

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленное, гражданское строительство и городское хозяйство»

(наименование кафедры)

08.04.01 «Строительство»

(код и наименование направления подготовки)

Технология строительного производства

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Исследование и оптимизация состава мелкозернистого бетона

Студент

М.Н. Путилова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.Н. Шишканова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы

д.э.н., к.т.н., профессор

А.А. Руденко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 2019 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Д.С. Тошин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 2019 г.

Тольятти 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Теоретические аспекты в технологии повышения прочности мелкозернистого бетона	6
1.1 Характеристика, структура и свойства мелкозернистого бетона	6
1.2 Сферы применения мелкозернистого бетона.....	15
1.3 Технология производства мелкозернистого бетона	17
1.4 Влияние добавок и модификаторов на свойства мелкозернистого бетона...	23
2 Характеристики применяемых материалов и методы экспериментальных исследований	32
2.1 Свойства и характеристики применяемых материалов	32
2.1.1 Песок.....	32
2.1.2 Цемент	37
2.1.3 Наполнитель цемента	39
2.1.4 Пластификаторы.....	42
2.2 Методы экспериментальных исследований	45
3 Исследование физико-механических свойств мелкозернистого бетона.....	50
3.1 Моделирование состава бетонной смеси.....	50
3.2 Исследование влияния качества заполнителя, вида цемента и водоцементного отношения на прочность мелкозернистого бетона.....	52
3.3 Исследование влияния добавок и модификаторов на свойства мелкозернистого бетона	63
3.4 Разработка состава мелкозернистого бетона	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	74

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. При возведении современных зданий и сооружений необходимо использовать материалы с высокими эксплуатационными свойствами. Основным материалом на данный момент преимущественно является бетон. Бетон используется повсеместно и возможности его применения не исчерпаны. Этот материал используется уже многие века, совершенствуется и развивается.

На данный момент специалисты различных стран занимаются разработкой высокопрочного бетона особо плотной структуры – мелкозернистого бетона, обладающего высокими показателями прочности. За счет применения мелких заполнителей повышается гомогенность бетона. Достигаются высокие показатели прочности повышением однородности и плотности материала, благодаря сокращению промежуточной зоны между цементным камнем (матрицей) и заполнителем, минимизируется количество пустот и уменьшается водоцементное отношение. Так же для совершенствования качества мелкозернистого бетона необходимо применение добавок для обеспечения подвижности и понижения количества воды.

Заменяя крупный заполнитель песком, уменьшаются размеры микротрещин в бетоне, позволяя тем самым увеличить прочность бетона на сжатие и растяжение. Аналогично стало возможным применение дробленых песков высокопрочных горных пород.

Цель исследования – оптимизация состава мелкозернистого бетона с использованием высококачественных заполнителей, минеральных добавок и суперпластификаторов.

Предметом исследования магистерской работы являются способы повышения прочностных характеристик мелкозернистого бетона.

Объект исследования данной работы – мелкозернистый бетон и технология повышения его прочности.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- 1.Обобщить теоретические аспекты в технологии повышения прочности мелкозернистого бетона;
2. Проанализировать влияние добавок и модификаторов на свойства мелкозернистого бетона;
3. Обобщить характеристики применяемых материалов и методы экспериментальных исследований;
4. Исследовать физико-механические свойства мелкозернистого бетона;
5. Исследовать влияние суперпластификаторов и минеральных добавок на свойства мелкозернистого бетона;
6. Оптимизировать состав мелкозернистого бетона с использованием минеральной добавки и современных суперпластификаторов.

Методы исследования - исследования качества мелкого природного песка Волжского месторождения, крупного природного песка Камского месторождения и дробленого песка из гранитного щебня Челябинской области проведены в соответствии с ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний», ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия».

Подбор состава и исследование свойств бетонной смеси осуществлялось в соответствии с ГОСТ 27006-86. «Бетоны. Правила подбора состава» и ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия» и ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

Исследование свойств мелкозернистого бетона проводилось в соответствии с ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия», ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования», ГОСТ 12730.0-78. «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости», ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности».

Научная новизна работы, заключается в следующем:

1. Представлен сравнительный анализ влияния суперпластификаторов и минеральных добавок на свойства мелкозернистого бетона;
2. Получен оптимальный состав мелкозернистого бетона с использованием минеральной добавки и современных суперпластификаторов.

Практическая значимость заключается в разработке и применении строительными организациями мелкозернистого бетона на основе мелкого заполнителя и современных суперпластификаторов и микрозаполнителей

Апробация результатов исследования.

По теме диссертационного исследования опубликовано 2 статьи:

Шишканова, В.Н., Путилова, М.Н. Особенности структуры мелкозернистого бетона и его преимущества / В.Н. Шишканова, М.Н. Путилова // Научно-методический журнал «Наука и образование: новое время», №3, 2018г.

Шишканова, В.Н., Путилова, М.Н. Влияние вида заполнителя на прочность мелкозернистого бетона / В.Н. Шишканова, М.Н. Путилова // Научно-методический журнал «Наука и образование: новое время», №2, 2019г.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 49 источников. Общий объем составляет 77 страниц.

1 Теоретические аспекты в технологии повышения прочности мелкозернистого бетона

1.1 Характеристика, структура и свойства мелкозернистого бетона

В соответствии с ГОСТ 26633-2015 бетон мелкозернистый - это бетон плотной структуры средней плотностью более 2000 до 2500 кг/м³ включительно на цементном вяжущем и плотном мелком заполнителе [15]. В качестве заполнителя в мелкозернистых бетонах используются природные пески, пески из отсевов дробления горных пород с истинной плотностью от 2000 до 2800 кг/м³, обогащенные пески из отсевов дробления и фракционированные пески из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня, соответствующие требованиям стандартов [21]. Таким образом, мелкозернистый бетон представляет собой смесь, определенного соотношении цемента, песка и воды, введенных в заданной последовательности при определенной температуре и влажности.

Свойства и характеристики мелкозернистого бетона:

- повышенная прочность при изгибе и растяжении (на 20-30% больше, чем у обычного бетона);
- однородность структуры, достигаемая путем использования мелкого заполнителя [40];
- высокая морозоустойчивость, превышающая в 2 раза показатели по морозостойкости крупнозернистого бетона;
- высокая пористость мелкозернистого бетона (при использовании песка с минимальным размером фракций наблюдается большое количество воздушных пор);
- повышенная устойчивость к вибрации;
- высокий коэффициент водонепроницаемости при правильно подобранном соотношении компонентов.

Одним из путей совершенствования строительного производства является разработка и внедрение новых эффективных материалов, способов

повышения эксплуатационных свойств бетонов. Особую популярность из новых эффективных материалов заслужил мелкозернистый бетон. Главное отличие мелкозернистого бетона от других видов бетонов – это его состав.

Мелкозернистые бетоны обладают определенными особенностями структуры:

- «отсутствие жесткого скелета крупного заполнителя;
- присутствие большого количества заполнителя, что в свою очередь может вызвать нехватку цементного теста для обволакивания зерен наполнителя и полного заполнения пустот» [9];
- увеличенное массосодержание твердой цементной смеси в составе бетона;
- повышенная пористость смеси.

Исходя из вышеперечисленных особенностей при одинаковой подвижности бетонных смесей, выходит, что у мелкозернистого бетона по сравнению с тяжелым бетоном с крупным заполнителем прочность на сжатие будет ниже. Использование только песка в роли заполнителя приведет к увеличению пустотности и удельной поверхности заполнителя. Для изготовления равноподвижных бетонных смесей слитной структуры [22] по сравнению с бетоном на крупном заполнителе требуется приблизительно на 20% увеличивать расход воды и цемента. Далее это приводит к увеличению усадки бетона. Кроме того, при замене щебня песком, с условием поддержания исходной прочности, приводит к повышению расхода цемента в бетонных смесях на 20%.

Аналогично происходит сокращение и другие физико-механические свойства мелкозернистых бетонов по сравнению со свойствами обычных тяжелых бетонов, например, морозостойкость, водонепроницаемость, усадка, деформативность при кратковременной нагрузке и ряд других свойств» [6].
Баженов Ю.М. Технология бетона.

Для того чтобы получить мелкозернистый бетон с высокими физико-механическими свойствами с минимальным расходом цемента, применяют различные технологические приемы. При изготовлении бетона с каждым

годом все больше используются суперпластификаторы, композиционные вяжущие [29] и другие эффективные добавки свойств и состава смеси, тонкодисперсные минеральные наполнители, современное продуктивное оборудование [23].

Стоимость сырья, развитие строительных решений, повышение производительности при возведении объектов, благодаря применению бетонов нового поколения на данный момент являются важнейшими критериями в современной экономике строительства. В настоящее время применяется переход к многокомпонентным составам с широким использованием различных модификаторов для уменьшения расхода цемента и воды. Так же данные меры позволят снизить усадку материала, получив в ряде случаев безусадочные мелкозернистые бетоны [42].

Среди достоинств, которые выделяют мелкозернистый бетон среди прочих видов искусственного камня, можно назвать следующие:

- мелкозернистая бетонная смесь может транспортироваться на большие расстояния в бетономешалках (при этом она не расслаивается);
- высокий показатель пластичности и текучести позволяет создавать изделия всевозможных форм (тонкостенные и слоистые, изделия переменной плотности и т. д.);
- за счет получаемой мелкозернистой структуры и однородности смеси, она отлично подходит для механизированного нанесения на рабочую поверхность;
- потенциал изготовления конструкций и изделий путем экструзии, штампования, литья, прессования и другими обусловлено его высокая технологичность,
- получение материалов с различным комплексом свойств;
- создание высококачественной однородной тонкодисперсной структуры, исключив крупные зерна иного строения;
- используя технологические приемы, за счет варьирования состава и комплексом добавок на определенном цементе и песке возможно получение

специальных видов мелкозернистого бетона, применяемого в различных областях строительства (фибробетона, декоративного, гидроизоляционного, конструкционного, теплоизоляционного, для изготовления тротуарной плитки и дорожных бордюров);

– достаточно простая технология изготовления и возможность широкого применения недорогостоящих материалов – снижает себестоимость мелкозернистого бетона в сравнении с тяжелым бетоном на крупном заполнителе.

При подборе составов мелкозернистого бетона необходимо обращать внимание на зависимость свойств структуры от вида применяемых компонентов, используемых при приготовлении бетонной смеси. Большое влияние на прочность мелкозернистого бетона (как и бетона на крупном заполнителе) влияет активность цемента и водоцементное отношение. А так же соотношение цемента и песка (учитывая качество мелкого заполнителя) сказывается на прочности мелкозернистого бетона. Особенно сильно данные показатели проявляются при попытке достижения максимальной прочности. В зависимости от состава мелкозернистого бетона максимальная прочность может колебаться в широких пределах, к примеру при применении цемента марки 500 и песка средней крупности ($M_{кр}=2,0$). По мнению Баженова Ю.М., для достижения наибольшей прочности мелкозернистого бетона «необходимо использовать крупные чистые пески непрерывного зернового состава с малой удельной поверхностью и пустотностью» [3]. Для отсева средних и мелких фракций применяют обогащение песка и его классификацию. Введение микронаполнителя в тощие цементно-песчаные смеси, по мнению Баженова Ю.М., является наиболее целесообразным [32].

При недостаточном количестве мелкой фракции (0 и 25%) наблюдается перерасход цемента порядка 8-10% для марки 300, и до 15% для бетона марок 400 и 500. При избытке крупной фракции (75%) перерасход цемента достигает 20% на кубометр бетона. Это находит свое объяснение в неблагоприятном зерновом составе как мелких, так и закругленных песков.

Как следует из результатов экспериментов, крупная фракция из природных песков не имеет особых преимуществ перед крупной фракцией из дробленых песков. Опыты показывают преимущества дробленых песков перед кварцевыми природными. Так, например, прочность песчаного бетона на дробленых песках из интрузивных пород выше прочности песчаного бетона на природном кварцевом песке на 25-30%.

«Основным средством улучшения свойств мелкозернистых бетонов Вознесенский В.А. считает регулирование зернового состава песка, применение песков с прерывистой гранулометрией. Мелкозернистые бетоны в этом случае за счёт жесткости песчаного скелета и плотности упаковки зёрен имеют прочность на сжатие на 20-30% выше, чем на рядовых песках» [30].

Достигается однородность структуры мелкозернистого бетона благодаря использованию песка небольшой фракции (не более 5 мм). Песок значительно влияет на свойства. Также «укладка и условия твердения, вид, активность и расход цемента, количество воды, качество и гранулометрический состав, технология приготовления оказывают огромное влияние на свойства бетона» [12].

Пески отличаются по двум основным показателям: зерновому составу и форме зерен. Именно эти два показателя определяют влияние песка на свойства бетонной смеси и расход цемента в бетоне. Расход цемента увеличивается прямо пропорционально удельной поверхности и пустотности песка. Расходы цемента на природном кварцевом песке несколько меньше по сравнению с дробленным песком. Это находит свое объяснение в меньшей пустотности и удельной поверхности природного песка.

Контакты между зернами заполнителя и цементным камнем в основном ровные, четко выраженные. Только в тех случаях, когда зерно плагиоклаза сильно серицитизировано, наблюдается расплывчатый контакт за счет наложения зерен кальцита и $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Расплывчатые контакты наблюдаются иногда и на границе с зернами кварца. Для сложных структур

(граниты, порфириты, песчаники и др.) величина сил сцепления будет зависеть от количества отдельных минералов на поверхности заполнителя и от их физико-химической активности [10].

В результате физико-химических процессов в период схватывания и твердения цементного теста, сцепление его в сечении контакта с шероховатой поверхностью заполнителя развивается более интенсивно, чем у заполнителя с гладкой поверхностью. В самом деле, частицы вяжущего, как в растворенном, так и во взвешенном состоянии, попадая в сферу влияния молекулярного притяжения поверхностных кристаллов адсорбируются ими. На поверхности заполнителя образуется адсорбированный слой, состоящий не только из молекул воды, но и из частиц вяжущего. При этом на выступах рельефа поверхности заполнителя имеются более активные молекулы, которые обеспечивают лучшую адгезию к жидкой, а затем и твердой фазе. Сказанное относится к статической картине. При сжатии (растяжении) бетона, возникающие касательные и нормальные напряжения, приводят в движение систему «заполнитель - цементный камень». В результате зерна заполнителя стремятся выйти из соприкосновения с цементным камнем.

В этот момент существенную роль оказывает «зацепление» двух трущихся поверхностей: цементного камня и заполнителя. Исходя из общих представлений теории трения, можно предположить, что величина трения будет выше у материалов с более грубой зернистостью. Однако это совсем не так. Разница заключается в том, что для весьма грубозернистых материалов, по-видимому, происходит быстрое разрушение «зубцов» и контактной зоны. По этой причине грубозернистые материалы будут уступать материалам мелко- и среднезернистым с развитой поверхностью.

Сказанное не относится к явно микрозернистым материалам, т.к. в этом случае сцепление между заполнителем и цементным камнем может оказаться слабее, что и подтверждается экспериментами.

Зависимость прочности бетона от его состава прямолинейна: чем меньше расход цемента, тем меньше прочность бетона, так как при низком

содержании цемента смесь становится менее удобоукладываемой, труднее уплотняется, плотность, а соответственно и прочность уменьшаются.

Для снижения расхода цемента применяются химические добавки [24], увеличение плотности песчаных бетонных смесей и пески с хорошим зерновым составом. В цементно-песчаных смесях с высоким расходом цемента полезно применять суперпластификаторы. Максимальное значение прочности и плотности бетонной смеси достигается оптимальным соотношением цемента и песка (при водоцементном отношении В/Ц = 0,4 и выше).

При малом содержании цемента в смеси – удобоукладываемость снижается, затрудняется ее укладка, а так же это приводит к понижению прочности и плотности бетона. Чем больше содержится цемента в смеси, тем выше количество избыточной воды в бетоне, соответственно происходит увеличение пористости и понижение его прочности.

Оптимальное водоцементное отношение определяется составом бетона, при котором достигается наивысшая прочность. Обычные бетоны на крупном заполнителе чаще превосходят по прочности песчаные бетоны [35], при высоком водоцементном отношении. Снижение прочности напрямую зависит от применяемых материалов и технологии уплотнения бетонной смеси. Но есть песчаные бетоны с большим содержанием цемента (с низким водоцементным отношением, обеспеченные хорошим уплотнением), применяющиеся для специальных конструкций, с соответствующим технико-экономическим обоснованием, которые выше по прочности, чем обычные бетоны на крупном заполнителе [25].

Так же прочность бетона зависит от метода уплотнения смеси. Хорошее уплотнение бетонной смеси достигается трамбованием, прессованием, виброваним с пригрузом или вакуумированием. Так, например, при уплотнении смеси обычным виброваним в смесь вовлекается воздух (воздухововлечение увеличивается с повышением жесткости смеси), распространяясь по всему объему мельчайшими

пузырьками, создается пористость, которая в конечном итоге снижает прочность бетона. Поэтому стоит учитывать метод уплотнения, сводящий к минимуму воздухововлечение, при необходимости получения плотных прочных песчаных бетонов [4].

Зависимость долговечности бетона определяется морозостойкостью и коррозионной устойчивостью, зависящие от плотности и прочности бетона [33]. Мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций должен отвечать требованиям по морозостойкости и водонепроницаемости. Эти качества напрямую зависят от плотности бетона.

Смесь песка и щебня имеет меньшую пустотность, чем песок. В смесях (более тощих, чем 1:3), при низком содержании цемента, цементного теста может быть не достаточно для обмазки зерен песка и заполнения всех пустот. В результате чего возникает дополнительное образование пустот, из-за увеличения пористости бетона происходит снижение его прочности. В связи с этим, сложно получить достаточно прочные песчаные бетоны при низком расходе цемента ($200-300\text{кг/м}^3$), как для бетона с крупным заполнителем [5].

При применении мелкого песка в песчаном бетоне, с повышенными удельной поверхностью и пустотностью, требуется увеличение расхода воды для сохранения заданной подвижности бетонной смеси, что заметно снижает максимальную прочность для определенного состава бетона. Таким образом, снижение прочности бетона происходит при уменьшении содержания цемента, зависит состав бетонной смеси и от качества песка.

Эффективность использования цемента в бетоне определяется составом мелкозернистого бетона и качеством песка. Кроме того, если щебень заменить на песок, снижаются строительные-технические свойства, такие как: усадка, ползучесть, деформативность при кратковременной нагрузке, морозостойкость и пр. Для предотвращения снижения данных свойств, «применяют различные методы: домол цемента, классификация заполнителя, интенсификация перемешивания, вакуумирование бетонной

смеси, введение различных микронаполнителей, применение силовых методов уплотнения и т.д.» [14].

С помощью модификации исходного сырья и наполнителей при изготовлении мелкозернистого бетона можно добиться снижения расхода цемента и получения однородной структуры материала. Ярким примером технологии, позволяющей сократить расход цемента при изготовлении мелкозернистого бетона является Домол цемента с микронаполнителем или без него. При изготовлении высокопрочного плотного бетона, структура цементного камня должна обладать тонкокапиллярностью и состоять из мелкокристаллических сростков. Цементное тесто, полученное при смешивании молотого кварцевого песка (микронаполнителя) и тонкоизмельченного цемента - обладает высокой вязкостью и отлично подходит для достижения данного результата. Тонкозернистость материала – это не только отказ от крупного заполнителя. Это, в первую очередь, тонкозернистость структуры бетона. Чем меньше зерна новообразований и размеры пор между ними (при том же водоцементном отношении) – выше прочность бетона. Получению высококачественной тонкозернистой структуры бетона способствует повышение тонкости помола цемента.

Активность вяжущего снижается во время хранения и доставки цемента. Перед производством бетонной смеси, чтобы повысить активность цемента, применяют домол цемента до поверхности $4000-5000 \text{ см}^2/\text{г}$, что позволяет примерно на 15-30% повысить прочность мелкозернистого бетона. Однако данный «прием» применим для высоких марок бетона с расходом цемента 500 кг/м³ и более, Для низкомарочных бетонов целесообразен помол цемента с песком или с другим кремнеземистым компонентом [6].

Использовать вяжущие свойства цемента полностью не представляется возможным из-за таких низких показателей на прочность мелкозернистых бетонов и подвижность цементно-песчаных смесей. Опытным путем было доказано, использование крупного чистого песка непрерывного зернового состава с малой удельной поверхностью и пустотностью позволяет

достигнуть наилучших результатов, а добавление молотого кварцевого песка наиболее целесообразно в тощие цементно-песчаные смеси. Для возможности отсева средних и мелких фракций применяется классификация и обогащение песка.

Для улучшения свойств мелкозернистых бетонов отлично подходят пески с прерывистой гранулометрией, которые позволяют следить за зерновым составом. Такие бетоны, благодаря плотности укладки зерен, получают прочность на сжатие на 20-30% больше, чем при применении обычного песка.

1.2 Сферы применения мелкозернистого бетона

Мелкозернистый бетон обладает такими качествами как: повышенная прочность на изгиб, водонепроницаемость и морозостойкость. Поэтому мелкозернистый бетон используют для дорожных покрытий [28] в районах где нет щебня необходимого качества, для труб и гидротехнических конструкций. Используется при изготовлении тротуарной плитки и бортовых камней.

Мелкозернистые бетоны относятся к категории тяжелых бетонов, но традиционные тяжелые бетоны имеют одно основное отличие от мелкозернистых бетонов, а именно размеры фракций, который у последних не должен превышать 5 мм.

Мелкозернистый бетон состоит из песка, цемента, воды и пластификаторов. Все эти компоненты при приготовлении смеси регулируются согласно с действующими нормативными документами, так, например, размеры фракции песка ограничены пятью миллиметрами.

Преимущества и достоинства мелкозернистых бетонов:

- Возможность получения самой большой плотности материала, благодаря устойчивой однородности состава следовательно, максимальной прочности конструкции или изделия;

- Способность бетонной смеси легко и в полном объеме заполнять форму и высокая подвижность достигается отсутствием в материале крупных фракций, что оказывает существенную помощь при заливке труднодоступных мест;
- Не нужно применять специальные вибрационные установки;
- Потенциал получения различных по характеристикам растворов за счет изменения пропорций и уменьшения себестоимости приготовления смесей.

Увеличение объемов цемента в смеси можно считать основным недостатком.

Основные сферы применения мелкозернистого бетона:

- Производство армированных конструкций. Частота расположения арматуры не дает возможности проникать классическому раствору, тогда как мелкозернистые бетоны проникают в места образовавшихся пустот при заливке смеси;
- Ремонтные работы в области трещин и соединительных швов;
- Гидроизоляционные работы;
- Строительство дорожных покрытий;
- Производство тротуарной плитки и дорожных бордюров.

В некоторых районах Российской Федерации мелкозернистый бетон пользуется особой популярностью в тех местах, где нет крупных месторождений основных заполнителей тяжелого бетона, а именно гранитного камня и гравия.

Это объясняется тем, что расходы на транспортировку гранита и гравия из других районов Российской Федерации оказываются в разы выше, чем увеличение себестоимости мелкозернистого бетона из-за увеличения количества цемента.

При применении металлической арматуры или металлической сетки в мелкозернистом бетоне, представляется возможным использовать его при строительстве тонкостенных конструкций. К примеру, можно использовать в таких конструкциях как: купола, своды и оболочки. Несмотря на несколько

малую толщину стенки, данные сооружения будут иметь высокую несущую способность, обладая легкостью и относительно невысокой стоимостью.

Так же мелкозернистый бетон применяется для зданий с большими пролетами, предназначенных для хранения сыпучих материалов или жидкостей, различные системы водоочистки, трубы и другие гидротехнические сооружения.

Применяют мелкозернистый бетон и для строительства арочных конструкций, которые повсеместно применяются в выставочных комплексах.

Мелкозернистый раствор благодаря своей структуре и подвижности, применяется для ремонта трещин и при заполнении соединительных швов. Так же применяют в качестве стяжки, до начала гидроизоляционных работ.

Применение мелкозернистого бетона так же связано с дефицитом или отсутствием заполнителей крупных фракций (таких как щебень, гравий и др.) в районах строительства, таким образом появляется возможность избежать больших финансовых затрат на их транспортировку.

1.3 Технология производства мелкозернистого бетона

Состав песчаного бетона строго регламентируется действующим Государственным Стандартом. Проверяется на соответствие каждый компонент бетонной смеси, так как абсолютно каждый бетон имеет различные составляющие со всевозможными техническими параметрами. Так, например, регулируется фракционная составляющая песка, и при проведении сравнительной проверки регулируется необходимость расщепления его на фракции.

- Первым делом для получения первой группы песка, его просеивают сквозь сито с ячейками размером 2,5x2,5 мм;
- Затем, для получения второй группы – песок просеивают через сетку с ячейками размером 1,2x1,2 мм, и для третьей – 0,135x0,135 мм соответственно;

- По технологии песок для мелкозернистого бетона должен состоять на 20-50% из первой группы и оставшаяся часть отводится для второй и третьей группы заполнителя;
- Марка цемента должна быть не меньше М400 или М500 и его количество берут больше нормы. Для повышения прочностных свойств мелкозернистого бетона и его качества используют специальные пластификаторы [39].

Потребительские особенности мелкозернистого бетона:

- Возможность приготовления бетонной смеси в домашних условиях;
- Недопустимость расслоения при транспортировке в автомобильных миксерах;
- Получение однородной и плотной структуры готового продукта;

Содержание песка также оказывает значительное влияние на подвижность смесей и прочность бетона. Оно усиливается с уменьшением В/Ц. В.В. Помазков приводит график зависимости прочности мелкозернистого бетона от В/Ц при разных отношениях Ц:П.

Неблагоприятный зерновой состав песка, ведет к увеличению содержания воды для обеспечения заданной подвижности смеси и увеличивает В/Ц; прочность бетона снижается.

Определяющими показателями здесь являются удельная поверхность и пустотельность смеси. Они в значительной степени зависят от формы зерен песка.

Бетоны с одинаковыми свойствами можно получить, если заполнитель имеет любой зерновой состав, но одинаковую суммарную поверхность.

В исследованиях С.С. Гордон замена природного песка дробленным повышала водопотребность раствора состава 1:3 на 26%, но несмотря на такое увеличение В/Ц, прочность бетона увеличилась на 22% (высевки из гранита). Замена песка - дробленным непромытым песком приводила при неизменном В/Ц=0,4 к увеличению расхода цемента на 20-30% и снижению прочности бетона на 12-15%, что объясняется запыленностью песка, ухудшением сцепления щебня с раствором за счет наличия пыли,

ухудшением сцепления щебня с раствором за счет наличия пыли и ухудшения структуры бетона. Автор указывает, что экономичные бетоны м.б. получены на дробленом песке без фракции менее 0,15 мм (не более 1,5%). Необходимо проведение специальных испытаний дробленых песков в бетоне.

Фере при замене окатанного песка на дробленый известняковый получил снижение прочности бетона на сжатие, но увеличение объясняется появлением известняковой пыли.

Жилкин считает, что замена окатанного песка и гравия хорошими дроблеными заполнителями полезна для повышения прочности бетона (которое превосходит отрицательное воздействие перерасхода вяжущего).

Проф. И.Н. Ахвердов проанализировал содержание в природном песке зерен различной формы в узких фракциях песка, данные указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Содержание зерен различной формы в узких фракциях песка

Фракции, мм	Содержание зерен различной формы, %		
	Округлых	Полуокатанных	Угловатых
5-2	6	58	36
2-1	14	45	41
1,0-0,5	30	38	32
0,5-0,25	26	37	37
0,25-0,10	18	36	46
0,10-0,05	6	26	68
0,05-0,01	0	9	91

Примечание: частицы крупностью менее 0,1 мм в основном угловатые и имеют большую плотность.

Большое влияние на жесткость и водопотребность бетонной смеси оказывают свойства мелких заполнителей – крупность, зерновой состав, форма зерен, состояние поверхности, степень загрязненности и пр. Увеличение водопотребности вследствие уменьшения крупности и загрязненности может достигать 30-35%.

Водопоглощение заполнителей, как отмечает Т. Гансен является одним из важнейших факторов, определяющих усадку и ползучесть бетона. Он приводит мнение Дэвиса, что величины ползучести бетонов на различных заполнителях существенно отличаются. Однако, выявление связи затруднено. Дэвис полагает, что влияние заполнителя на ползучесть связана с разной поглощающей способностью заполнителей. Песчаник действует как дренаж – высыхает раньше, чем гранит. Бетон, имеющий наибольшее высыхание должен иметь и наибольшую ползучесть. Приводятся данные К. Кордина по величине усадки и ползучести бетонов на разных заполнителях.

В процессе изготовления мелкозернистого бетона не используются крупные заполнители, чтобы в результате получить однородную пористую структуру. Для достижения максимальной прочности необходимо правильно произвести расчет пропорций цемента и песка.

- При недостаточном количестве цемента произойдет уменьшение плотности раствора и его дальнейшая плохая укладка. В результате будет получен достаточно хрупкий материал.
- При увеличенном количестве цемента также снижается прочность материала. Это свидетельствует о большом содержании воды в растворе и чрезмерной пористости.

В процессе производства мелкозернистого бетона необходимо использовать крупный речной песок или мелкий, но с добавлением мелкофракционного гравия. Это не только благотворно отобразится на бетонном растворе, но и сократит потребление бетона.

Добиться эффективного уплотнения при нанесении смеси можно несколькими способами:

- вибропрессованием;
- прессованием;
- трамбованием.

Конкретный выбор способа будет зависеть непосредственно от конкретных задач, которые стоят перед строителями.

Перед приготовлением бетонной смеси, необходимо правильно рассчитать все пропорции. Для этого можно использовать расчетно-экспериментальный метод, состоящий из двух этапов:

1. Приблизительный расчет всех компонентов, которые способны обеспечить материалу необходимую прочность и подвижность. В процессе испытания лучше использовать небольшие объемы образцов, чтобы в случае допущенных ошибок не терять большое количество материалов.

2. Второй этап включает в себя окончательную проверку раствора с дальнейшим уточнением ее состава.

Мелкозернистый бетон обладает достаточно большим количеством преимуществ, что позволяют конкурировать с остальными разновидностями бетонов. Именно поэтому его активно используют в самых разнообразных областях строительства.

При подборе состава мелкозернистых бетонов, так же требуется учитывать «зависимость свойств бетонной смеси от структуры и свойств применяемых материалов. На свойства бетона оказывает влияние: вид, активность и расход цемента, качество и гранулометрический состав песка, количество воды, технология приготовления, укладка и условия твердения бетона» [3]. Качество мелкого заполнителя (песка) и состав бетонной смеси, то есть соотношение цемента и песка определяет прочность мелкозернистого бетона. Для улучшения прочностных свойств бетонной смеси необходимо использовать крупный речной песок или мелкий, но с добавлением мелкофракционного гравия.

Так же прочностные свойства зависят от количества цемента: чем меньше расход цемента, тем меньше прочность бетона, так как при низком содержании цемента смесь становится менее удобоукладываемой, труднее уплотняется, плотность, а соответственно и прочность уменьшаются.

Тонкость помола оказывает влияние на скорость схватывания и твердения, а также на прочность затвердевшего цементного камня: чем тоньше измельчен цементный клинкер, тем быстрее протекают реакции

взаимодействия цемента с водой и тем выше его прочность. Однако слишком тонкий помол приводит к увеличению водопотребности и возрастанию осадочных деформаций, понижению прочности цементных растворов и бетонов, что отрицательно сказывается на качестве смеси. Рекомендуемый полидисперсный состав должен включать мелкие частицы размером 40 мкм и крупные 80 мкм. Получение экономичного быстротвердеющего цемента состоит в добавлении к обычному цементу 15-25% сверхтонкого цемента.

Необходимый объем воды для гидратации и придания цементному тесту определенной пластичности (в количестве 15-17% от массы цемента) называют водопотребностью. Для обеспечения подвижности смеси количество добавляемой воды увеличивают. Чем ниже водопотребность цемента, тем выше его качество, потому как при испарении лишней воды из цементного камня, в растворе или бетоне происходит образование пор, возникают осадочные деформации и образуются трещины

При смешивании цемента с водой происходит сложное физико-химическое взаимодействие.

Для снижения расхода цемента применяются химические добавки, уплотнение песчаных бетонных смесей и пески с хорошим зерновым составом. В цементно-песчаных смесях с высоким расходом цемента полезно использовать пластификаторы.

Благодаря пластификаторам смесь приобретает дополнительные качественные характеристики:

- улучшенную текучесть;
- устойчивость к перепадам температуры;
- повышенную прочность;
- водостойкость.

Добавки, которые делают состав более эластичным (а заодно и придают ему новые свойства из числа перечисленных выше), называются

пластификаторами [31]. Такие модификаторы могут выпускаться в виде сухого порошка либо полужидкой субстанции.

Пластификаторы производятся из:

- органических материалов;
- органоминеральных комбинаций;
- неорганических веществ.

Натуральные дополнения чаще всего изготавливаются на основе отходов нефтехимической, агрохимической и лесоперерабатывающей промышленности. Неорганические добавки делаются на основе концентратов нафталинсульфокислоты, формальдегида и др.

Использование пластификаторов не делает работы более дорогостоящими, а, напротив, уменьшает затраты на них. Применение корректирующих элементов позволяет заметно сократить общий расход цемента.

Особенно эффективны в этом плане гиперпластификаторы. За счёт них можно экономить до 25% цемента. В некоторых случаях использование специальных компонентов просто обязательно - например, при заливке густоармированных конструкций - опалубок и колонн.

1.4 Влияние добавок и модификаторов на свойства мелкозернистого бетона

Введение в бетонную смесь супер- и гиперпластификаторов, комплексных химических добавок и тонкодисперсных минеральных наполнителей (золы, микрокремнезема, тонкомолотых шлаков и др.) улучшает прочностные характеристики мелкозернистых бетонов. Для всех мелкозернистых бетонов с целью улучшения их свойств полезно вводить небольшую добавку микрокремнезема. Микрокремнезем уплотняет структуру бетона, взаимодействуя с гидроксидом кальция, способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, что позволяет получить бетоны высокой прочности и увеличивает срок службы

конструкции из мелкозернистого бетона. Кроме того, использование микрокремнезема снижает расход вяжущего.

Оптимальным является введение микрокремнезема совместно с суперпластификаторами, так как повышенное содержание микрокремнезема отрицательно сказывается на реологических свойствах последнего. Применение суперпластификаторов позволяет так же решить ряд задач, например, разные условия использования бетона в регионах. Поэтому, добавки на основе поликарбоксилата должны быть применены так, чтобы обеспечить равные эксплуатационные характеристики для каждого региона. Данные добавки позволяют: увеличить срок хранения бетонной смеси (смесь остается жидкой или дольше не дает оседания), способствует увеличению прочности в ранние сроки твердения, дополнительно не вовлекая воздух. Наиболее целесообразно использование тройной системы «Суперпластификатор – микрокремнезем - минеральный наполнитель». Количество добавок определяется требованием к бетону и бетонной смеси и качеством песка» [35].

Органо-минеральные модификаторы типа МБ являются новым, необычным видом добавок для бетонов, растворов и сухих смесей. Особенность заключается в том, что это - порошкообразные поликомпонентные продукты, сочетающие в своем составе хорошо растворимые ингредиенты органического происхождения с плохо растворимыми неорганического происхождения. Модификаторы обозначаются аббревиатурой МБ. В зависимости от соотношения микрокремнезема и золы-уноса в неорганической части модификаторы подразделяются на пять видов. Примеры их обозначения: МБ-01, МБ-30С, МБ-50С, МБ-75С и МБ-100С.

В зависимости от соотношения микрокремнезема и расширяющей композиции в неорганической части модификаторы подразделяются на три вида. Примеры их обозначения: Эмбэлит-50, Эмбэлит-75 и Эмбэлит-100. Насыпная плотность порошкообразных продуктов – 0,75...0,80 т/м³, размер

гранул в порошках – 0,01...0,4 мм (рис.1.2). Гранулометрический состав представлен на рисунке 1.1.

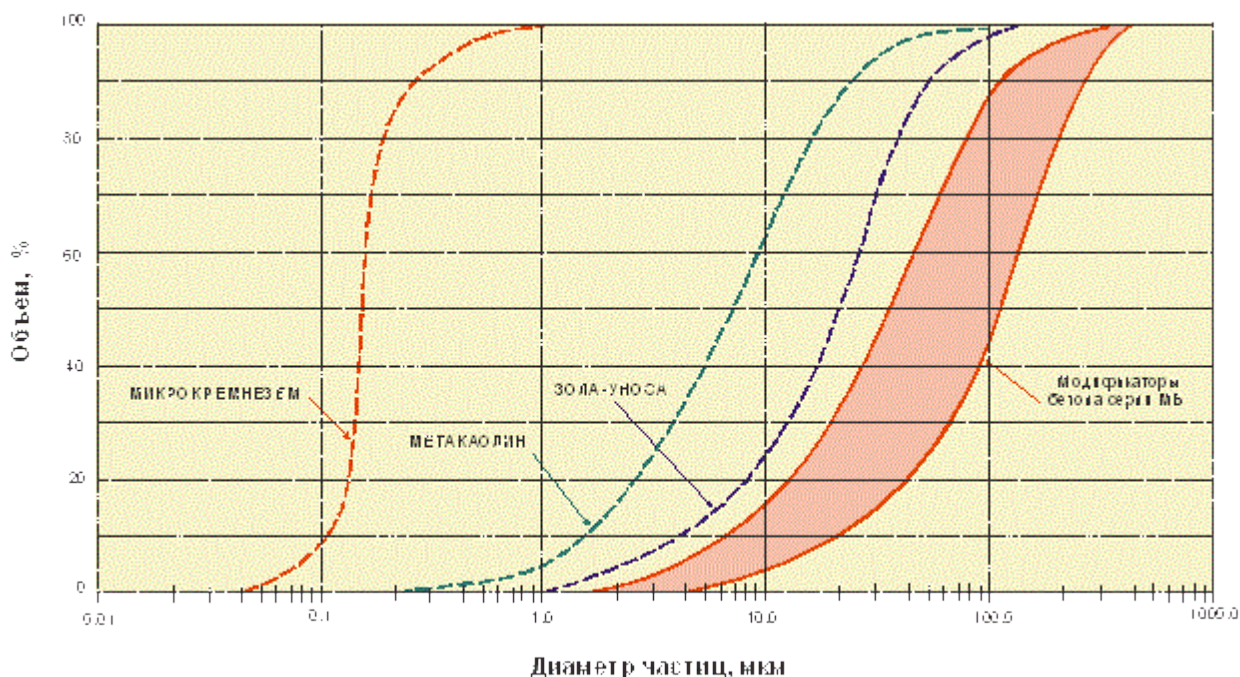
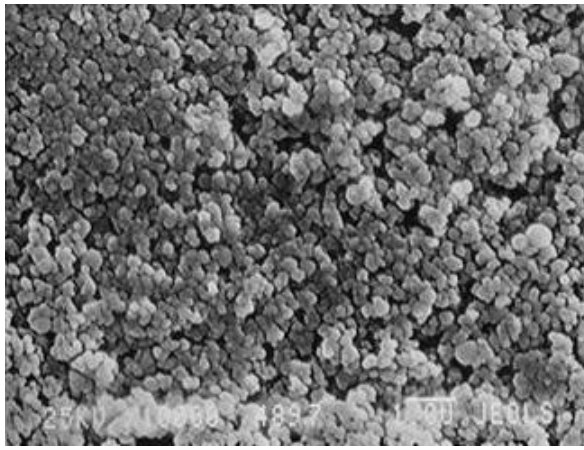


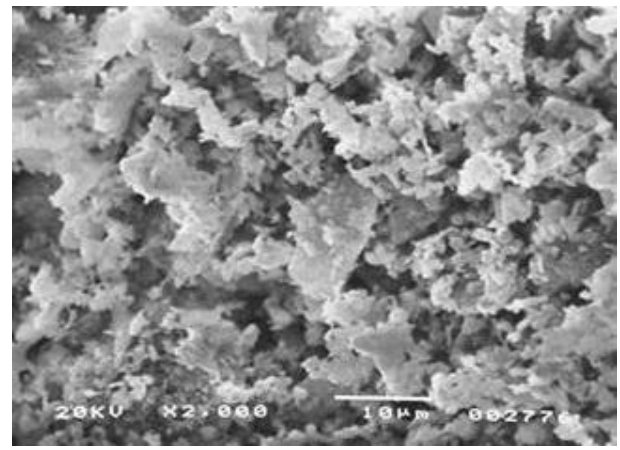
Рисунок 1.1 – Гранулометрический состав разных видов МБ и их неорганических компонентов

Структура частиц МБ представляет собой совокупность из ультрадисперсных частиц микрокремнезема и золы-уноса, либо только микрокремнезема, частички которого равномерно покрыты затвердевшей адсорбционной пленкой из молекул суперпластификатора и других органических компонентов модификатора. Затвердевшая адсорбционная пленка «скрепляет» частички микронаполнителя между собой, формируя прочные и устойчивые к воздушной среде гранулы (рис.1.2).

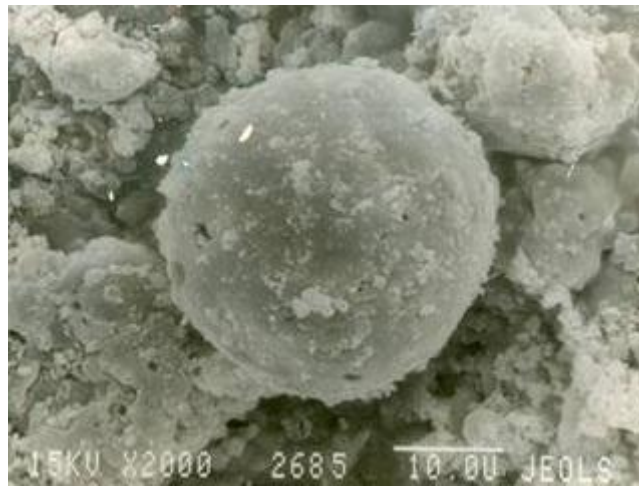
Но в то же время затвердевшая адсорбционная пленка является водорастворимой и способствует их быстрой дезагрегации при перемешивании модификатора с водой в процессе приготовления бетонной смеси. Одно из перспективных направлений снижения расхода цемента и регулирования технологических свойств бетонной смеси и физико-механических характеристик бетонов - применение химических добавок. Микроструктура минеральных компонентов представлена на рисунке 1.2.



а)



б)



в)

а) микрокремнезем (увеличение в 10 000 раз); б) метакаолин (увеличение в 2 000 раз); в) зола уноса (увеличение в 2 000 раз).

Рисунок 1.2 – Микроструктура минеральных компонентов модификаторов

В настоящее время применяется большое количество добавок, которые можно классифицировать по химическому составу, механизму действия, основным техническому и технологическому эффектам и другим свойствам.

«Суперпластификаторы, изготовленные на основе меламино- и нафталино-формальдегидных смол наиболее технологически эффективны в настоящее время

Основное направление действия суперпластификаторов – это разжижение бетонной смеси до высокоподвижной и литой консистенции. Вводится данная добавка в количестве 0,3-0,6%, для обеспечения

необходимого количества влаги (снижает расход воды) и повышения физико-механических характеристик бетона.

Суперпластификатор на ранних стадиях взаимодействия цемента с водой дезагрегирует и частично объединяет цементные частицы до крупных образований, а также обволакивает их поверхности. При этом снижаются силы межмолекулярного притяжения» [41].

Это способствует замедлению процесса структурообразования [41], но обеспечивает более полное протекание процессов гидратации и образование однородной мелкокристаллической структуры. В результате адсорбции, количество воды сольватных оболочек снижается, смесь разжижается и подвижность её резко возрастает.

«Отличительной особенностью действия суперпластификаторов является их кратковременность. Спустя 1-1,5 ч после их введения подвижность смесей резко снижается. Это обстоятельство требует укладки смеси в конструкцию или форму за промежуток времени, когда суперпластификатор еще оказывает свое действие» [41].

Характерной особенностью современной строительной технологии является получение бетонов с заданными техническими и технологическими свойствами при минимизации энергетических и материальных затрат. В технологии бетона наиболее актуальной проблемой является получение высокоподвижных бетонных смесей с обеспечением сохраняемости свойств во времени и интенсивным набором прочности бетона в ранние сроки твердения без применения тепловой обработки. Бетон обязан быть долговечным и очень прочным, при этом обеспечивать гидроизоляцию, противостоять механическим воздействиям.

Повышенное количество использования воды, для обеспечения удобоукладываемости, приводит к образованию значительной пористости. А цикличное замораживание и оттаивание приводит к расслоению, частому трещинообразованию и снижению несущей способности готового изделия.

Применение химических добавок, а точнее суперпластификаторов, позволяет регулировать свойства бетона в достаточно широких пределах без существенного усложнения технологии производства, помогает решить многие проблемы, стоящие в настоящее время перед строительной технологией.

Для того, что бы бетонная смесь приобрела необходимые технические свойства нужно учитывать зависимости концентрации раствора суперпластификатора и кинетики набора прочности бетона на разных сроках твердения, и пластифицирующей способности бетонной смеси.

Под понятием «добавки» понимают органические и неорганические вещества, применяемые в качестве модификаторов, изготавливаемые на вяжущих на основе портландцементного клинкера, способствующие регулированию и изменению свойств бетонной смеси. Добавки применяют с целью улучшить специальные свойства, необходимые для дальнейшего их использования для возведения зданий и сооружений из бетона и железобетона, т.е. сборных и монолитных конструкций высокого качества, в оптимальные сроки [37].

«Добавка — это продукт, вводимый в бетонные и растворные смеси с целью улучшения их технологических свойств, повышения строительно-технических свойств бетонов и растворов и придания им новых свойств» [16].

Добавки, вводимые в бетонную смесь регулируют необходимые свойства бетонной смеси от момента изготовления, до укладки в опалубку с уплотнением. С их помощью имеется возможность регулирования сроков и механизма твердения, а так же улучшение структуры и конечной характеристики полученной смеси.

Система (связанные отдельные компоненты смеси, путем затворения водой цемента, песка и щебня) обладает рядом свойств, таких как: удобоукладываемость (подвижность, жесткость), которая отвечает за легкость выгрузки и укладки смеси в опалубку, с дальнейшим

уплотнением[38]. Чем выше удобоукладываемость, тем легче осуществляются технологические и механические процессы, происходящие при работе с бетонной смесью, что особенно актуально для сборного железобетона, но особенно - для монолитного строительства.

Зачастую высокая удобоукладываемость достигается повышенным расходом воды в бетоне, что сводит на нет все преимущества полученной пластичной смеси: в теле бетона разворачивается усадочное трещинообразование, структуру растворной части хаотично пронзают микротрещины по разным направлениям, и, как следствие, происходит значительное ухудшение качества бетона [46].

Применение добавок-пластификаторов позволяет увеличивать подвижность бетонной смеси исходного состава с П1 до П5 без увеличения водосодержания системы. При этом конечные характеристики бетона не только не ухудшаются, но происходит их улучшение [47]. В частности, при получении равноподвижных смесей за счет снижения расхода воды, и, как следствие, уменьшения значения В/Ц, в конечном итоге бетон приобретает повышенную прочность, морозостойкость и водонепроницаемость.

Транспортирование бетонных и растворных смесей, особенно на дальние расстояния, может сказаться на качестве смесей в виде их расслоения, потери ими подвижности, а также привести к началу преждевременного схватывания - до достижения транспортом с бетонной (растворной) смесью места назначения.

Как известно, согласно нормативно-технической литературе и строительному законодательству строго запрещается добавлять воду в начавший схватываться готовый бетон или раствор. Вследствие этого просто необходимо изготавливать смеси с показателями качества, неизменными в течение определенного времени.

Дабы обеспечить выполнение этих условий и во избежание различных негативных процессов, рекомендуется при приготовлении бетонной смеси добавлять в нее замедлитель схватывания или стабилизирующие добавки в

целях сохранения свойств во времени, либо использовать пластификатор по схеме: часть — на заводе-изготовителе, часть — на объекте, перед выгрузкой, непосредственно в «миксер».

В процессе изготовления изделий и конструкций из сборного железобетона также возникает ряд проблем, наиболее актуальными из которых являются следующие:

- увеличение темпов оборачиваемости форм и бортоснастки;
- ускорение набора бетоном отпускной и передаточной (для предварительно напряженных железобетонных конструкций) прочности;
- улучшение текстуры и качества поверхности изделий.

Основными показателями качества бетонов и строительных растворов являются высокая прочность и долговечность изготовленных из них и с их помощью изделий и конструкций.

Под прочностью бетона понимается его способность сопротивляться действующим на него статическим и динамическим нагрузкам [18].

Первостепенными свойствами, обеспечивающими долговечность бетона, являются его морозостойкость и водонепроницаемость.

Морозостойкость - сопротивление бетона попеременному (циклическому) замораживанию и оттаиванию вследствие изменения температуры окружающей среды и возникновения в теле бетона напряжений, создаваемых замерзающей и расширяющейся водой.

Водонепроницаемость - способность бетона сопротивляться давлению проникающей в него воды.

Первостепенной задачей современного рынка строительных материалов, несомненно, можно назвать снижение себестоимости продукции с одновременным сохранением необходимых показателей качества.

Как известно, наиболее дорогостоящим компонентом состава бетонов и растворов на основе портландцементного клинкера является, конечно же, вяжущее.

Для решения завязанного с этим напрямую вопроса конкурентоспособности производимых сборных и монолитных железобетонных конструкций в первую очередь следует обеспечить существенную экономию «драгоценного» портландцемента.

Непревзойденными помощниками в этом случае выступают добавки пластификаторы и суперпластификаторы, позволяющие существенно снизить расход цемента с 1 м³ бетона или раствора, а именно — до 17-20 % от первоначального значения.

При этом происходит не только сохранение всех заданных характеристик — удобоукладываемости, плотности, прочности и долговечности бетона, но и оптимизация их в необходимых пределах и соотношениях.

Выводы по первой главе:

1. Проведен анализ физико-технических свойств мелкозернистых бетонов. Мелкозернистый бетон является бетоном нового поколения, отличающиеся физико-механическими свойствами от обычных тяжелых бетонов.
2. Прочностные характеристики мелкозернистого бетона зависят от его состава, соотношения, количества заполнителей, химических добавок, в том числе от модификаторов.
3. Наиболее эффективны при бетонировании густоармированных конструкций.
4. Мелкозернистый бетон обладает достаточно большим количеством преимуществ, что позволяют конкурировать с остальными разновидностями бетонов. Именно поэтому его активно используют в самых разнообразных областях строительства.
5. Эффективность применения комплексных химических добавок выше в мелкозернистых бетонах, чем в обычных тяжелых бетонах с крупным заполнителем.

2 Характеристики применяемых материалов и методы экспериментальных исследований

2.1 Свойства и характеристики применяемых материалов

2.1.1 Песок

Для приготовления бетонов в качестве мелкого заполнителя использовались: мелкий природный песок Волжского месторождения, крупный природный песок Камского месторождения и дробленый песок из гранитного щебня Челябинской области. Данные по гранулометрическому составу природного песка указаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика природного Волжского, Камского и дробленого песка

Характеристика	Наименование материала		
	Природный Волжский песок	Камский песок 0-5мм (на сите 5мм – 0%)	Дробленый песок из гранита
Насыпная плотность, кг/м ³	1470		1487
Гранулометрический состав Остатки на ситах, мм (частные/полные)			
2,5	$\frac{0,41}{0,41}$	$\frac{33,91}{33,91}$	$\frac{17,96}{44,27}$
1,25	$\frac{0,4}{0,81}$	$\frac{20,87}{54,78}$	$\frac{11,34}{55,61}$
0,63	$\frac{1,19}{2,0}$	$\frac{18,40}{73,18}$	$\frac{3,84}{59,45}$
0,315	$\frac{30,1}{32,1}$	$\frac{18,48}{91,66}$	$\frac{8,42}{67,87}$
0,16	$\frac{65,8}{97,9}$	$\frac{7,5}{99,16}$	$\frac{8,86}{76,73}$
<0,16	$\frac{2,1}{100}$	$\frac{0,84}{100}$	$\frac{23,27}{100}$
М кр.	1,33	3,53	3,40

Вид мелкого заполнителя для бетонной смеси представлен на рисунке 2.1.



a)



б)



в)

а) Волжский песок; б) Камский песок; в) песок дробленый из гранита
Рисунок 2.1 - Мелкий заполнитель для бетонной смеси

Согласно ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» природный Волжский песок по значению модуля крупности относится к группе песка «Очень мелкий». Полный остаток песка на сите с сеткой № 63 не соответствует значениям, указанным в таблице 2 ГОСТ 8736-2014.

Камский песок по значению модуля крупности относится к группе песка «повышенной крупности». Полный остаток песка на сите с сеткой № 63 соответствует значениям, указанным в таблице 2 ГОСТ 8736-2014.

Дробленый песок из гранитных пород по значению модуля крупности относится к группе песка «крупный». По содержанию зерен на сите с размером ячеек 0,63 мм дробленый песок соответствует требованиям соответствующего ГОСТ 8736-2014.

Пески отличаются, как по виду, так и по химическому составу, в зависимости от места их добычи. По зерновому составу Волжский песок более мелкий, чем Камский. Использование Волжского песка снижает

водопотребность мелкозернистой бетонной смеси и повышает ее воздухоовлечение [20].

Важное отличие зерновых составов природного и дробленого песков заключается в том, что дробленые пески могут быть получены практически любого зернового состава. Правильный выбор дробильного оборудования и режимов его работы, позволяют получать дробленые пески любого, необходимого для технологии бетонных работ, зернового состава. Это существенное преимущество дробленых песков перед обычно применяемыми природными. Еще одним положительным свойством дробленых песков является высокая однородность зернового состава. Эти положительные факторы позволяют свести до минимума отрицательное влияние формы зерен дробленых песков [19].

При использовании дробленых песков и отходов дробления мы имеем дело с поли- и микрокристаллами, геометрическая форма которых может быть нарушена и в каждом из них имеется большое количество микротрещин, дополнительно увеличивающих поверхность. Работами ученых установлено, что такие трещины могут иметь глубину до 50-100 Å. Силовое поле поверхности кристалла в целом нельзя рассматривать, как однородное. Атомы и молекулы, находящиеся на поверхности кристаллов имеют ненасыщенные связи, что доказывается слипанием чистых поверхностей металлов (например, свинца), слюды, кернов [49]. Кроме того, поверхность материалов всегда является шероховатой, т.е. усеянной пиками и впадинами, что усложняет структуру, т.к. атомы и молекулы, расположенные на пиках, обладают большей активностью, чем атомы и молекулы, расположенные во впадинах.

При этом следует считаться не только с внешней, но и с внутренней адсорбирующей поверхностью частиц. Макроструктура щебня и песка из малопрочных карбонатных пород насыщена порами, пустотами, трещинами, которые способствуют лучшему сцеплению поверхности заполнителя с

цементным камнем, но усложняет определение фактической удельной поверхности материала [26].

Поэтому при контакте с жидкостью происходит смачивание поверхности заполнителя. Возникает новая граница раздела: твердое тело – жидкость.

Генетические особенности и структурно – прочностные характеристики исходной горной породы определяют зерновой состав песка. Не менее существенным является роль типа и режимов дробленого оборудования.

Отмечается в ряде случаев недостаточное количество зерен средней крупности 0,3-1,25 мм и часто избыточное зерен крупнее 1,25 мм.

При этом, зерновой состав песка зависит от типа дробилки, величины разгрузочной щели, числа оборотов ротора (в дробилках ударного действия) и ряда факторов.

Отметим, что специальное исследование технологии и оборудования для получения дробленого песка и отходов дробления, не является предметом настоящей работы. Поэтому вопросы, связанные с производительностью дробилок, выбором оптимальных режимов их работы, зависимостью зернового состава от величины разгрузочной щели и другие технологические вопросы здесь не освещаются. Они должны явиться предметом специальных исследований [44].

Определенное количество частиц менее 0,05 мм оказывает благоприятное воздействие на бетонные (растворные) смеси с небольшим расходом цемента.

Безусловное, что высокое (более 15-20%) содержание каменной пыли и мелких фракции вызывает определенные осложнения в технологии: снижение подвижности смеси, некоторую «жесткость» ее, трудности с перемешиванием (необходимо больше времени) и уплотнением (больше работа уплотнения) смеси и некоторые другие.

Однако, эти осложнения могут быть устранены с помощью специальных мероприятий. Обогащение песка может осуществляться обычными способами, особенно пневмокласификаций. В процессе приготовления бетонной смеси всегда показано применение пластификаторов и, особенно, суперпластификаторов.

Поэтому дробленый песок и отходы дробления, полученные по отработанной и обоснованной технологии являются отличным материалом для бетона.

Удобоукладываемость смеси является решающим фактором, как пластичного, так и затвердевшего бетона (при заданных параметрах уплотнения и твердения). Избыток цементного теста ухудшает технические свойства ЦПР – увеличивается усадка и ползучесть, уменьшается трещиностойкость и долговечность. Как указывает В.А. Вознесенский: основное- это регулирование зернового состава песка. Зерновая характеристика песка связывает поверхность и пустотность материала.

2.1.2 Цемент

При выполнении экспериментальных исследований в качестве вяжущего использовался быстротвердеющий шлакопортландцемент ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б, удовлетворяющий требованиям ГОСТ [21] (ООО «Холсим (Рус)», г. Вольск, Саратовская обл.), данные указаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Показатели качества цемента ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б

Показатели	Значение
1. Строительно-технические свойства цемента	
Предел прочности при сжатии в возрасте: 2 суток	15,0 МПа
28 суток	41,9 МПа
Начало схватывания	230 мин
Конец схватывания	334 мин

Нормальная густота цементного теста	29,4 %
Наличие ложного схватывания	Отсутствует
Остаток на сите с размером отверстий 45 мкм	10,2 %
Равномерность изменения объема	0,2 мм
Содержание минеральной добавки (шлак и пуццолана)	20,0 %
2. Минералогический состав клинкера (расчетный), %	
Трехкальциевый силикат (C_3S)	72,0
Двухкальциевый силикат (C_2S)	8,1
Трехкальциевый алюминат (C_3A)	5,4
Четырехкальциевый алюмоферрит (C_4AF)	12,9
Негашенная известь ($CaO_{св}$)	0,3

При изготовлении данного цемента используются комплексные минеральные добавки – шлак и пуццолана. При использовании доменного гранулированного шлака достигается стойкость к воздействию минерализованных вод и повышение пластичности бетонных растворов. Наличие пуццолана повышает стойкость к отдельным видам коррозии и, в частности, к сульфатной коррозии.

Так же при выполнении экспериментальных исследований, в качестве вяжущего использовался портландцемент быстротвердеющий ЦЕМ I 42,5Б. данные указаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели качества цемента ЦЕМ I 42,5Б (ГОСТ 31108-2003)

Показатели	Значение
1. Строительно-технические свойства цемента	
Предел прочности при сжатии в возрасте: 2 суток	20,0 МПа
Прочность на сжатие в возрасте 28-и суток не менее	42,5 МПа
Прочность на сжатие в возрасте 28-и суток не более	62,5 МПа

Начало схватывания	60 мин
Конец схватывания	Не нормируется
Нормальная густота цементного теста	Не нормируется
Равномерность изменения объема	Не более 10,0 мм
Портландцементный клинкер	95-100%
Вспомогательные компоненты	0-5 %
2. Минералогический состав клинкера (расчетный), %	
Трехкальциевый силикат (C_3S)	61,56
Двухкальциевый силикат (C_2S)	16,07
Трехкальциевый алюминат (C_3A)	6,20
Четырехкальциевый алюмоферрит (C_4AF)	12,68

Евроцемент 500 ЦЕМ II/A-III 42,5Н востребован среди крупных застройщиков, специализирующихся на строительстве следующих объектов:

- жилые комплексы,
- офисные здания,
- торгово-развлекательные центры,
- мосты, эстакады, дорожные развязки,
- спортивные сооружения,
- медицинские и образовательные учреждения,
- промышленные предприятия.

Кроме этого данный цемент является самым эффективным конструкционным материалом в промышленном строительстве, где предъявляются высокие требования к водостойкости, морозостойкости и долговечности.

2.1.3 Наполнитель цемента

С целью улучшения свойств мелкозернистого бетона и снижения расхода вяжущего вводим добавку микрокремнезема, который уплотняет

структуру бетона, взаимодействуя с гидроксидом кальция, и способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, что позволяет получить бетоны высокой прочности [45]. А так же микрокремнезем позволяет увеличить срок службы конструкций из мелкозернистого бетона. Оптимальным является введение микрокремнезема совместно с суперпластификаторами, так как повышенное содержание микрокремнезема отрицательно сказывается на реологических свойствах последнего. Гранулометрический состав составляет 0,1 микрона, что в 100 раз меньше среднего размера зерна цемента [17].

Введение добавки МК в портландцемент от 10 до 30% от массы цемента увеличивает водопотребность вяжущего по нормальной густоте с 25 до 29%. При этом для равнопластичных бетонных смесей ($OK=Const$) сокращается расход цемента до 30%, тогда как такое же количество МК в бетонной смеси того же состава, но при постоянном расходе цемента – увеличивает пластичность по ОК в 4 раза.

Частицы микрокремнезема имеют гладкую поверхность и сферическую форму. Основным компонентом отхода является диоксид кремния в аморфной форме. Химический состав микрокремнезема представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Химический состав микрокремнезема

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	C	S
%	90-92	0,68	0,69	0,85	1,01	0,61	1,23	0,98	0,26

Значение показателя pH водной суспензии микрокремнезема составляет в среднем – 7,74.

«Микрокремнезем способствует уменьшению расхода цемента до 200 – 450 кг/м³, обладает высокой прочностью на сжатие 60 – 80 МПа и выше 80 МПа для мелкозернистых бетонов, повышает антикоррозионную стойкость, снижает водонепроницаемость на 50%, что повышает долговечность бетонов.

Как и все пуццолановые материалы, микрокремнезем вступает в реакцию с гидроксидом кальция Ca(OH)₂ [45], освобождаемой при

гидратации портландцемента для образования вяжущих соединений. Очень высокая чистота и мелкость МК способствует более эффективной и быстрой реакции. При надлежащем рассеивании тысячи реактивных сферических микрочастиц окружают каждое зерно цемента, уплотняя цементный раствор, заполняя пустоты прочными продуктами гидратации и улучшая сцепление с заполнителями. Степень пуццолановой активности зависит от содержания реактивного кремнезема, но на практике между двумя видами материала с высоким содержанием кремнезема существует довольно незначительное различие. МК может обеспечить прочность на сжатие, намного превышающую прочность обычных бетонов, и здесь ограничивающим фактором является только прочность заполнителя» [8].

Опыт других стран, недавно получивший подтверждение в Великобритании, показал, что 1 кг МК может обеспечивать такую же прочность, как 3–5 кг обычного портландцемента, в смесях одинаковой удобообрабатываемости при умеренном содержании МК и цемента в обеих смесях.

При добавлении МК в количестве до 30% в сочетании с суперпластификатором можно получить смеси с отношением «вода/вяжущее» ниже 0,3. Такие бетоны могут достигать очень высокой ранней прочности. Они нашли широкое применение там, где осуществляется выдерживание во влажном режиме.

«Эффект заполнения пор, создаваемый пуццолановыми сферическими микрочастицами, способствует значительному уменьшению капиллярной пористости и проницаемости бетона. Фактически непроницаемый бетон можно получить при умеренном содержании МК и сравнительно низком содержании обычного портландцемента. Поскольку МК оказывает большее влияние на проницаемость, чем на прочность, бетон с содержанием МК всегда будет гораздо менее проницаемым, чем бетон эквивалентной прочности на обычном портландцементе» [8].

«Таким образом, следует отметить универсальность добавки МК как дисперсии, влияющей на тиксотропные свойства системы, через изменение протяженности структурных элементов – цепочек и их перехода при контактных взаимодействиях в пространственные каркасные ячейки. Это условие соответствует минимальным значениям межфазного натяжения при максимальном развитии граничных поверхностей, что предполагает существование большого числа точечных коагуляционных контактов вплоть до создания предельно наполненной системы, в которой коллективный переход к сцеплению в ближнем порядке вызывает резкое упрочнение. Такой этап гидратообразования с коллоидацией кремнеземных частиц, за счет которых формируются пространственные упаковки, приводит к самоармированию твердеющей цементной системы композита» [31].

2.1.4 Пластификаторы

В исследованиях были применены суперпластификаторы:

- Cemmix CemPlast;
- Sika Viskocrete;
- STACHEMENT 2280.

Cemmix CemPlast применяется для изготовления высокопластичных литых бетонных смесей. «Суперпластификатор позволяет получить высокоподвижные бетонные смеси, снизить трудозатраты на обработку и кладку бетона, снижает количество воды в бетонной смеси, повышает степень реагирования цемента, прочность и долговечность бетонных изделий. Рекомендуется при бетонировании фундаментов, стен, перекрытий, устройства полов, стяжек, изготовлении тротуарной плитки, шлакоблоков, еврозаборов и т.п. Позволяет получить литые бетонные смеси без расслоения и водоотделения. Состав добавки адаптирован к отечественным заполнителям и цементам» [36].

Механизм действия поликарбоксилата представлен на рисунке 2.2.

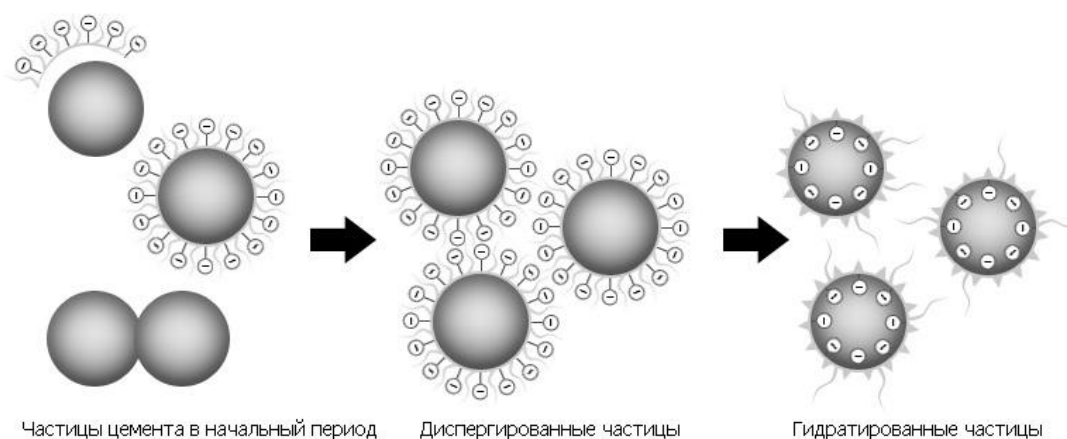


Рисунок 2.2 - Механизм действия поликарбоксилата

Основное действие «СемПласт» - «пластификация достигается действием комплекса многофункциональных полимеров с гидрофобными и гидрофильными поверхностно – активными свойствами изменяющими смачивание цементных частиц тем самым увеличивает растекаемость, а в последствии и прочность бетона» [36].

«Значительно экономит цемент; повышает удобоукладываемость бетонных и растворных смесей с П1 до П5; увеличивает раннюю (на 10-25%) и марочную (на 10-20%) прочность бетона (при неизменной удобоукладываемости); снижает водопотребность бетонной/растворной смеси на 10-20%; позволяет получить подвижные смеси, укладываемые без вибрации; повышает живучесть бетонной смеси до 1,5-2 часов в зависимости от качества применяемых материалов, условий изготовления и транспортирования бетонной смеси; позволяет получить высокоподвижные бетонные смеси без расслоения и замедления твердения бетона в ранние сроки; повышает активность вяжущего и полноту гидратации вследствие пептизирующего действия добавки; увеличивает долговечность в 2-3 раза; предотвращает появление трещин» [36].

«Добавка вводится в 50% рекомендованной воды и вливается в бетонную/растворную смесь, тщательно перемешивается. Оставшаяся часть воды вливается порциями до достижения необходимой пластичности смеси.

Рекомендованный расход воды может изменяться на 10-15% в зависимости от качества используемых материалов.

Состав добавки адаптирован к отечественным заполнителям и цементом, в том числе к шлакощелочным, с содержанием шлаков до 80%» [36].

Была применена суперпластифицирующая и суперводоредуцирующая добавка - Sika Viskocrete 25 RU, предназначенная для производства высококачественных бетонных смесей и получения бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками.

Технические характеристики Sika Viskocrete 25 RU:

- основа: водные композиции модифицированных поликарбокстилатных эфиров,
- внешний вид: мутная жидкость светло-желтого цвета,
- плотность (при 20 град. С): 1,070 – 1,085 кг/дм³,
- показатель PH: 4,0 – 6,0,
- соответствует: ТУ 2493-009-13613997-2011,
- рекомендуемая дозировка: 0,3 – 1,6 % жидкой добавки от массы цемента.

Sika Viskocrete 25 RU используется растворённым в воде или добавляется одновременно с добавлением воды в замес непосредственно в миксер. Введение пластификатора в сухую бетонную смесь то того, как будет произведено добавление воды, является недопустимым. С целью получения бетонной смеси однородной структуры, её перемешивание осуществляется не менее 60 секунд.

Так же использовался гиперпластификатор STACHEMENT 2280 — высокоэффективный жидкий, готовый к применению, изготовлен на основе поликарбоксилатов. Относится к разряду «быстрых» гиперпластификаторов, т.к. обладает ускоряющим эффектом и соответственно даёт высокие ранние прочности бетона.

STACHEMENT 2280 предназначен для производства качественных конструкционных бетонов. Внешний вид: красно-коричневая жидкость.

Продукт не горюч и физиологически безвредный. Плотность при 20 °С — $1,065 \pm 0,030$ г/мл. РН – 7 – 10.

Данный гиперпластификатор: экономит цемент, снижает себестоимость бетона; повышает раннюю и финальную прочность, водонепроницаемость и долговечность бетона; повышает оборачиваемость опалубки; увеличивает стойкость бетона против климатического и химического воздействия; уменьшает количество воды затворения; препятствует вовлечению лишнего воздуха в бетон.

2.2 Методы экспериментальных исследований

«Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях» [11].

Образцы изготовлены и испытаны партиями.

Так как определить истинное значение экспериментально любой случайной величины невозможно, то на практике определяется ее среднее арифметическое значение. Полученный результат будет наиболее приближен к истинному значению и может использоваться вместо него.

Измерения делят на прямые, косвенные, совокупные и совместные - по способу получения числового значения искомой величины. При расчете погрешностей и рассмотрении экспериментальных данных необходимо это учитывать. Погрешности могут возникать при неоднократном измерении. Погрешности делят на случайные и систематические. От случайных погрешностей при измерениях избавиться невозможно. Если произведено одно измерение, то вывести случайную погрешность нельзя. В данной работе можно выделить ряд систематических ошибок:

- влияние внешней среды (влажность, температура и т.д.);
- инструментальные погрешности используемых приборов (весы, гидравлический пресс, измерительные приборы и т.д.);

– влияние влагосодержания в объеме предмета исследования.

Для получения значения, максимально близкого к истинному значению, необходимо использовать ряд практических рекомендаций, вытекающих из положений теории вероятности.

Достоверность полученных экспериментальных значений подтверждается данными обработками многократных наблюдений с построением соответствующих доверительных интервалов для каждой серии многократных наблюдений. Общая относительная погрешность рассчитывалась методами учета доверительных интервалов и неисключенных остатков систематических погрешностей, в том числе по рекомендациям ГОСТ 8.207-76.

Исследования экспериментальной части проводились в лаборатории кафедры «Промышленное, гражданское строительство и городское хозяйство» Архитектурно-строительного института. В соответствии с требованиями действующих государственных стандартов в работе использованы различные методы исследования материалов и бетонов.

В качестве мелкого заполнителя для изготовления бетонов использовались: Волжский, Камский и дробленый песок из гранита. Оценка качества мелкого заполнителя производилась по установленным методам испытания, согласно нормативной документации [16] и в соответствии с требованиями, предъявляемыми к песку ГОСТ [19] и ГОСТ [20] как мелкому заполнителю.

«Зерновой состав песка определяют при помощи стандартного набора сит с ячейками размера: 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 и 0,16. Определяют сначала частные, а затем полные остатки на каждом сите просеивая сухой песок. Полный остаток на любом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера» [27]. Зерновой состав песка выражен размерами полных остатков.

На основании результатов ситового анализа рассчитывают безразмерный показатель - модуль крупности песка ($M_{кр}$):

$$M_{\text{кр}} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (2.1)$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,16}$ - полные остатки на ситах с размерами ячеек соответственно 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 и 0,16 мм.

С помощью цилиндрического сосуда вместимостью 1 дм³ определяют насыпную плотность песка (заранее надо определить массу пустого сосуда m_c , г). Совком с высоты 10 см песок засыпают в мерный сосуд до тех пор, пока песок не образует конус над краями сосуда. Избыток песка срезают вровень с краями сосуда, и сосуд с песком взвешивают, определяя массу песка в сосуде по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = m_{\text{с+п}} - m_c / V, \quad (2.2)$$

где $m_{\text{с+п}}$ – масса сосуда с песком, г, V – объем сосуда, см³.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в песке определяются по методике методом отмучивания в процентах по массе по формуле:

$$P_{\text{отм}} = (m - m_1 / m) \cdot 100, \quad (2.3)$$

где m – масса сухой навески до отмучивания, г,

m_1 – масса сухой навески после отмучивания, г.

Расчетно-экспериментальным методом определяют оптимальный состав бетона:

1. Проектирование состава бетона на основе исходных данных с помощью формул, графиков и таблиц.
2. Уточнение состава бетона на пробных замесах.
3. Исходя из расхода материалов на оптимальный пробный замес и объема этого замеса определяют фактический расход составляющих материалов на 1 м³ бетона.

Окончательно состав бетона выражается в виде расхода материалов на 1 м³ бетона или в частях по массе или по объему по отношению к цементу.

При помощи комплексных методов исследования, изложенных в государственных нормативно-технических документах, изучается влияние суперпластификаторов на свойства бетонных смесей и бетонов [7].

В соответствии с требованиями ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» производят оценку подвижности бетонной смеси.

«Готовую бетонную смесь для определения ее подвижности загружают в стандартный конус, установленный на металлический поддон. Перед испытанием конус и все приспособления очищают и протирают влажной тканью. Загрузку бетонной смесью производят в три слоя, штыкуя каждый слой 25 раз. Конус во время наполнения должен быть плотно прижат к поддону. После уплотнения бетонной смеси ее избыток срезают вровень с верхним краем конуса» [11].

«Далее конус плавно снимают с бетонной смеси и ставят рядом с ней. Осадку конуса бетонной смеси (ОК) определяют, укладывая металлическую линейку ребром наверх конуса и измеряя расстояние от нижней грани линейки до верха бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см. Осадка конуса из бетонной смеси в сантиметрах служит показателем подвижности» [11].

Приготовленную смесь укладывают в металлические разъемные формы, затем уплотняют на виброплощадке, после чего приготовленные образцы бетона хранят в формах в течение суток во влажных условиях. На результат испытания влияет размер и форма образцов, поэтому их строго соблюдают. По прошествии суток образцы бетона извлекают из форм, после чего они хранятся в течение 7, 14 и 28 суток в нормальных условиях твердения.

Предел прочности при сжатии бетонов определяли на образцах-кубах размерами 70,7x70,7x70,7 мм и 100x100x100 мм на гидравлическом прессе с нагрузкой 125 и 250 т. Образцы бетона измеряли и взвешивали перед началом испытания на прочность. Прочностные характеристики бетонных образцов определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», руководствуясь следующими требованиями:

- Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до их распалубливания хранят в формах, покрытых влажной тканью или другим материалом, исключая испарение из них влаги, в помещении с температурой воздуха (20 ± 5) . °С [9].
- При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч и не позднее чем через 72 ч, прочности на растяжение - не ранее чем через 72 ч и не позднее чем через 96 ч.
- После распалубливания образцы помещают в камеру с нормальными условиями твердения: с температурой (20 ± 2) °С и относительной влажностью воздуха $(95 \pm 5)\%$. Образцы укладывают на подкладки так, чтобы расстояние между образцами, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Площадь контакта образца с подкладками, на которые он установлен, должна быть не более 30% площади опорной грани образца. Образцы в камере нормального твердения не должны орошаться водой. Допускается хранение образцов под слоем влажного песка, опилок или других систематически увлажняемых гигроскопичных материалов.

При испытании на сжатие нагружение на образец производили плавно до его полного разрушения, максимальное усилие определяло разрушающую нагрузку.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ (МПа) испытуемого образца рассчитывают по формуле:

$$R_{сж} = 10 F_{разр} / A, \quad (2.4)$$

где A — площадь поперечного сечения образца, $см^2$,

$F_{разр}$ - разрушающая сила, кг.

При испытании образцов-кубов бетона размером 70,7 x 70,7 x 70,7 мм в соответствии с требованиями ГОСТ имеется коэффициент пересчета прочности образцов данного размера на прочность образцов стандартного размера (150 x 150 x 150 мм) $K = 0,85$, для образцов-кубов размером 100 x 100 x 100 мм - $K = 0,95$.

Выводы по второй главе:

1. Проведена оценка влияния цемента и пластификаторов на свойства и прочность бетона. Прочностные характеристики зависят от тонкости помола и количества цемента в бетонной смеси, а пластификаторы в свою очередь влияют на структуру смеси и качественные характеристики.
2. При применении суперпластификаторов, происходит не только сохранение всех заданных характеристик — удобоукладываемости, плотности, прочности и долговечности бетона, но и оптимизация их в необходимых пределах и соотношениях.

3 Исследование физико-механических свойств мелкозернистого бетона

3.1 Моделирование состава бетонной смеси

Для приготовления бетонов применялись:

- три вида мелкого заполнителя: песок Волжского, Камского месторождения и дробленый песок;
- два вида цемента: шлакопортландцемент ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б и быстротвердеющий портландцемент ЦЕМ I 42,5Б;
- в качестве модификатора – микрокремнезем в количестве 10%, 20% и 30%;
- суперпластификаторы: Cemmix CemPlast, Sika Viskocrete, STACHEMENT 2280.

В качестве мелкого заполнителя использовались: крупный ($M_{кр.}=3,53$) природный песок Камского месторождения, мелкий ($M_{кр.}=1,33$) природный песок Волжского месторождения и дробленый песок ($M_{кр.}=3,40$) из гранитного щебня Челябинской области. Виды заполнителя для мелкозернистого бетона представлены на рисунке 3.1.



1) Волжский песок; 2) Камский песок; 3) песок дробленый из гранита
Рисунок 3.1 - Виды заполнителей для бетонной смеси

Для определения зависимости прочности бетона от вида заполнителя необходимо изготовить партии образцов на разных видах мелкого заполнителя для определения динамики набора прочности и определить показатели прочности. А так же провести аналогичный опыт с данными заполнителями фр. 0,315-0,63 (выбор фракции произведен опираясь на опыты ученых).

Исследовали влияние количества модификатора (микрокремнезема) на прочность полученных образцов.

Выбрав оптимальный базовый состав – исследовали влияние вида суперпластификатора на прочность бетона, в том числе сделан вывод по действию данных пластификаторов: удобоукладываемости, пластичности смеси, твердение и т.д.

Конечная точка исследования – подбор оптимального состава бетонной смеси, для получения высокопрочных образцов мелкозернистого бетона.

3.2 Исследование влияния качества заполнителя, вида цемента и водоцементного отношения на прочность мелкозернистого бетона

Крупность и зерновой состав песка, как мелкого заполнителя бетона, являются его важнейшими качественными характеристиками. Зерновой состав мелкого заполнителя предопределяет жесткость бетонной смеси и, как следствие, расход цемента. Постоянство зернового состава необходимо для получения стабильной жесткости бетонной смеси, однородности и прочности мелкозернистого бетона (МЗБ).

Пески отличаются, как по виду, так и по химическому составу, в зависимости от места их добычи. По зерновому составу Волжский песок более мелкий, чем Камский. Использование Волжского песка снижает водопотребность мелкозернистой бетонной смеси и повышает ее воздухоовлечение. Зерна природных песков имеют хорошо окатанную округлую форму. Поверхность зерен мытого Волжского песка более гладкая, чем у Камского песка. Зерна дробленого песка имеют остроугольную форму и шероховатую поверхность.

Важное отличие зерновых составов природного и дробленого песков заключается в том, что дробленые пески могут быть получены практически любого зернового состава. Правильный выбор дробильного оборудования и режимов его работы, позволяют получать дробленые пески любого, необходимого для технологии бетонных работ, зернового состава. Это существенное преимущество дробленых песков перед обычно применяемыми природными. Еще одним положительным свойством дробленых песков является высокая однородность зернового состава. Эти положительные факторы позволяют свести до минимума отрицательное влияние формы зерен дробленых песков.

Для определения зависимости прочности бетона от вида заполнителя были изготовлены бетонные образцы партий 1-3 и 4-6. В бетонах партий 4-6, в качестве заполнителя использованы исследуемые пески фракции 0,315-0,63мм. Составы бетонных смесей партий 1-6 представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Состав бетонной смеси

№ партии	1	2	3	4	5	6
Единица измерения	кг/м ³					
Цемент	629	666	641	625	621	596
Песок Волжский	1258	-	-	1250 (фр. 0,315-0,63)	-	-
Песок Камский	-	1333	-	-	1241 (фр. 0,315-0,63)	-
Песок дробленый из гранита	-	-	1283	-	-	1191 (фр. 0,315-0,63)
Вода	314	333	321	312	310	298
В/Ц	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2201	2332	2245	2187	2172	2085

При одинаковом составе бетонные смеси на Волжском мелком песке показали меньший распыл конуса, чем на Камском песке. Дробленый песок имеет большее водопоглощение [13] за счет шероховатой поверхности и трещин в зерне, в результате чего бетонная смесь на дробленном песке более жесткая, чем на природных песках, подвижность бетонной смеси резко снижается по сравнению с подвижностью смесей на природных песках, данные указаны в таблице 3.2 и представлены в виде графика на рисунке 3.1.

Таблица 3.2 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии					
	1	2	3	4	5	6
Предел прочности при сжатии, R _{сж} , МПа						
7 сут.	30,3	30,3	40,8			
14 сут.	46	42,5	49,5			
28 сут.	47,8	47,2	51,5	51,5	52,9	56,1
120 сут.	53,1	52,4	57,2			

Предел прочности при изгибе, $R_{изг}$, МПа						
28 сут.				79,69	70,31	75,00

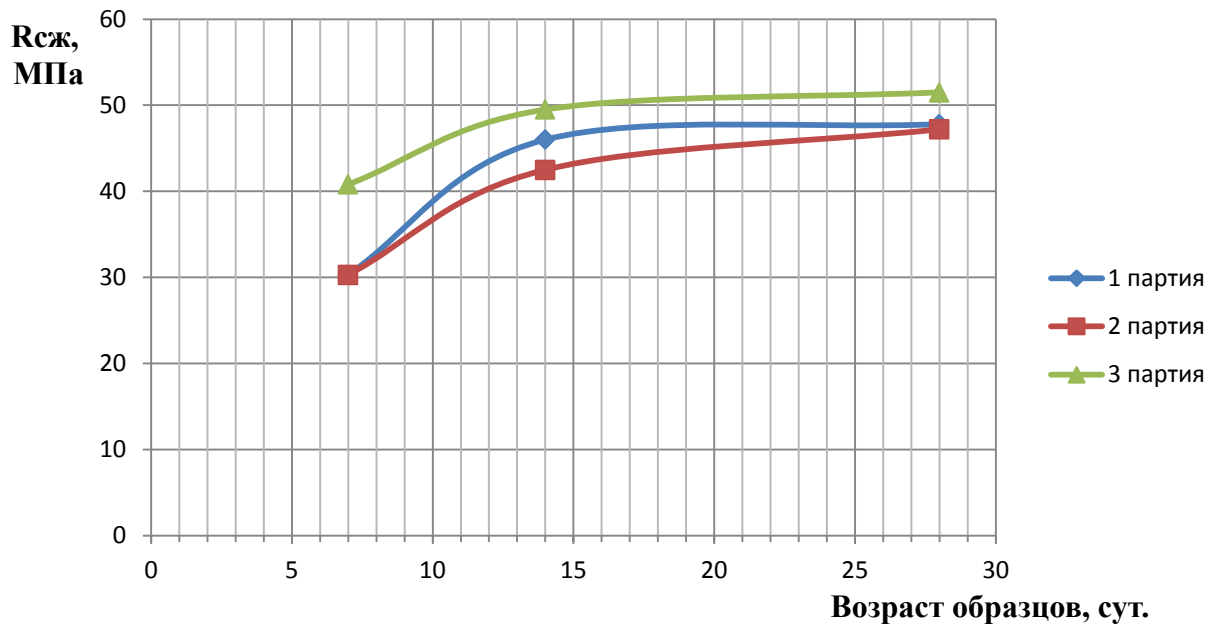


Рисунок 3.1 - Зависимость прочности бетона от вида заполнителя

Зависимость прочности бетона в зависимости от вида и крупности заполнителя представлена на рисунке 3.2

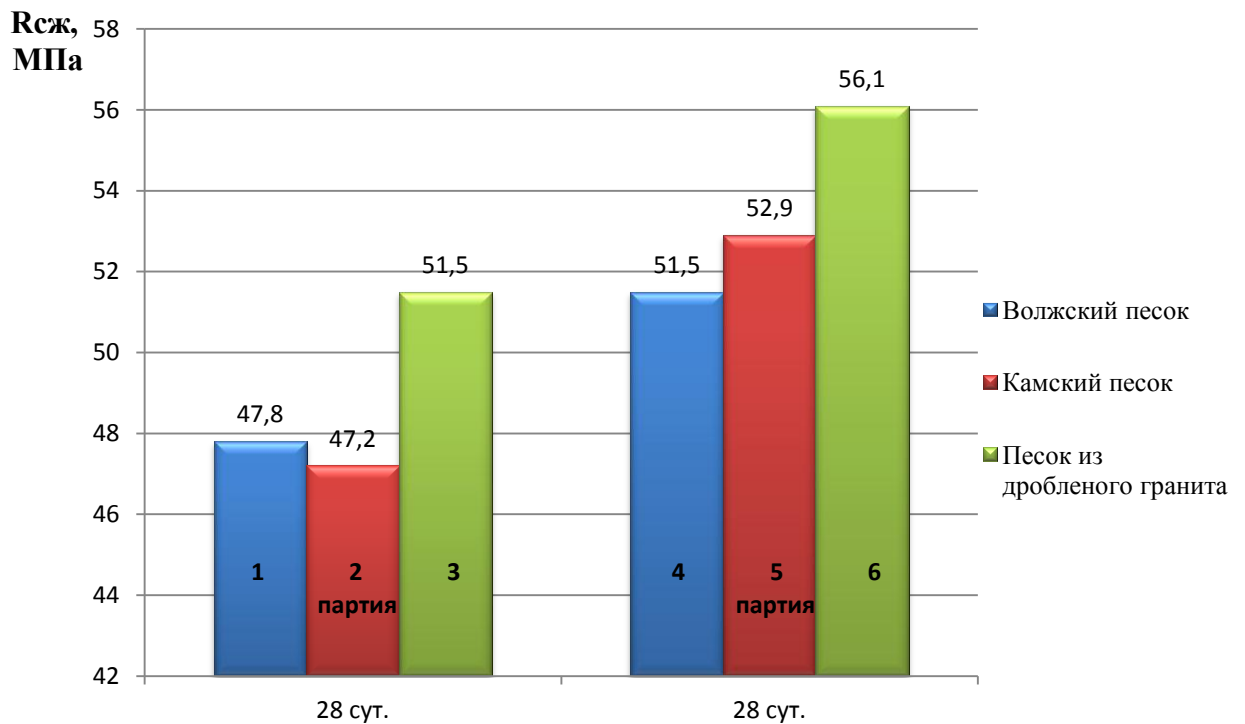


Рисунок 3.2 - Зависимость прочности бетона от вида заполнителя

Согласно результатам испытаний, прочность бетонных образцов на дробленом песке из гранита выше, чем прочность образцов на Волжском и Камском песках.

Результаты опытов по определению прочности при сжатии, растяжении образцов песчаного бетона на плотном нарушенном граните показывают, что песчаные бетоны на дробленом песке из выветренных гранитов имеют значительно меньшую прочность при сжатии и растяжении.

Основной причиной существенного снижения прочности песчаных бетонов на дробленом песке из нарушенных гранитов является высокое (до 15-20%) содержание биотита и прерывистый контакт его с цементным камнем.

Наибольший предел прочности показали образцы бетона (в возрасте 28 сут.) на песке из дробленого гранита (51,5 МПа), далее в порядке убывания – на Волжском (47,8 МПа) и Камском песке (47,2 МПа).

Применяя в качестве заполнителя бетона песок фр. 0,315-0,63мм данных песков (п. 4-6), наилучший результат по прочности так же показал бетон, где в качестве заполнителя использовался дробленый песок из гранита.

Прочность образцов бетона на Волжском и Камском песках в возрасте 7 суток практически одинакова, но к 14 сут. прочность быстрее набирают образцы бетона на Волжском песке, чем на Камском песке, и далее прочность этих бетонов практически одинакова.

На дробленом песке из гранита в 7 суток бетон набирает прочность 79% от марочной прочности данного бетона. После 28 суток прочность бетона продолжает расти и к 120 суткам достигает 57 МПа.

Для исследования влияния на прочность бетона песков разной крупности были изготовлены бетонные образцы партий 7-10 бетонных образцов. В данных бетонных образцах в качестве заполнителя был использован Камский песок фракций 0,16-0,315мм, 0,315-0,63мм, 0,63-1,25мм, 1,25-2,5мм и 2,5-5мм.

Рассмотрены составы бетонных смесей в соотношении Ц:П=1:2 при В/Ц = 0,5, данные по составу бетонной смеси указаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Состав бетонной смеси

№ партии	7	5	8	9	10
Единица измерения	кг/м ³				
Цемент	625	621	625	641	641
Песок Волжский	-	-	-	-	-
Песок Камский	1250 (фр. 0,16-0,315)	1241 (фр. 0,315-0,63)	1250 (фр. 0,63-1,25)	1283 (фр. 1,25-2,5)	1283 (фр. 2,5-5)
Песок дробленый из гранита	-	-	-	-	-
Вода	312	310	312	321	321
В/Ц	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2187	2172	2187	2245	2245
Распływ, см	10	10	12,5	9,5	13

Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии				
	7	5	8	9	10
Предел прочности при сжатии, R _{сж} , МПа					
28 сут.	50,3	52,9	50,3	42,8	35,5
Предел прочности при изгибе, R _{изг} , МПа					
28 сут.	60,94	56,25	60,94	60,94	51,56

Результаты испытаний МЗБ с использованием в качестве заполнителя песков разной крупности представлены на рисунке 3.3.

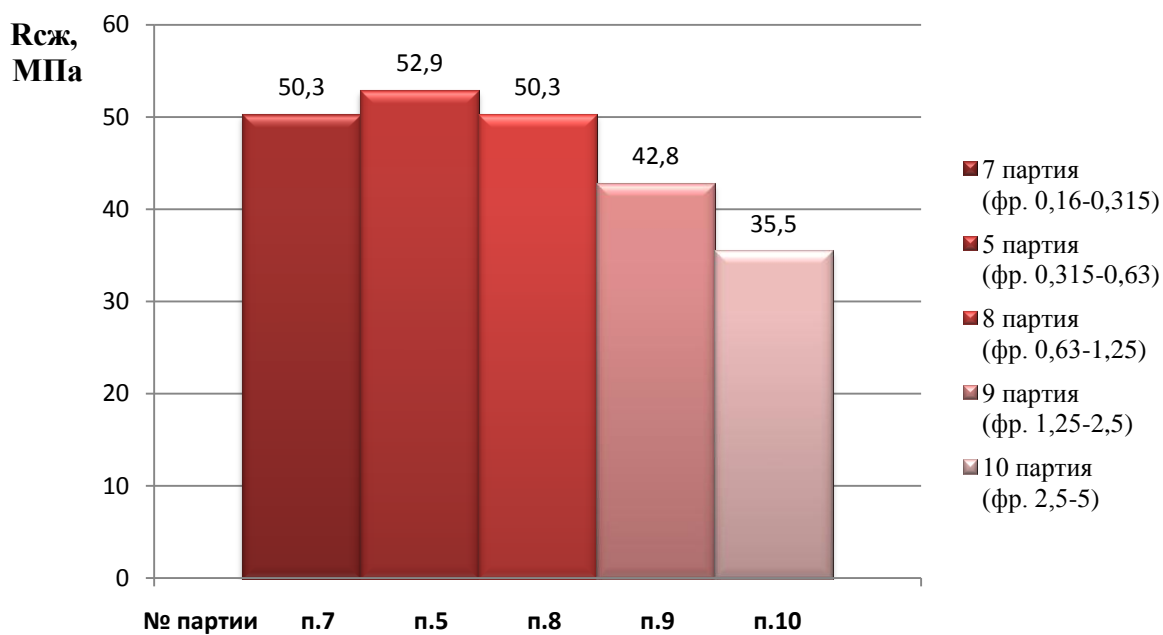


Рисунок 3.3 – Прочность бетона на песке разной крупности

По результатам испытаний бетонных образцов видно, что наибольшую прочность показали образцы п.5, которые изготовлены с использованием песка крупности 0,315-0,63 мм (52,9МПа). Наименьшую прочность имеют образцы бетона с использованием в качестве заполнителя песка крупностью 2,5-5мм.

Образцы бетона после испытания на прочность представлены на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Образцы бетона после испытания на прочность

Бетоны, изготовленные из песка мелких фракций 0,16-0,315мм; 0,315-0,63мм и 0,63-1,25мм показывают прочность в диапазоне 50,3-52,9 МПа.

Практически прочность бетона снижается с использованием в качестве заполнителя песка более крупных фракций. Снижение прочности бетона, изготовленного на песке фракции 1,25-2,5мм, наблюдается на 15%, на песке фракции 2,5-5мм, - на 30%, по сравнению с прочностью бетона на фракции 0,63-1,25мм. Таким образом, одним из условий высокой прочности МЗБ является крупность зерен песка, как следствие - увеличение крупности песка ведет за собой снижение прочности мелкозернистого бетона. В данном случае оптимальная крупность песка составляет в диапазоне 0,16-1,25мм.

Исследована контактная зона между заполнителем и цементным камнем при помощи электронного растрового настольного микроскопа JEOL

6000 при увеличении от 20 до 1500 раз. Микроскоп JEOL представлен на рисунке 3.5.

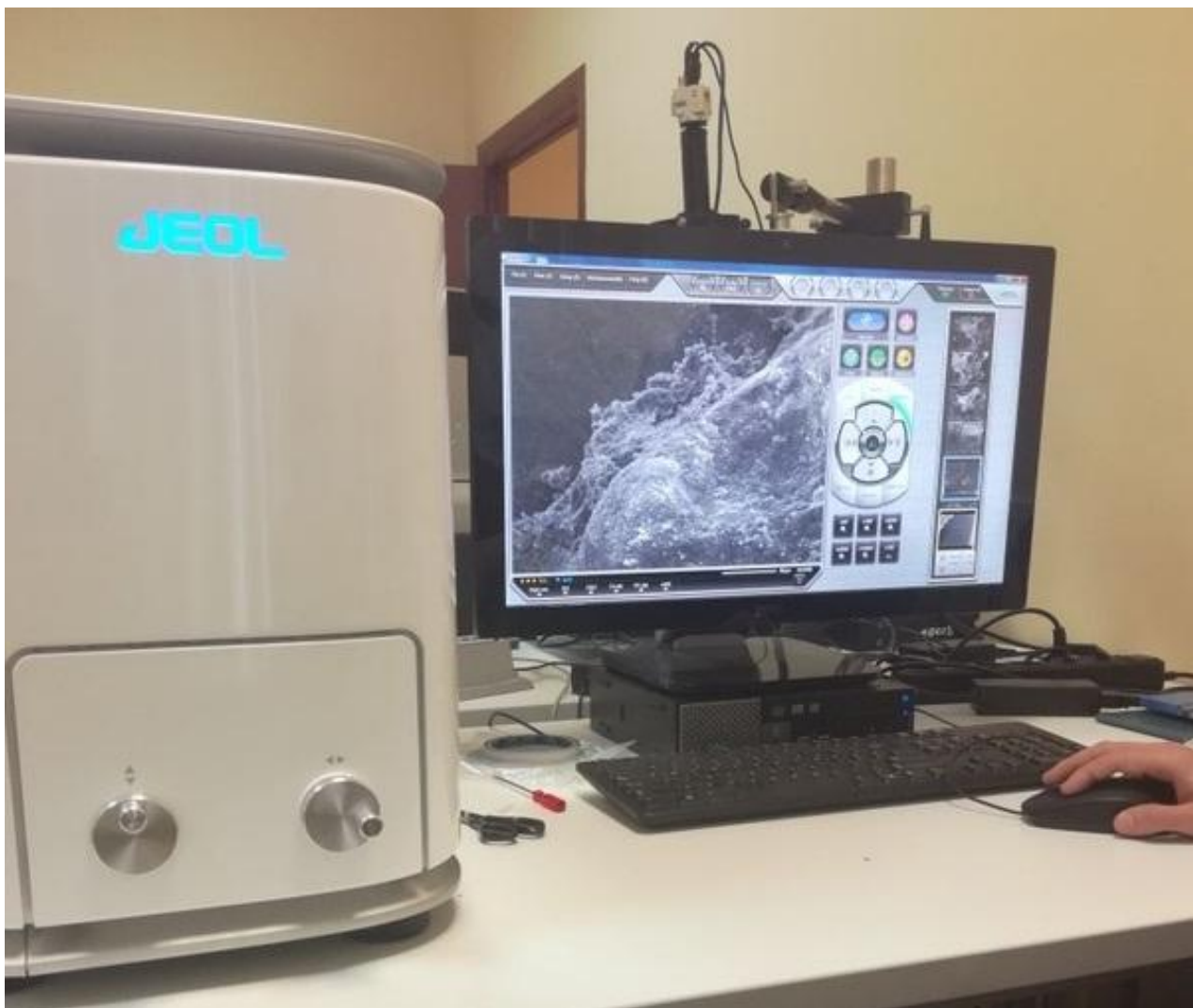


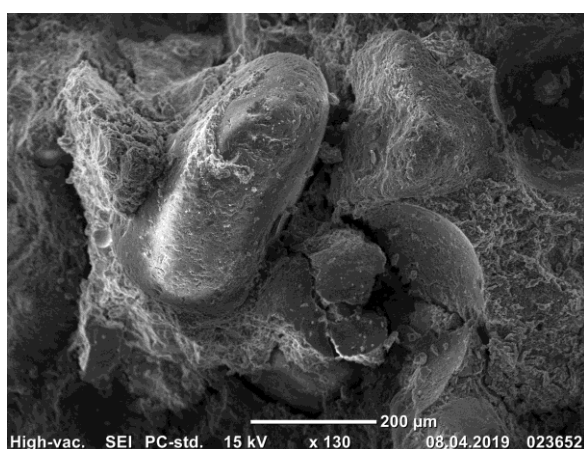
Рисунок 3.5 – Электронный растровый микроскоп JEOL 6000

Отношение размера изображения на мониторе к размеру раstra на образце определяет увеличение микроскопа. Создание устойчивого изображения диэлектрических объектов в режиме «low vacuum» обеспечивается благодаря напуску воздуха в камеру образца, в результате чего сохраняется возможность наблюдения непроводящих объектов без предварительного напыления токопроводящего покрытия.

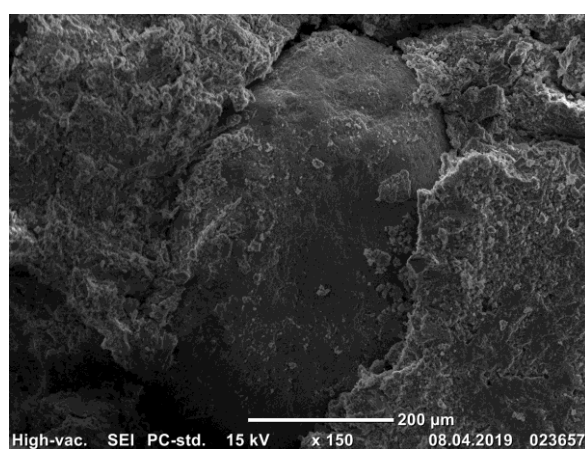
Микроскопическое изучение образцов бетона на природных песках после испытания на прочность показывает, что в большинстве случаев разрушение происходит по зоне контакта заполнитель – цементный камень, в

результате чего зерна песка оказываются вырванными из «гнезд» в цементном камне.

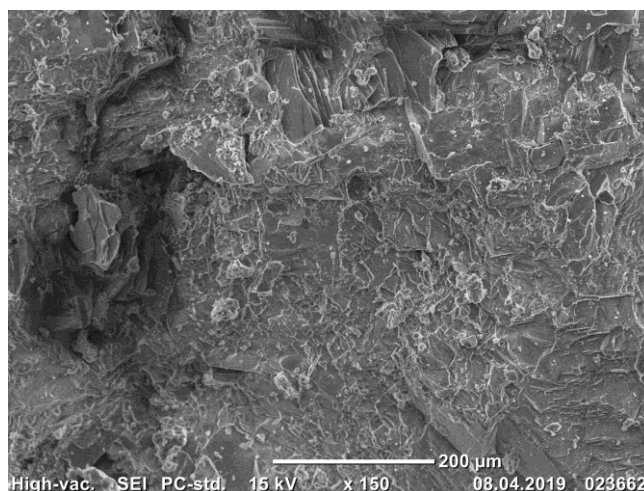
Контакты между зернами природного заполнителя и цементного камнем в основном неровные, плотные и прочные, видны новообразования гидрата окиси кальция. На отдельных участках зоны контакта отмечается отсутствие сцепления зерен песка с цементным камнем в виде узкой прерывистой или сплошной полосы [43]. Микроструктура образцов бетонного камня представлена на рисунке 3.6.



а)



б)



в)

а) Волжский песок; б) Камский песок; в) дробленный песок из гранита.

Рисунок 3.6 – Микроструктура образцов бетонного камня

Контакты цементного камня с зернами дробленого песка из гранитов хорошие, плотные. Цементный камень проникает в неровности зерен песка.

Данные по составу бетонной смеси указаны в таблице 3.5. Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.5 - Состав бетонной смеси

№ партии	11	12	13	14	15
	Ц:П = 1:1	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:3	Ц:П = 1:1,5	Ц:П = 1:2,5
Единица измерения	кг/м ³				
Цемент	1188	1188	1188	1188	1188
Песок Волжский	1188	2376	3564	1782	2970
Вода	500	650	900	575	775
В/Ц	0,42	0,547	0,757	0,484	0,652
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2143	2157	2128	2150	2143
Распływ на встряхивающем столике, см	20	21	21	20,5	21

Таблица 3.6 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии				
	11	12	13	14	15
R _{сж} , МПа					
7 сут.	40,2	33,5	14,7	36,9	24,1
14 сут.	51,6	40,2	23,6	45,9	31,9
28 сут.	56,7	42,5	27,1	49,6	34,8

Данные по составу бетонной смеси указаны в таблице 3.7. Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.7 - Состав бетонной смеси

№ партии	16	17	18	19	20
	Ц:П = 1:1	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:3	Ц:П = 1:1,5	Ц:П = 1:2,5
Единица измерения	кг/м ³				
Цемент	1485	1125	900	1305	1013
Песок Камский (фр. 0-5)	1485	2250	2700	1868	2475
Вода	600	500	455	550	480
В/Ц	0,4	0,444	0,505	0,42	0,474
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2195	2245	2303	2220	2274
Распływ на встряхивающем столике, см	25	21	20	23	20,5

Прочность бетона на дробленном песке из гранита значительно выше, чем на природных песках. Это объясняется не только качеством контактной зоны, но и шероховатостью поверхности, формой зерен дробленных песков и прочностью исходных горных пород.

Таблица 3.8 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии				
	16	17	18	19	20
	$R_{сж}$, МПа				
7 сут.	44,2	39,0	34,7	41,6	36,9
14 сут.	49,5	40,8	42,0	45,2	41,4
28 сут.	55,3	45,4	43,4	50,4	44,4

Данные по составу бетонной смеси указаны в таблице 3.9. Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.9 - Состав бетонной смеси

№ партии	21	22	23
	Ц:П = 1:3	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2,5
Единица измерения	кг/м ³		
Цемент	900	1125	1013
Песок дробленный из гранита	2700	2250	2475
Вода	620	563	592
В/Ц	0,689	0,5	0,584
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2216	2245	2231
Распływ на встряхивающем столике, мм	20,5	21	20,5

Таблица 3.10 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии		
	21	22	23
	$R_{сж}$, МПа		
7 сут.	21,3	40,8	31,1
14 сут.	28,6	49,5	39,1
28 сут.	31,2	57,2	44,2

3.3 Исследование влияния добавок и модификаторов на свойства мелкозернистого бетона

Микроскопическое изучение образцов бетона на природных песках после испытания на прочность показывает, что в большинстве случаев разрушение происходит по зоне контакта заполнитель – цементный камень, в результате чего зерна песка оказываются вырванными из «гнезд» в цементном камне.

Данные по составу бетонной смеси с заполнителем из Камского песка указаны в таблице 3.11 Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.12.

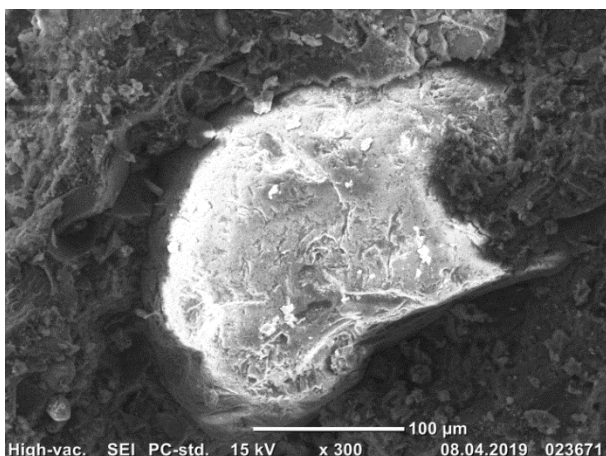
Таблица №3.11 - Состав бетонной смеси

№ партии	24	25	26
	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2
	10% МК	20% МК	30% МК
Единица измерения	кг/м ³		
Цемент	1012	900	787
МК	113	225	338
Песок Камский (фр. 0-5)	2250	2250	2250
Вода	490	530	600
Суперпластификатор «cemmix» Cem Plast	11 мл - 1% от (Ц+МК)	11 мл - 1% от (Ц+МК)	11 мл - 1% от (Ц+МК)
В/Ц	0,436	0,471	0,533
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2271	2169	2157
Распływ на встряхивающем столике, см	22	21,5	22

Таблица №3.12 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии		
	24	25	26
	R _{сж} , МПа		
7 сут.	36,0	25,2	19,0
14 сут.	41,1	31,2	25,5
28 сут.	48,2	34,7	30,4

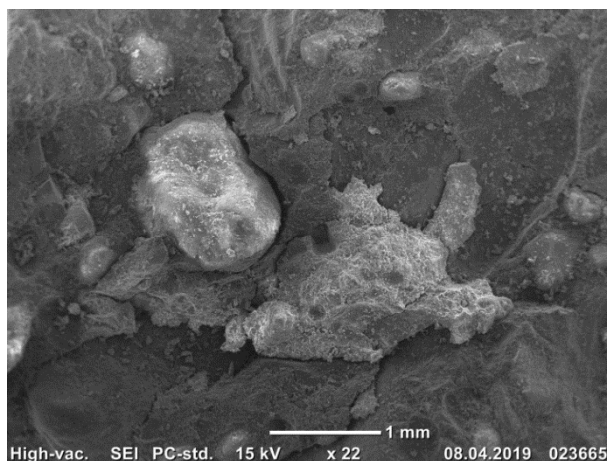
На рисунке 3.7 представлена контактная зона зерна Камского песка и цементного камня после испытания на прочность. Контакты между зернами песка и цементного камня плотные и прочные, разрушение происходит в основном в зоне контакта заполнитель - цементный камень. На некоторых участках зоны контакта наблюдается отсутствие сцепления зерен песка с цементным камнем в виде узкой прерывистой или сплошной полосы.



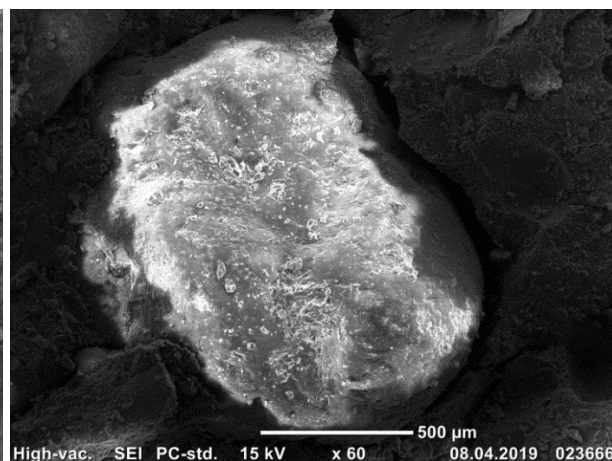
а)



б)



в)



г)

- а) Зерно Камского песка в цементном камне при увеличении в 300 раз;
- б) Структура цементного камня при увеличении в 300 раз;
- в) Зерно Камского песка в цементном камне при увеличении в 22 раза;
- г) Зона контакта зерна Камского песка и цементного камня при увеличении в 60 раз

Рисунок 3.7 –Микроструктура образцов бетонного камня (партия № 28)

В составе данной партии бетона находится микрокремнезем в количестве 30% от массы цемента и гиперпластификатор Sika в количестве 1% от массы цемента (+МК). В результате исследования под микроскопом при увеличении в 300 раз наблюдается покрытие зерна Камского песка полимерной составляющей гиперпластификатора Sika (рис. 3.6, а). Граница между зерном песка и цементного камня четкая, наблюдается плотное сцепление.

Данные по составу бетонной смеси с заполнителем из Камского песка указаны в таблице 3.13 Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.13 - Состав бетонной смеси

№ партии	27	28	29	30
	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2
	30%МК	30%МК	30%МК	30%МК
Единица измерения	кг/м ³			
Цемент	787	866	787	787
МК	338	372	338	338
Песок Камский (фр. 0-5)	2250	2250	2250	2250
Вода	495	540	690	650
Суперпластификатор	11 мл Stachement - 1% от (Ц+МК)	11 мл Sika - 1% от (Ц+МК)	11 мл ЦСПК 1% от (Ц+МК)	11 мл СП-2 1% от (Ц+МК)
В/Ц	0,44	0,436	0,613	0,578
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2192	2216	2055	1982
Распływ на встряхивающем столике, см	22,5	27,5	21,5	21,5

Таблица 3.14 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии			
	27	28	29	30
	R _{сж} , МПа			
7 сут.	31,4	37,3	13,9	13,0
14 сут.	41,1	47,7	19,9	19,8
28 сут.	45,1	55,9	23,8	23,1

Данные по составу бетонной смеси с заполнителем из Камского песка указаны в таблице 3.15 Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.16.

Таблица 3.15 - Состав бетонной смеси

№ партии	31	32	33
	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2	(Ц+МК):П = 1:2
	30%МК	30%МК	30%МК
Единица измерения	кг/м ³		
Цемент	787	787	787
МК	338	338	338
Песок дробленый из гранита	2250	2250	2250
Вода	700	600	600
Суперпластификатор	11 мл Plast - 1% от (Ц+МК)	11 мл Stachement - 1% от (Ц+МК)	11 мл Sika - 1% от (Ц+МК)
В/Ц	0,622	0,533	0,533
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2064	2201	2216
Распływ на встряхивающем столике, см	20,5	24	28

Таблица 3.16 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии		
	31	32	33
	R _{сж} , МПа		
7 сут.	16,7	27,2	27,4
14 сут.	24,7	35,9	34,9
28 сут.	28,4	42,8	41,1

Для сравнения образцов бетона на заполнителе из Камского песка (партии №26-28) и образцов на заполнителе – песок дробленый из гранита (партии №31-33) построена диаграмма. Зависимость прочности образцов от вида заполнителя и пластификатора представлена на рисунке 3.8.

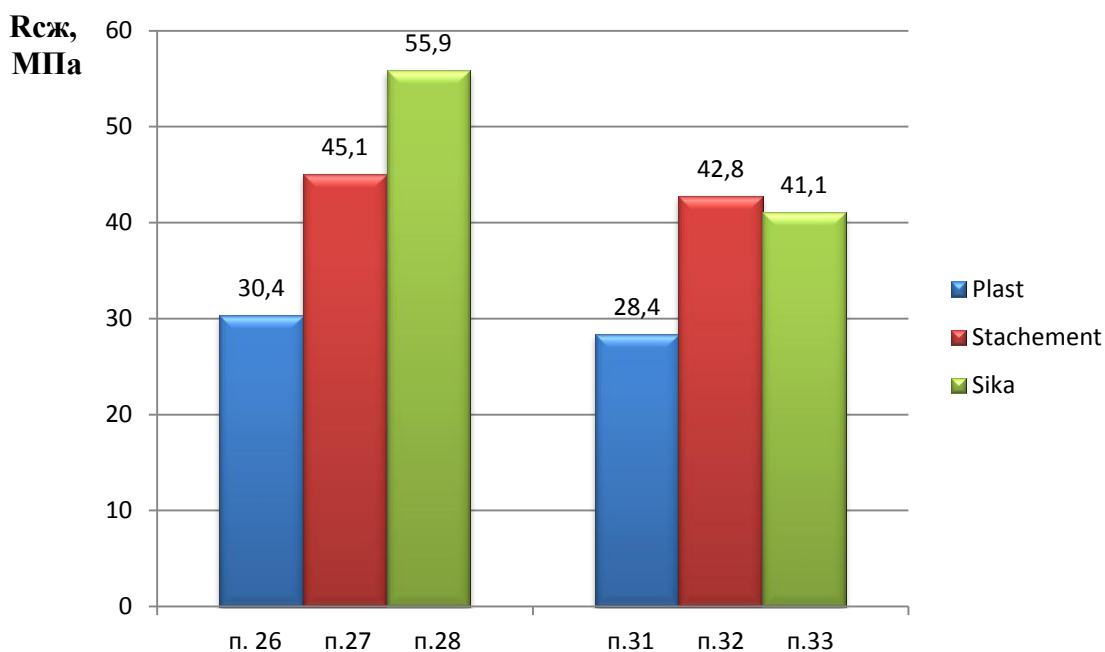


Рисунок 3.8 – Зависимость прочности образцов от вида заполнителя и пластификатора

Данные образцы содержат микрокремнезем в количестве 30% и пластификаторы (СемPlast, Stachement, Sika) в количестве 1% от массы (Ц+МК).

Согласно результатам испытаний, прочность бетонных образцов на Камском песке (партии №26-28) выше, чем прочность образцов на дробленом песке из гранита (партии №31-33). Наибольший предел прочности показали образцы бетона (в возрасте 28 сут.) на заполнителе из Камского песка (55,9 МПа) с гиперпластификатором – Sika.

Данные по составу бетонной смеси с заполнителем из Камского песка с содержанием микрокремнезема в количестве 10%, 20% и 30% и пластификаторов (СемPlast, Stachement, Sika) в количестве 1% от массы (Ц+МК) указаны в таблице 3.17.

Для определения зависимости прочности от содержания микрокремнезема в бетонной смеси и вида пластификатора проведены испытания на прочность. Результаты испытания образцов на прочность представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.17 - Состав бетонной смеси

№ партии	34	35	36	37	38
	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:2
	10% МК	20%МК	30%МК	30%МК	30%МК
Единица измерения	кг/м ³				
Цемент (Ульяновск)	1012	900	787	787	787
МК	113	225	338	338	338
Песок Камский (фр. 0-5)	2250	2250	2250	2250	2250
Вода	490	570	630	450	458
Суперпластификатор	11 мл CemPlast - 1% от (Ц+МК)	11 мл CemPlast - 1% от (Ц+МК)	11 мл CemPlast - 1% от (Ц+МК)	11 мл Stachement - 1% от (Ц+МК)	11 мл Sika - 1% от (Ц+МК)
В/Ц	0,436	0,507	0,56	0,4	0,407
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2201	2142	2128	2216	2259
Распływ на встряхивающем столике, мм	23,5	22,0	20,5	23,0	23,0

Таблица 3.18 - Прочность бетона

Возраст образцов	№ партии				
	34	35	36	37	38
	R _{сж} , МПа				
7 сут.	40,8	32,6	25,8	45,1	48,6
14 сут.	44,2	40,8	29,8	50,0	54,6
28 сут.	56,4	44,2	36,6	61,0	68,0

Для определения зависимости прочности бетона от вида цемента сравним партии №26-28 и партии №36-38. Данные образцы изготовлены с использованием в качестве заполнителя – Камский песок, микрокремнезем в количестве 30% и пластификаторов (CemPlast, Stachement, Sika) в количестве 1% от массы (Ц+МК). Зависимость прочности мелкозернистого бетона от вида цемента и вида пластификатора представлена на рисунке 3.9.

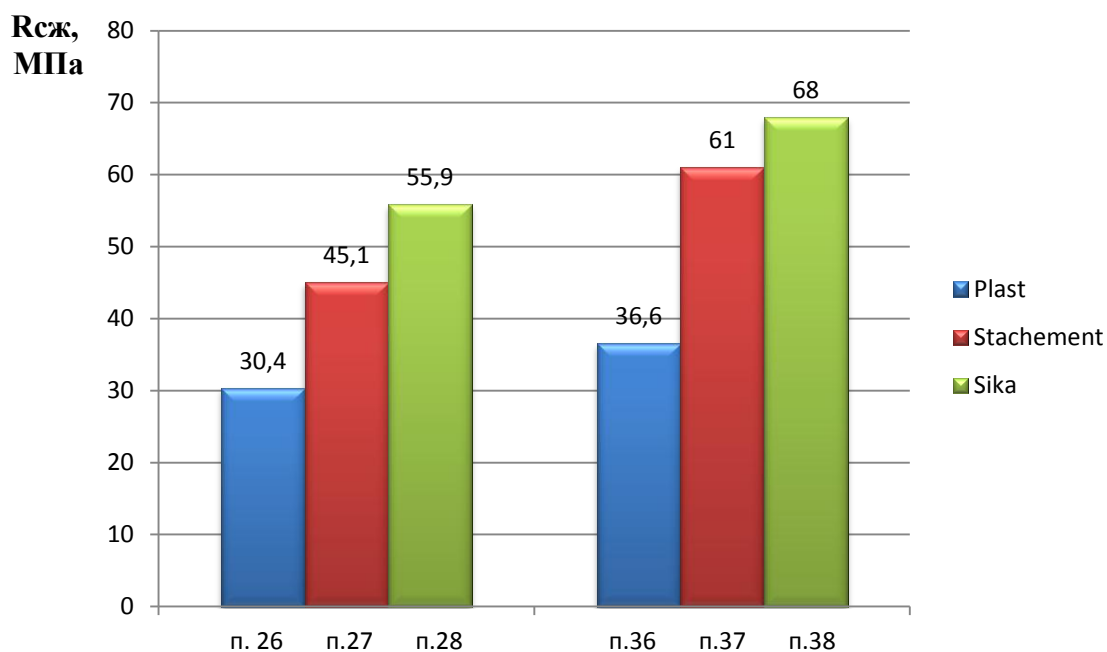


Рисунок 3.9 – Зависимость прочности образцов от вида цемента и пластификатора

Согласно результатам испытаний на прочность бетонных образцов с заполнителем из камского песка с быстротвердеющим портландцементом ЦЕМ I 42,5Б, показали наименьший показатель прочности на пластификаторе Plast (п.26) – 30,4 МПа, прочность образцов с пластификатором Stachement (п.27) по результатам испытаний возрастает на 48,4% (45,1 МПа), далее прочность образцов с пластификатором Sika (п.28) возрастает ещё на 23,9% (55,9 МПа). Из графика зависимости прочности образцов от вида цемента и пластификатора видно, что наибольший результат набора прочности показали образцы партии 28, состав которых: ЦЕМ I 42,5Б (70%), микрокремнезём (30%), Камский песок, вода, суперпластификатор Sika.

Прочность образцов с заполнителем из камского песка на быстротвердеющем шлакопортландцементе ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б показали наименьший результат прочности на пластификаторе Plast (п.36) – 36,6 МПа, прочность образцов с пластификатором Stachement (п.37) по результатам испытаний возрастает на 66,7% (61,0 МПа), далее прочность образцов с пластификатором Sika (п.38) возрастает ещё на 11,5% (68,0 МПа). Из графика зависимости прочности образцов от вида цемента и

пластификатора видно, что наибольший результат набора прочности показали образцы партии 38, состав которых: ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б (70%), микрокремнезём (30%), Камский песок, вода, суперпластификатор Sika.

3.4 Разработка состава мелкозернистого бетона

На основании данных, полученных в результате испытаний сведенных в таблицы и графики, следует сделать вывод об оптимальном составе бетонной смеси. Исходя из данных Рис. 3.8, максимальный набор прочности показали образцы партии 38 (68 МПа), в состав которых входит:

- Ц:П=1:2;
- быстротвердеющий портландцемент ЦЕМ I 42,5Б (ГОСТ 31108-2003);
- 30% микрокремнезема
- Суперпластификатор – Sika в кол-ве 1% от (Ц+МК).

В составе полученной бетонной смеси, микрокремнезем в количестве 30% от массы связующего вещества, уплотняет структуру бетона, взаимодействуя с гидроксидом кальция, способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, что влияет на получение в результате бетона высокой прочности.

Суперпластификатор Sika на ранних стадиях взаимодействия цемента с водой дезагрегирует и частично объединяет цементные частицы до крупных образований, а также обволакивает их поверхности. При этом снижаются силы межмолекулярного притяжения (действие данного суперпластификатора происходит через 30-40 сек. после замешивания бетонного теста).

Это способствует замедлению процесса структурообразования, но обеспечивает более полное протекание процессов гидратации и образование однородной мелкокристаллической структуры. В результате адсорбции, количество воды сольватных оболочек снижается, смесь разжижается и подвижность её резко возрастает.

В результате, полученная смесь обладает плотной структурой, благодаря действию суперпластификатора - повышается подвижность и удобоукладываемость смеси.

Выводы по третьей главе:

1. Проведены исследования влияния вида мелкого заполнителя и его фракции на прочность бетона. Выявлено снижение прочности при увеличении фракции мелкого заполнителя (при данном исследовании в качестве мелкого заполнителя был взят песок Камского месторождения).

2. Исследовано и определено оптимальное процентное соотношение минеральной добавки и цемента.

3. Исследовано влияние видов суперпластификаторов на бетонную смесь и прочность полученных образцов.

4. Определен оптимальный состав бетонной смеси для получения высокопрочных образцов мелкозернистого бетона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований следует ряд выводов:

Анализ физико-технических свойств выявил отличия физико-механических свойств мелкозернистого бетона от обычных тяжелых бетонов. Физико-механические свойства мелкозернистого бетона (как и бетона на крупном заполнителе) зависят от его состава, соотношения, количества заполнителей, химических добавок, в том числе от модификаторов.

Мелкозернистые бетоны наиболее эффективны при бетонировании густоармированных конструкций, а так же они обладают достаточно большим количеством преимуществ, что позволяют конкурировать с остальными разновидностями бетонов. Именно поэтому его активно используют в самых разнообразных областях строительства.

Проведена оценка влияния цемента и пластификаторов на свойства и прочность бетона. Прочностные характеристики зависят от тонкости помола и количества цемента в бетонной смеси, а пластификаторы в свою очередь влияют на структуру смеси, удобоукладываемость и пластичность

Одним их важных факторов, влияющих на прочность бетона является водоцементное отношение. При малом содержании цемента в смеси – удобоукладываемость снижается, затрудняется ее укладка, а так же это приводит к понижению прочности и плотности бетона. Чем больше содержится цемента в смеси, тем выше количество избыточной воды в бетоне, соответственно происходит увеличение пористости и понижение его прочности. Поэтому следует применять суперпластификаторы для снижения содержания воды в бетонной смеси.

При применении суперпластификаторов, происходит не только сохранение всех заданных характеристик — удобоукладываемости, плотности, прочности и долговечности бетона, но и оптимизация их в необходимых пределах и соотношениях.

А так же проведены исследования влияния мелкого заполнителя и его фракции на прочность бетона. Исследовано и определено оптимальное процентное соотношение модификатора и цемента.

Исследовано влияние видов суперпластификаторов, их воздействие на бетонную смесь, и прочность полученных образцов.

В результате исследований получен оптимальный состав бетонной смеси для получения высокопрочного мелкозернистого бетона. Полученная бетонная смесь обладает плотной структурой и благодаря действию суперпластификатора обладает хорошей подвижностью и удобоукладываемостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алимов, Л. А., Воронин, В.В. Строительные материалы : учеб.пособие для бакалавров, обуч. по направлению "Строительство"/ Л.А. Алимов, В.В. Воронин. - М.: Академия, 2012. 319 с.
2. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона/ И.Н Ахвердов. - М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
3. Баженов, Ю.М., Демьянова, В.С. Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны/ Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
4. Баженов, Ю.М., Лукутцова, Н.П., Матвеева, Е.Г. Исследование наномодифицированного мелкозернистого бетона /Ю.М. Баженов, Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева// Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 415-421.
5. Баженов, Ю.М., Харченко, А.И. Безусадочные мелкозернистые бетоны с использованием некондиционных песков /Ю.М. Баженов, А.И. Харченко // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 86-88.
6. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. - М. : Изд – во АСВ. – 2011. – 528 с.
7. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны : учеб.пособие для студентов специальности "Строительство" / В.Г. Батраков. - М.: Стройиздат, 1990. 395 с.
8. Боженков, П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология / П.И. Боженков. - М.: АСВ, 1994. 264 с.
9. Брыков, А.С. Гидратация портландцемента : учеб.пособие. С-Петербург. / А.С. Брыков. - М.: СПбГТИ(ТУ), 2008. 32 с.
10. Горчаков, Г. И., Баженов, М.Ю. Строительные материалы : учеб.пособие. / Г.И. Горчаков, М.Ю. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. 686 с.
11. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 32 с.

12. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. Введ. 2015-07-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 28 с.
13. ГОСТ 12730.3-78 Бетоны. Метод определения водопоглощения. - Введ. 2007-06-01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 4 с.
14. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Введ. 2011-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 10 с.
15. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Введ. 2016-09-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 10 с.
16. ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава. Введ. 1987-01-01. – М. : Стандартинформ, 2006. – 6 с.
17. ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия. Введ. 2015-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 41 с.
18. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. – Введ. 2012-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 16 с.
19. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. Введ. 1989-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 25 с.
20. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия (с поправкой). Введ. 2015-04-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 7 с.
21. Гусенков, А. С. Модифицированные мелкозернистые бетоны на основе отсевов дробления известняка : диссертация к.т.н. / А.С. Гусенков. - М.: РГБ ОД,2009. 158с.
22. Каприелов, С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов / С.С. Каприелов // Бетон и железобетон. 1995. № 4. С. 16-20.
23. Каприелов, С.С., Шейнфельд, А.В. Бетоны нового поколения с высокими эксплуатационными свойствами / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Долговечность и защита конструкций от коррозии. 1999. №4. С. 191-196.

24. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы : учеб.-справ. пособие. Ростов-на-Дону / Л.И. Касторных. - М.: Феникс, 2005. 221 с.
25. Комохов, П.Г. Классика и современность бетона / П.Г. Комохов // Сухие строительные смеси и новые технологии в строительстве. 2002. №1. с. 10-14.
26. Кононова, О.В., Черепов, В.Д., Иванов, Н.А. Полимерцементные композиции на основе карбонатных пород / О.В. Кононова, В.Д. Черепов, Н.А. Иванов // Материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции «Четырнадцатые Вавиловские чтения. Россия в глобальном мире: вызовы и перспективы развития». 2011. №2. С. 175 –178.
27. Коренькова, С.Ф, Анпилов, С.М., Лукоянчева, С.М., Веревкин, О.А. Современные строительные материалы. Самара / С.Ф. Коренькова, С.М. Анпилов, С.М. Лукоянчева, О.А. Веревкин. - М.: Стройиздат, 2001. 129 с.
28. Лесовик, Р.В. Мелкозернистый бетон для дорожного строительства. / Р.В. Лесовик // Известия вузов. Строительство. 2003. № 11. С. 92-95.
29. Лесовик, Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках: диссертация д.т.н. Белгород / Р.В. Лесовик. - М.: ОД, 2009. 463 с.
30. Лукутцова, Н.П., Матвеева, Е.Г. Наномодифицированный мелкозернистый бетон / Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева // Вестник МГСУ. 2009. Спецвып. № 3. С. 84-90.
31. Лукутцова, Н.П., Матвеева, Е.Г., Фокин, Д.Е. Исследование мелкозернистого бетона, модифицированного наноструктурной добавкой / Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева, Д.Е. Фокин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 6-11.
32. Львович, К.И. Песчаный бетон и его применение в строительстве. – С-Петербург. / К.И. Львович. - М.: Стройбетон, 2007. 320 с.

33. Магдеев, У.Х., Гольденберг, Л.Б., Магдеев, А.У. Прочность структура и морозостойкость высокопрочного бетона / У.Х. Магдеев, Л.Б. Гольденберг, А.У. Магдеев // Технологии бетонов. 2005. № 2. С. 42-45.
34. Микульский, В.Г. Строительные материалы : (Материаловедение. Строительные материалы) : учеб. для вузов / В.Г. Микульский. - М.: АСВ, 2004. 530 с.
35. Морозов, Н.М., Мугинов, Х.Г., Хозин, В.Г., Антаков, А.Б. Высокопрочные песчаные бетоны для монолитного строительства / Н.М. Морозов, Х.Г. Мугинов, В.Г. Хозин, А.Б. Антаков // Известия КГАСУ. 2012. №2 (20). С. 183-188.
36. Официальный сайт компании ООО «Цеммикс» [Электронный ресурс], - URL : <https://cemmix.ru/catalog/cemplast/> (дата обращения: 15.12.2018).
37. Панченко, А.И., Харченко, И.Я. Мелкозернистый бетон в монолитном строительстве: проблемы, теория и технология эффективного использования. Часть 1 / А.И. Панченко, И.Я. Харченко // Технологии бетонов. 2011. № 5-6. С. 42-44.
38. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: Учеб. пособие для строит, спец. вузов. / И.А. Рыбьев. - М.: Высш.шк., 2003. 701 с.
39. Толыпина, Н.М., Рахимбаев, Ш.М., Карпачева, Е.Н. Об эффективности действия суперпластификаторов в мелкозернистых бетонах в зависимости от вида мелкого заполнителя / Н.М. Толыпина, Ш.М. Рахимбаев, Е.Н. Карпачева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 66-74.
40. Хозин, В.Г., Морозов, Н.М., Мугинов, Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов / В.Г. Хозин, Н.М. Морозов, Х.Г. Мугинов // Строительные материалы. 2010. №9. С. 72-73.
41. Чернышов, Е.М., Потамошнева, Н.Д. Развитие исследований по проблемам структурообразования цементного камня / Е.М. Чернышов, Н.Д. Потамошнева // Актуальные проблемы строительного материаловедения: Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. 1998. №1. С. 4-7.

42. Шишканова, В.Н., Путилова, М.Н. Особенности структуры мелкозернистого бетона и его преимущества / В.Н. Шишканова, М.Н. Путилова // Научно-методический журнал «Наука и образование: новое время», №3, 2018г.
43. Шишканова, В.Н., Путилова, М.Н. Влияние вида заполнителя на прочность мелкозернистого бетона / В.Н. Шишканова, М.Н. Путилова // Научно-методический журнал «Наука и образование: новое время», №2, 2019г.
44. Abramovich, L.A. The efficiency potential of organizational, technological and managerial solutions for non-destructive quality control methods in the construction of monolithic reinforced concrete structures [text] / L.A. Abramovich, B.T. Khasanbievich // International journal of applied engineering research. – 2016. – pp 90 – 111.
45. Ahuja H.N. et al. Project Management: Techniques in Planning and Controlling Construction Project. 2-nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2017. – pp 140 – 145.
46. Joseph J.Waddell, Joseph A. Dobrowolski, «Concrete Construction Handbook», 2011. – pp 95 – 101.
47. Koval, S.B. Analysis of various media concrete penetrating ability depending on different factors affecting water absorption [text] / S.B. Koval, M.N. Kagan // International conference on industrial engineering, icie 2017. – pp 132 – 138.
48. Pilcher R. Principles of Construction Management. London: McGraw-Hill International (UK), 2012. – pp 79 – 95.
49. Geddes D., Provis J.L., Bernal S.A. Effect of calcination method and clay purity on the performance of metakaolin-based geopolymers / D. Geddes, J.L. Provis, S.A. Bernal // International conference on alkali activated materials and geopolymers: versatile materials offering high performance and low emissions. – Issue 5. - 2018. – pp 53 – 57.