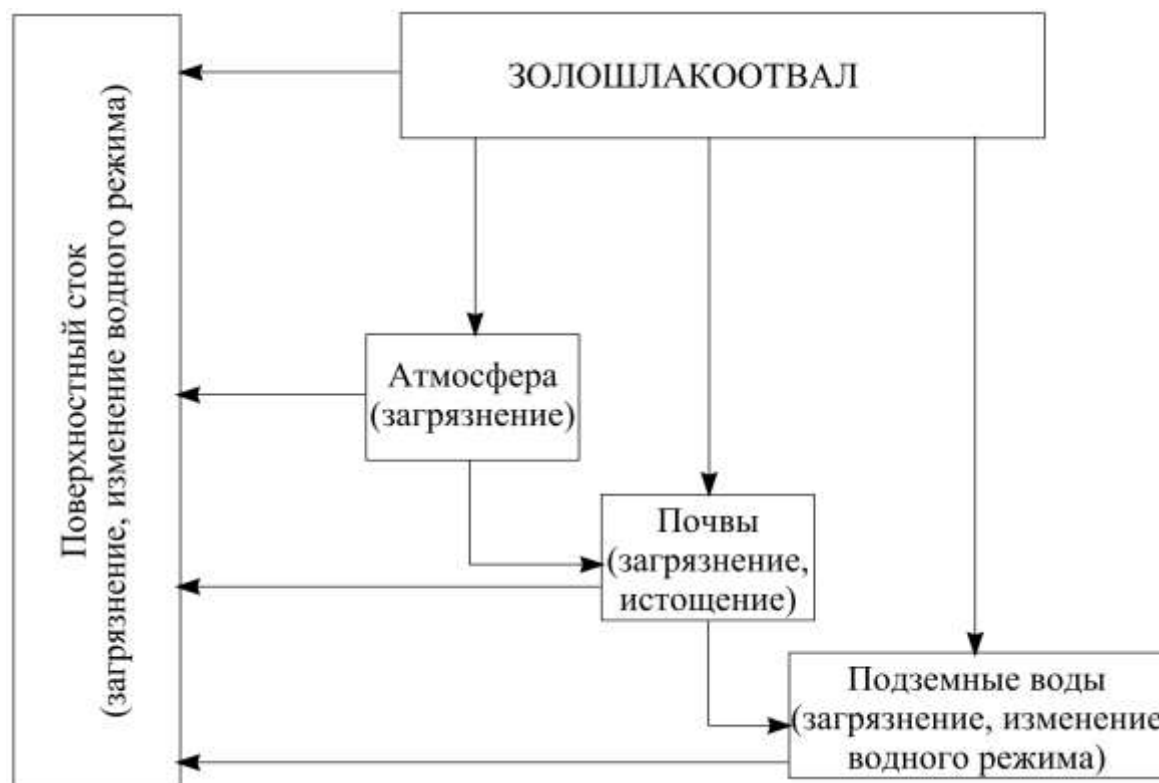


Рисунок 26 – Механизм воздействия золошлакоотвалов на окружающую среду

Сегодня только предприятия Рефтинская ГРЭС и предприятие «НФ» занимают 981 га сельскохозяйственных угодий. Разработанный комплексный модификатор рассчитан на применение в городе Перми, суммарная производительность БРУ которого достигает 300 м<sup>3</sup>/ч бетонной смеси.

Зная производительность БРУ, плановый фонд рабочего времени предприятия, а также расход компонентов модификатора на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси можно рассчитать экологический эффект применения комплексного модификатора для производства товарного бетона. Экологический эффект будет определяться по формуле:

$$Эф = \Sigma (П \cdot Т \cdot \max P) / (\rho_{амд} \cdot H), \quad (5)$$

где П – Суммарная производительность БРУ = 300 м<sup>3</sup>/ч,

Т – Плановый фонд рабочего времени предприятия = 4528 ч,

max P:

- Максимальный расход зола-унос = 19,11 кг/м<sup>3</sup>;
- Максимальный расход МКУ-85 = 35,44 кг/м<sup>3</sup>;
- Насыпная плотность зола-унос = 735 кг/ м<sup>3</sup>;

– Насыпная плотность МКУ-85=635 кг/ м<sup>3</sup>.

H–средняя высота золоотвала, 3 м.

$$\begin{aligned} \text{Эф} &= \Sigma (\text{П} \cdot \text{T} \cdot \text{maxP}) / (\rho \text{АМД} \cdot \text{H}) = (300 \cdot 4528 \cdot 19,11) / (735 \cdot 3) + \\ &+ (300 \cdot 4528 \cdot 35,44) / (635 \cdot 3) = 11,77 \text{ га} + 25,27 \text{ га} = 37,04 \text{ га в год.} \end{aligned}$$

В среднем в УрФО аренда 1 га земли для организации полигонов хранения отходов промышленности составляет 432 тыс. рублей.

Исходя из этого можно подсчитать, что экологический эффект в денежном выражении имеет вид:

$$\text{Эф}' = 37,04 \cdot 432 \text{ 000 руб.} = 16001280 \text{ руб.}$$

Кроме прочего положительными эффектами применения комплексного модификатора будут являться:

- Рекультивация нарушенных земель;
- Снижение воздействия отходов промышленности на прилегающие территории;
- Снижение атмосферных загрязнений;
- Снижение загрязнения почв;
- Снижение загрязнения подземных вод и поверхностных стоков.

Переработка отходов промышленности позволит не только создать комплекс предприятий, основанных на принципах безотходной технологии производства промышленной продукции, но и сэкономить существенные денежные средства предприятиям, размещающим отходы на территории сельскохозяйственных и лесных угодий. Освободившиеся денежные средства предприятия могут перенаправить на ускоренную рекультивацию нарушенных земель. Также утилизация многотоннажных техногенных отходов существенно улучшит экологическую обстановку в областях расположения промышленных предприятий. Кроме того, использование в производстве товарного бетона вторичного сырья позволит снизить расход дорогих природных материалов.

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе литературных данных были выявлены основные характеристики бетона и области его применения.
2. Установлено, что бетон обладают низкой водонепроницаемостью.
3. Выявлено, что увеличение количества добавки аэросила более 1,5 % приводит к заметному снижению прочностных характеристик бетонов.
4. Установлено, что применение аэросила приводит к значительному увеличению В/Ц, поэтому целесообразно использование пластификаторов.
5. Выявлено, что в рассматриваемом диапазоне дозировок СП, наибольшей прочностью будут обладать бетоны с дозировкой 1 % СП
6. Определено, что составы с микрокремнеземом способны обеспечить водонепроницаемость марок W16-W20.
7. Определено, что введение аэросила приводит к уплотнению структуры и понижению прочности.
8. Установлено, что при дозировках аэросила в 0,2 и 1,5 % по массе цемента, получаемые бетоны имеют одно значение по марке водонепроницаемости – W18.
9. Как показали рисунки дифференциально-термического анализа, аэросил не вступает во взаимодействие с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а лишь выполняет роль микрозаполнителя.
10. Разработаны составы бетонов обладающие повышенной, по сравнению с обычными, маркой по водонепроницаемости.
11. Выявлено, что себестоимость производства бетонов, самых эффективных из разработанных составов, сравнима с ценой обычных бетонов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 9 с.
2. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 36 с.
3. ГОСТ 10181-2012 Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 17 с.
4. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 97 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная опасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 23 с.
6. ГОСТ 12.1.030-81-2001. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
7. ГОСТ 12.1.038-81-2001 ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
8. ГОСТ 12.3002-75-90. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 57 с.
9. ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 4 с.
10. ГОСТ 17624-2010 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 24 с.
11. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 16 с.
12. ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 12 с.
13. ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 24 с.
14. ГОСТ 24211-2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 26 с.

15. ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 18 с.
16. ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 17 с.
17. ГОСТ 30459-96. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 14 с.
18. ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 62 с.
19. ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.
20. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 78 с.
21. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 26 с.
22. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 20 с.
23. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 17 с.
24. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 109 с.
25. ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 15 с.
27. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Минздрав России, 1997. – 24 с.

28. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. – М.: Госстрой России, 2001. – 28 с.
29. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.
30. СНиП 2.20.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. Госстрой СССР, Москва, 1986. – 66 с.
31. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции, основные положения – М: Минрегион России, 2012. – 148 с.
32. Decey, J. R. Colstowns Symposium. / J. R. Decey. – Bristol, 1958. – 235 p.
33. Flood, T. F. The solid-gas interface / T. F. Flood. – М.: Dekker, 1967. – 176 p.
34. Massazza, F., Chemistry of Pozzolanic Additions and Mixed Cements, Proc. / F. Massazza. – Sixth International Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, 1974. – 216 p.
35. Mehta, P. K. Pozzolanic and Cementitious Byproducts as Mineral Admixtures for Concrete – A Critical Review. / P.K. Mehta. – Proc. International Conference on the Use of Fly Ash, Slags and Silica Fume in Concrete. – Montebello, Canada ACI/SP-79, 1983. – 328 p.
36. Mehta, P. K., Studies of Blended Cements Containing Santorin Earth / P.K. Mehta. – Cement and Concrete Research, 1981, V.11, №4:– pp. 507–518.
37. Merlin, A. E. Growth of sheets in 3D confinements – a model for the C–S–H mesostructure / A.E. Merlin, J.McDonald Peter, F. Routh. Alexander. – Cement and Concrete Research. 2014, V. 63. – pp. 137–142.
38. Papatzani, SA comprehensive review of the models on the nanostructure of calcium silicate hydrates. / S. Papatzani, K. Paine, J. Calabria-Holley A Construction and BuildingMaterials. 2015. V. 74. – pp. 219–234.
39. Pengkun, Hou Effects of the pozzolanic reactivity of nano SiO<sub>2</sub> on cement-based materials / Hou Pengkun, Qian Jueshi, Cheng Xin, P. Shah. Surendra Cement & Concrete Composites. 2015. V. 55. – pp. 250–258.

40. Quercia, G. Characterization of morphology and texture of several amorphous nano-silica particles used in concrete. / G. Quercia, A. Lazaro, J.W. Geus, H.J.H. Brouwers. // Cement and Concrete Composites. 2013. V. 44. – pp. 77–92.
41. Sercale, R., Structure and Characteristics of Pozzolans and Fly Ashes/ R.Sercalle. – Proc. Seventh International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980. – 275 p.
42. Singh, L.P. Studies on early stage hydration of tricalcium silicate incorporating silica nanoparticles / L.P. Singh, S.K. Bhattacharyya, S.P. Shah, G. Mishra, S. Ahalawat. – Construction and Building Materials. 2015, V. 74. –pp. 278–286.
43. Singh L.P., Karade S.R., Bhattacharyya S.K., Yousuf M.M., Ahalawat S. Beneficial role of nanosilica in cement based materials / L.P. Singh, S.R. Karade, S.K. Bhattacharyya, M.M. Yousuf, S. Ahalawat // Construction and Building Materials. 2015, V. 47. – pp. 1069–1077.
44. Артамонов, В. С. Защита от коррозии транспортных сооружений / В.С. Артамонов, Г. М. Молгина. – М.: Транспорт, 1976. – 269 с.
45. Бабков, В.В. Структурообразование и разрушение цементных бетонов/ В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. – ГУП Уфимский полиграфкомбинат, 2002. – 170 с.
46. Баженов, Ю.М. Бетонополимеры / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
47. Баженов, Ю.М. Технология бетонов XXI века / Ю.М. Баженов. – Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докладов академических чтений РААСН. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 507 с.
48. Балалаев, Г. А., Медведев В. М., Мощанский Н. А. Защита строительных конструкций от коррозии / Г. А. Балалаев, В. М. Медведев, Н. А. Мощанский. – М.: Стройиздат, 1966. – 411 с.
49. Баррер, Р. М. Диффузия в твердых телах / Р. М. Баррер. – М., 1958 – 390 с.

50. Батраков, В.Г. Применение суперпластификаторов в бетоне. /В.Г. Батраков, Ф.М. Иванов, Е.С. Силина и др. – Обзорная информация ВНИИИС. –1982. – Вып.2. – №7. – 59 с.

51. Вавржин, Ф. Химические добавки в строительстве / Ф. Вавржин, Р. Крчма. – М.: Стройиздат. – 1964. – 259 с.

52. Волгушев, А.Н. Патуроев В.В. Применение серы для пропитки поровой структуры строительных материалов// Бетон и железобетон. – 1976. –№11. – С. 38-39.

53. Гамалий, Е.А. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбосилатного пластификатора / Е.А. Гамалий, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2009. – Вып.10. – № 5. – С. 29– 35.

54. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: структура и свойства: Справочное пособие / В.С.Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. – М.: Стройиздат, 1994. – 584 с.

55. Гуревич, Э. А. Химическая стойкость строительных материалов. Учебное пособие / Э. А. Гуревич. – Саратов: СПИ, 1980. – 52 с.

56. Джабаров, В.М. Разработка технологии и изучение свойств бетонополимеров для применения в условиях сухого и жаркого климата: автореферат дис. д-ра техн. наук – М., 1979. – 21 с.

57. Елохина, С.Н. Геоэкологические последствия эксплуатации золоотвалов в открытых гидрогеологических структурах (на примере золоотвалов Рефтинской ГРЭС) / С.Н. Елохина, Л.Д. Футорянский // Экологические проблемы промышленных регионов. – Екатеринбург, 2004. – С. 65-66.

58. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1970. –390 с.

59. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона: монография /В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.



60. Каприелов, С.С. Влияние состава органоминеральных модификаторов бетона серии «МБ» на их эффективность. /С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон, – 2001. – №5. – 11-15 с.
61. Лейбнзон, Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.: ОГИЗ Гос. изд. тех.-теор. литературы, 1937. – 242 с.
62. Манзий, В.В. Разработка технологии и изучение свойств бетонных изделий, пропитанных расплавом серы: автореферат дис. ... д-ра техн. наук – М.: Изд-во МГСУ, 1982. – 22 с.
63. Марчукайтис, Г.В. К вопросу расчета объемного напряженного состояния бетонополимера во время полимеризации// Железобетонные конструкции. – Вильнюс: Т. Вильнюсского ИС, 1979. – Вып.9. – №4. – С 69-75.
64. Москвин, В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
65. Невилль, А. М. Свойства бетона / А. М. Невилль, пер. с англ. В. Д. Парфенова, Т. Ю. Якуб. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 344 с.
66. Никонов, М.Р., Патуроев В.В. Бетонополимеры и характерные особенности их структуры// Бетон и железобетон. 1974. – Вып. 4. – №8. –С. 21–24.
67. Орловский, Ю.И. Свойства пропитанных серой бетонов/ Ю.И. Орловский // Бетон и железобетон. – 1979. – Вып.9. – №2. – С. 9–10.
68. Патуроев, В.В. Разработка режимов технологии пропитки железобетона в расплаве серы / В.В. Патуроев, Волгушев А.Н. // Строительство и архитектура Узбекистана. –1978. – №11. – С. 42-44.
69. Патуроев В.В. Основные виды полимербетонов и перспективы их развития/ В.В. Патуроев // Бетон и железобетон. – 1984. – №8. – С. 4–5.
70. Патуроев, В.В. Технология пропитки бетонных изделий расплавом серы/ В.В. Патуроев, Ю.И. Орловский, В.П. Манзий //Бетон и железобетон. –1983. – №7 – С. 28-29.

71. Патуроев, В.В. Серых Р.Л. Влияние армирования на напряженно-деформированное состояние бетонополимера/ В.В. Патуроев, Р.Л. Серых. // Бетон и железобетон. – 1980. – №5 – С. 25-26.
72. Патуроев, В.В. Полимербетоны/ В.В. Патуроев. – М.: Стройиздат, 1987. – 286 с.
73. Политаева, А.И. Роль микрокремнезема в структурообразовании цементной матрицы и формировании высолов в вибропрессованных изделиях/ А.И. Политаева, Г.И. Яковлев, Г. Иржи // Строительные материалы. – 2015. – №2. – С. 49–55.
74. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: Справочное пособие/ В.С. Рамачандран. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
75. Шейкин, А.Е. Строительные материалы. / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, –1984. – 281 с.
76. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.
77. Яковлев, Г.И. Наноструктурирование композитов в строительном материаловедении / Г.И. Яковлев. – Ижевск: ИЖГТУ, 2014 –196 с.
78. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. – М.: Стройиздат, 1989. – 39 с.
79. Водонепроницаемость бетона – <http://tehno-beton.ru/beton/vidy/vodonepronicaemost.html/>.
80. Аэросил. Пирогенный диоксид кремния. – <http://www.silica.su/ru/perechen-produkczii/834-aerosil.html/>.
81. МКУ-85. – <http://glavchem.com/mikrokremnezyom-mk---85.html/>.
82. Прочность бетона. – [http://www.baurum.ru/\\_library/?cat=concreteproperties&id=250/](http://www.baurum.ru/_library/?cat=concreteproperties&id=250/).
83. Минеральные добавки. – [http://www.baurum.ru/\\_library/?cat=mineraladditives&id=311/](http://www.baurum.ru/_library/?cat=mineraladditives&id=311/).
84. Новый подход к природе прочности бетона. – <http://vasilij-nikishkin.narod.ru/>.

85. Прочность бетона. Теории прочности и механизм разрушения. – <http://m350.ru/articles/more/v/id/98/>.