

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 Использование техногенных отходов карбонатных пород в  
производстве бетонов

Студент

О.А. Красильникова

(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 использования техногенных отходов в производстве бетонов .....	6
1.1 Комплексное использование карбонатных пород для производства бетона.....	6
1.2 Влияние добавок и гиперпластификаторов на свойства бетонов.....	16
2 Материалы и методы исследования бетона с включением карбонатных пород.....	20
2.1 Материалы применяемые при проведении исследований .....	20
2.2 Методы исследования бетона на основе отсевов дробления карбонатных пород .....	29
3 Разработка составов и исследование свойств бетонов на основе отсевов дробления карбонатных пород .....	39
3.1 Исследование влияния отсевов дробления карбонатных пород в мелком заполнителе на свойства бетона .....	39
3.2 Исследования свойств бетона на основе отсева дробления с применением различного вида пластификаторов.....	46
3.3 Использование отсевов дробления в производстве керамзитобетона ...	58
3.4 Оценка экономической эффективности применения отсевов дробления карбонатных пород в производстве бетонов.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Изменения, которые произошли за последнее время в социальной, экономической и других сферах деятельности общества привели к значимому повышению технических требований, которые предъявляются к объектам строительной индустрии, и соответственно - к стройматериалам для строительства. Значительное внимание уделяется рациональному и комплексному использованию сырьевой базы карьеров, так же предъявляются высокие требования к техническим показателям, снижению стоимости объектов капитального строительства, зависящая от стоимости транспортировки, а также распространение и производство экологически чистого сырья для строительства. Актуальной задачей является совокупное использование карбонатной породы.

Карбонатными породами представлено в основном сырье в Самарской области: Сокский и Жигулевский карьер.

Актуальность работы. Настоящая магистерская диссертация была направлена на рациональное использование отсевов дробления карбонатных пород в качестве заполнителя для производства бетонов, исследование физико-механических свойств и уточнение областей его применения при выполнении строительно-монтажных работ.

Главным фактором в области современных строительных материалов является исследование и использование в производстве ресурсосберегающих, экологически чистых, безотходных технологий, направленных на комплексное применение местных минеральных ресурсов.

При переработке карбонатных пород образуется 60-90 млн м<sup>3</sup> /год отсевов дробления, которые используются лишь частично, оставшееся направляется в отвалы. Складируемые в отвалы отсевы дробления карбонатных пород занимают большие площади. Актуальной остается проблема комплексного использования осадочных карбонатных пород. Вопрос имеет существенное значение в связи с тем, что карбонатные породы

распространены во многих регионах Российской Федерации, в том числе и Самарской области.

Степень разработанности темы. Значимый вклад в разработке по решению вопросов применения техногенных отходов карбонатных пород внесли известные советские ученые, такие как Ю.М. Баженов, Г.Р. Буткевич, В.И. Калашников и другие.

Тем не менее в настоящее время вопросы технологии и организации работ по использованию отсевов дробления проработаны недостаточно.

Цель исследований. Проведение экспериментально-теоретических исследований для обоснования возможности применения отсевов дробления карбонатных пород как заполнителя для производства бетона, исследование свойств полученного бетона с применением отсевов дробления карбонатных пород, был уточнен механизм воздействия отсевов дробления карбонатных пород на свойства бетона.

Предметом исследования диссертационной работы являются бетоны на основе отсевов дробления карбонатных пород.

Объект исследования данной работы – технология изготовления бетонов с применением отсевов дробления карбонатных пород.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать свойства отсевов дробления карбонатных пород и доказать вероятность их комплексного применения для получения водостойкого бетона.
2. Изучить воздействие отсевов дробления карбонатных пород на формирование физико-механических свойств бетона.
3. Исследовать закономерности изменения физико-механических свойств бетона на основе отсевов дробления карбонатных пород под воздействием суперпластифицирующих добавок.
4. Подобрать оптимальный состав бетона с повышенными физико-механическими свойствами.

5. Дать оценку технико-экономической эффективности применения разработанного бетона с использованием отсевов дробления карбонатных пород.

Методы исследования. Анализ, синтез, индукция, дедукция, факторный анализ.

Научная новизна.

1. Экспериментально доказана возможность получения тяжелого и легкого бетона на основе отсевов дробления карбонатных пород;

2. Установлена закономерность изменения физико-механических свойств бетона на основе отсевов дробления карбонатных пород с добавлением суперпластификаторов.

Практическая значимость заключается в возможности использования отсевов дробления карбонатных пород для производства бетонных изделий для строительства зданий.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были изложены в двух статьях.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемых источников.

# **1 Теоретические аспекты использования техногенных отходов в производстве бетонов**

## **1.1 Комплексное использование карбонатных пород для производства бетона**

Карбонатные породы распространены во многих регионах Российской Федерации в том числе и Самарской области. Состав минеральных ресурсов в Жигулевском карьероуправлении весьма обширен и они активно используются для производства строительных конструкций.

«Основная цель использования альтернативных материалов - оптимизировать смесь, чтобы наилучшим образом использовать имеющиеся сырьевые материалы.

Известняки и доломиты преобладают в Жигулевском карьере, а так же распространены переходные состояния между ними: доломитовые или доломитистые известняки. Примеси, которые чаще всего встречаются в составе известняка является доломит, глинистые минералы, кварц. Для отсыпок, отмосток, баластного слоя ЖД путей, в качестве заполнителей тяжелого бетона применяется щебень и бутовый камень.[19]»

Перерабатывая карбонатные породы, образуется 60-90 млн м<sup>3</sup> /год отсеков дробления, которые используются лишь частично, оставшееся направляется в отвалы. Складируемые в отвалы отсеки дробления карбонатных пород занимают большие площади.

В силу нерастворимости карбоната кальция, данные соединения могут образовываться преимущественно на поверхности минерала твердых магматических пород (гранит, мрамор и др.). Карбонатные породы на основе метаморфических и осадочных горных пород имеют по сравнению с традиционными заполнителями бетонов на основе магматических горных пород меньшую механическую прочность, тем не менее, обладают существенным преимуществом, выражающимся в их повышенной

химической активности и влиянии на процесс гидратации и кристаллизации [62]».



Рисунок 1.1 – Жигулевское карьероуправление

Согласно схеме автора Куляева В.П. выделяются следующие варианты использования отсевов дробления карбонатных пород представлены на рисунке 1.2 [62].

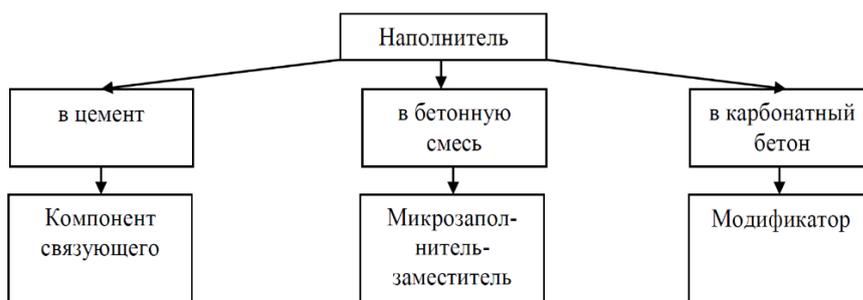


Рисунок 1.2 – Виды использования отсевов дробления карбонатных пород [62]

В результате переработки на Сокском карьероуправлении образуются две группы отходы:

- вскрышные породы и отвалы;
- доломитовая и известняковая мука.

При добыче одного м<sup>3</sup> щебня образуется 24% отсева дробления от общего объема продукции, доломитовая мука (фракции 0-5 мм) считается отходом производства.

Согласно схеме автора Куляева В.П на рисунке 1.3 представлен график использования полезных ископаемых в производстве.

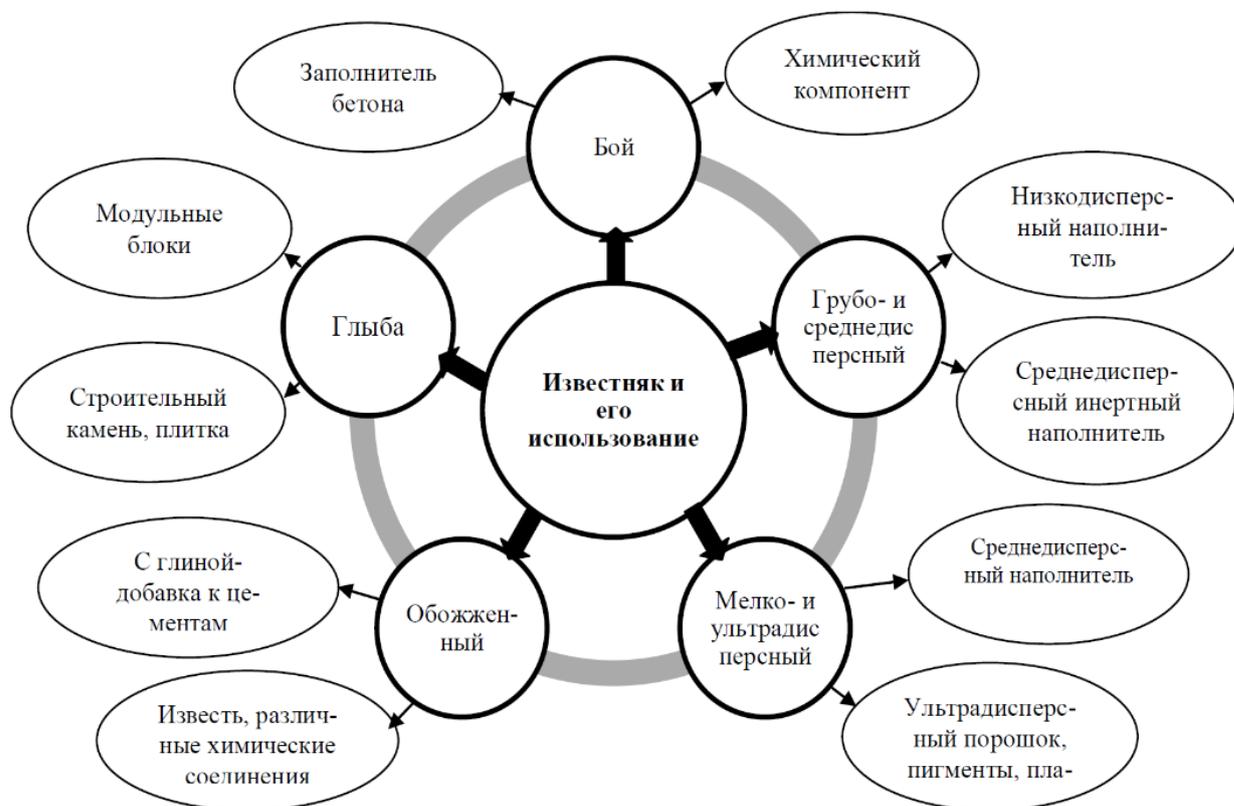


Рисунок 1.3 – График использования карбонатных пород в производстве[62]

В г. Жигулевск выполнили работы по созданию сырьевой базы. “Мука” составляет 23-26% от всего объема, полезная тоща доломитов- 60%, известняки- 26% и переходы-14%.

Высокое содержание  $MgCO_3$  позволяет использовать карбонатные породы в производстве извести, силикатных изделий и прочих строительных материалов.

Согласно схеме автора Куляева В.П применение отсевов дробления в мелкозернистом бетоне представлена на рисунке 1.4.



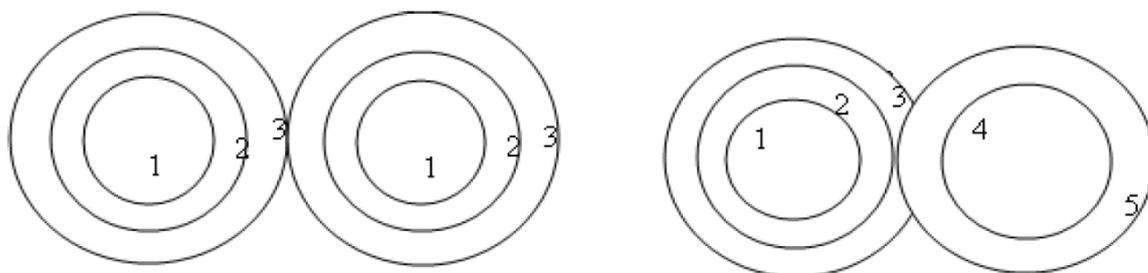
Рисунок 1.4 – Применение отсевов дробления карбонатных пород [62]

«Причиной химической активности карбонатных пород, как указано в статье М.А. Михеенкова [15], что обуславливает их применение в качестве именно добавок, является образование в системе «карбонат-цемент» гидрокарбоалюмината кальция  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$ , гидрокарбоната кальция -  $CaCO_3 \cdot Ca(OH)_2 \cdot H_2O$  и гидросульфосиликата кальция (таумасит)  $CaO \cdot SiO_2 \cdot CaSO_4 \cdot CaCO_3 \cdot 15H_2O$ .

Жилищное и дорожное строительство ведущие сферы использования доломитов и известняков Жигулевского карьера. Второсортный щебень и

отсевы дробления используются в дорожном строительстве. Малая доля доломитовой муки используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения.

Взаимодействие карбонатных и цементных частиц представлена на рисунке 1.5.



1 – частица карбонатной породы, 2 – адсорбционный слой воды с противоионами  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ , 3 – диффузный слой воды с противоионами,  
4 – частица цемента, 5 – слой кристаллогидратов

Рисунок 1.5 - Взаимодействие карбонатных и цементных частиц

« Прочность карбонатных пород также изменяется в широких пределах - от 1 до 250 МПа, а их средняя плотность – от 800 до 2600 кг/м<sup>3</sup>. Пористые известняки имеют прочность от 1 до 15 МПа [3] ».

В Самарской области известняки и доломиты преимущественно используют:

- Щебень (фракций 5-15 мм, 5-20 мм, 20-40 мм, 40-80(70) мм.). По эффективной удельной активности, в пределах пробоотбора, соответствует I-ому классу материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых общественных зданиях.

- бутовый камень

Отсевы дробления (доломитовая мука), используются для:

- производства асфальтобетона,

- керамзитобетона,

- удобрения.

Породы, используемые для производства бетонной смеси, требуют сортировки щебня с целью выделения более прочного. Марка щебня определяется с помощью испытаний по дробимости.

От наличия примесей и структуры зависят свойства карбонатных пород. Средняя плотность зависит колеблется от 800 до 2600 кг/м<sup>3</sup>, а их прочность находится в пределе от 1 до 250 МПа. В Жигулевском карьере присутствует неоднородность пород, распространены переходные состояния пород.

За счет испытания по дробимости определяется марка щебня. Местные щебни используют в производстве бетона и бетонных изделий. Щебень, добываемый в Жигулевском карьероуправлении, имеет марку в основном 400. По морозостойкости щебень ЖКО имеет марку в пределах отF15 доF400.

Повышение показателя морозостойкости возможно с помощью введения в состав бетонной смеси добавки СДО (0,03% от массы цемента).

Применение не морозостойких отсеков дробления возможно с применением поверхностными флюатами последовательной дальнейшей обработкой. Долговечность при эксплуатации возможно повысить с помощью их периодического увлажнения.

«Преимущества карбонатных пород вытекают из поведения карбонатного компонента в структуре бетона и влияния его на прочностные и эксплуатационно-реологические и технологические характеристики бетонов. Известно, что влияние известнякового микронаполнителя на свойства композиционного вяжущего обусловлено:

1. кристаллохимической природой и дисперсностью. При среднеобъемном размере зерен порядка 10 мкм и менее (типичном для известняковой муки), оптимальная концентрация наполнителя снижается до 40 масс.%;
2. воздействием на процесс гидратационного твердения цемента;
3. микроармированием образующегося искусственного карбонатного композита;
4. препятствием распространению в композите микротрещин при действии внешних напряжений и внутренней усадки (контракции);

5. перераспределением механических напряжений между частицами известнякового микронаполнителя и кристаллизующегося цементного камня;
6. лучшим распределением частиц-гранул в объеме композита через оптимизацию гранулометрического состава;
7. активизацией гидратации;
8. созданием зародышей – активных центров (зон) кристаллизации, ускоряющих гидратацию силикатов клинкера, особенно алита и алюмината. С минимумом содержания трехкальциевого алюмината процент прореагировавшего известнякового компонента при гидратации клинкера в возрасте 120 суток составляет не более 20%, оставшаяся часть функционирует как инертный микронаполнитель;
9. улучшенным формированием микроструктуры композита;
10. снижением гидратационных энергозатрат – выравнивания гидратации;
11. экономией активных тонкодисперсных энергетически высокозатратных минеральных вяжущих;
12. более низкими значениями деформаций ползучести и сглаживании негативной роли контракционной усадки в процессе образования микротрещин [62]».

«К преимуществам карбонатных пород можно также отнести их меньшую стоимость по сравнению с другими компонентами бетона, как крупнозернистых фракций заполнителя, так и тонкодисперсных наполнителей, их доступность в качестве местного сырья для производства бетонов с улучшенными свойствами, лучшую обрабатываемость и меньшую плотность по сравнению с другими известными компонентами бетонов. По отношению к свойствам карбонатного композита, известняк может выступать двояко: как инертный материал, заменяющий более плотные и соответственно тяжелые структурные элементы из других минералов, а как тонкодисперсный минеральный наполнитель он, на уровне вяжущего, может вести себя химически активно, по отношению к цементному камню [62]».

В среднем стоимость щебня фракции 5-20 мм составляет 825 р/т, а стоимость тонны отсеков дробления карбонатных пород составляет около 100 рублей.

В наше время массовое и комплексное применение отсеков дробления карбонатных возможно, так как накопленных отсеков достаточно.

Комплексное и целесообразное использование карбонатных пород организует безотходное производство, это позволит решить проблему окружающей среды.

ОДКП является не токсичным материалом пожаровзрывобезопасна.

Почти все месторождения являются комплексными ( несколько полезных компонентов), это направление самое важное в безотходном производстве.

Комплексное использование минеральных ресурсов хорошо применяется в отечественной промышленности. Значительный опыт комплексного использования сырья у предприятия цветной металлургии. Переработка, которая осуществляется комплексно приносит прибыль в несколько десятков миллиардов. При полной переработке полезных ископаемых прибыль вырастет больше чем на 25% при малых трудовых затратах, по мнению специалистов.

Экологические и экономические точки зрения состоит в целостном использовании сырья и имеет большое значение. Сырье во многих отраслях промышленности составляет 60-90 % от доли себестоимости продукции. Важная задача народного хозяйства состоит в том, чтобы рационально использовать сырье и вовлечь его в производство вторичных ресурсов.

Большие площади занимают вскрышные породы, которые образуются в следствии разработки полезных ископаемых. ОДКП не дорогое сырье, которое возможно применять в строительстве, хозяйстве и других отраслях промышленности.

Проблема целесообразного применения отсеков во многих регионах не решена. Отсевы дробления используются частично, оставшееся направляется

в отвалы (60-90 млн м<sup>3</sup>/год). Многолетние накопленные в карьерах отсеvy дробления занимают огромные площади. Экологическая безопасность, возможность снижения транспортных расходов делает отсеvy дробления привлекательным сырьем в строительстве.

У техногенных песков весьма обширен состав. От гранулометрического состава зависит пустотность и удельная поверхность техногенного песка, водопотребность бетонной смеси, следовательно, и большинство других свойств бетонной смеси и бетона. Свойства техногенных песков отличаются от свойств природных песков.

«Природные пески обладают круглой формой (коэффициент формы от 1,2 до 2,2) и гладкой поверхностью, техногенные пески имеют различную форму (форма зерен изменяется от 2 до 4,1), шероховатую поверхность и разные свойства исходных пород. Пески из отсеvов дробления имеют свежеобнаженную поверхность, в следствие чего их свойства различны. Шероховатая поверхность заполнителя тесно связана с водопоглощением: чем выше шероховатость, тем она больше. Чем активнее поверхность материала заполнения, тем толще слой притягиваемой и удерживаемой воды. Вследствие низкого значения цементного водопоглощения большая толщина удерживаемой воды должна уменьшать расслоение бетонной смеси и, в свою очередь, повысить адгезию в растворе или бетоне. Имея высокую вязкость бетонная смесь (в следствие повышенного водопоглощения) и песка с высокой водоудерживающей способностью имеет место неполное смачивание поверхности заполнителя. В связи с этим происходит частичное прилипание бетонной смеси к поверхности заполнителя, это значительно снижает величину сцепления между ними. Из этого следует, что для получения высокомарочного бетона предпочтительнее применять мелкий заполнитель из хорошосмачиваемых пород, которые своей поверхностью удерживают мало воды.[18]»

При производстве щебня применяются плотные карбонатные породы такие как: известняк, мрамор, доломит. Эти породы в больших количествах используются в производстве бетонов.

Высокопрочные фракции щебня сосредоточены в отсевах дробления карбонатных пород. Для производства бетонных смесей и мелкоштучных изделий отсева дробления карбонатных пород самый экономичный материал. Подготовка отсевов дробления главная проблема для карьероуправления.

Улучшает удобоукладываемость бетонной смеси доломитовая мука с применением пластификаторов. Улучшение свойств бетона и снижение расхода воды при применении муки и пластификаторов. Повышенная адгезия между отсевами дробления, в результате повышенного водопоглощения, и цементом, главное преимущество.

Из выше сказанного следует, что использование доломитовой муки целесообразно для наполнителя в бетоне.

Оптимизация технологических процессов производства, так и с созданием новых направлений получения бетона, эффективное решение проблемы ресурсосбережения и охраны труда.

Предприятия, которые перерабатывают полезные ископаемые примерно 5 млрд. м<sup>3</sup> пород, из которых используется не более 9-12%. Из размещенных в отвалах скальных пород около 1 млрд. м<sup>3</sup> пригодно для выпуска щебня.

Решение проблемы ресурсосбережения состоит в разработке энергосберегающих технологий производства бетонов.

Значимый вклад в разработке по решению вопросов применения техногенных отходов карбонатных пород внесли известные советские ученые, такие как Ю.М. Баженова, Г.Р. Буткевича, В.И. Калашникова и другие.

## **1.2 Влияние добавок и гиперпластификаторов на свойства бетонов**

Улучшить свойства бетонов можно за счет применения супер- и гиперпластификаторов.

Сэкономить с точки зрения расхода, повысить качество и долговечность бетонов возможно с низким В/Ц отношением, снизить деформационные процессы, а также понизить время твердения. За счет совершенствования технологии снижается водопотребность, повышается качество и долговечность.

В настоящее время используются комплексные добавки – суперпластификаторы и ускорители набора прочности. Их выгодно использовать для производства сборных железобетонных конструкций. Использование этих добавок значительно сокращает процесс тепловлажностной обработки бетонных изделий. Учитывая то, что в последнее время значительно возросла стоимость энергоносителей, уменьшение затрат на их использование позволяет снижать себестоимость железобетонных конструкций.

В производстве бетонов используются добавки нового поколения. Это пластификаторы с высокой водоредуцирующей способностью. Применение этих добавок позволяет сократить расход цемента на 40-150 кг/куб. м в зависимости от марки бетона.

При производстве железобетонных изделий период укладки бетона относительно короток, если сравнивать его с условиями в строительстве тоннелей или для товарного бетона. Требования к ранней прочности здесь играют самую важную роль.

Простой, доступный и эффективный способ улучшения качества бетонных растворов является применение химических добавок. Применение добавок на данном этапе развития строительства не мало важно, как и основных компонентов.

Добавки для бетона предназначены для:

1. достижения высоких эксплуатационных качеств бетона;
2. ускорения или замедления твердения;
3. улучшения водонепроницаемости;
4. повышения стойкости к температурным перепадам и морозам;
5. исключения необходимости дозированной подачи раствора;
6. получения бетона с заданными характеристиками.

Существует классификация бетонов, ГОСТ 24711 «Добавки для бетонов и строительных растворов и общие технические условия», согласно которой, ПФМ-НЛК относится к виду пластифицирующих водоредуцирующих. Эти свойства ПФМ-НЛК обеспечивают:

- улучшение технологических свойств бетонной смеси
- удобоукладываемости, однородности, нераслаиваемости;
- снижение водопотребности бетонной смеси на 20-25%;
- повышение морозостойкости в 2 раза и более без увеличения расхода цемента;
- увеличение конечных прочностных характеристик на 25% в равноподвижных смесях;
- снижение расхода цемента до 25%, а также ряд других положительных характеристик.

Продукция «БасфК.К.Ц.А» - суперпластификатор Melment L 10/33 получен на основе меламина. Согласно техническим данным этот вид добавок:

- значительно уменьшает количество воды при одинаковой подвижности бетона;
- повышает прочность бетона на сжатие и на изгиб на 25%;
- уменьшает срок снятия формы;
- повышает сопротивление морозу и таянию;
- уменьшает потребность в вибрации.

Рекомендуемая дозировка -  $0,8 \div 1,2\%$  от массы цемента .

Pozzolith MR 55 является жидкой бетонной добавкой; согласно техническим характеристикам добавление ее в бетонную смесь:

- уменьшает количество воды;
- увеличивает набор ранней и конечной прочности;
- обеспечивает высокую начальную прочность, если бетон будет содержать летучую золу.

Одно из наиболее значимых открытий в области добавок стало изобретение суперпластификаторов на основе поликарбоксилата, сделанные за последние годы. По сравнению с уже имеющимися продуктами у них есть большие преимущества. Их существенно изменили за период появления их на рынке, благодаря их сконструированным молекулам. Однородны при любом месте их использования, увеличение времени на выполнение работ, это дало усовершенствование состава пластификатора. Эти добавки сделали возможным создание самоуплотняющегося бетона.

Большое расползание бетонной смеси позволяет снизить трудозатраты, осуществить хорошее уплотнение вокруг арматуры.

Применяя пластификаторы, можно применять отсева дробления карбонатных пород эффективно при изготовлении бетона и железобетона. Есть возможность получить бетоны с высокими прочностными характеристиками применяя химические добавки, при этом уменьшается себестоимость и возможно использование в разных отраслях.

Малоэнергоемкие технологии распространены в результате получения бетонной смеси с хорошей удобоукладываемостью, за счет суперпластификаторов. Применение суперпластификаторов хороший способ повысить удобоукладываемость, без увеличения водоцементного отношения. Суперпластификаторы с отсевами дробления карбонатных пород помогут значительно повысить качество и долговечность.

Не потеряли актуальность нафталиноформальдегидные суперпластификаторы и на сегодняшний день, в составе содержат обычно 10-12%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Растворимость сульфата натрия зависит от температуры: при  $t < 32,4 \text{ }^\circ\text{C}$  из раствора кристаллизуется не соль, а  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Выделение осадка на происходит за счет понижения воды.

За счет применения ПАВ и суперпластификаторов повышается прочность бетонов, понижается водо- и воздухосодержание. Отсутствие виброуплотнения положительная черта самоуплотняющихся бетонов.

Длительно сохраняет удобоукладываемость, обеспечивает темп нарастания заданной прочности, обсуждаемое противоречие при применении добавок. Пропорциональность продолжительности перемешивания и воздухопоглощение- это отрицательное явление. Данные примеры свидетельствуют о том, что прочность бетона будет непрогнозируемо снижаться.

Выводы по первому разделу:

1. Главным достоинством отсевов дробления является то, что они экологически чистый материал, стоимость значительно ниже песка, широко распространены.
2. На основе теоретических исследований были сделаны выводы, что за счет добавления различного вида добавок можно получить экологически чистый материал с высокой конкурентоспособностью.
3. За счет своей шероховатой и не ровной поверхности отсевы дробления обладает лучшим сцеплением с цементом, что в свою очередь может привести к повышению предела прочности при сжатии.

## 2 Материалы и методы исследования бетона с включением карбонатных пород

### 2.1 Материалы применяемые при проведении исследований

Для исследования бетонов применяются Волжский песок и отсеvy дробления карбонатных пород Жигулевского карьероуправления и пластификаторы Plast и Stachement.

В качестве мелкого заполнителя бетонов в соответствии с требованиями ГОСТ 26633-91 применяют мелкие, средние и крупные пески определенного зернового (гранулометрического) состава с модулем крупности  $M_{кр}$  от 1,5 до 3,25.

В качестве крупного заполнителя бетона с применением отсеvов дробления карбонатных пород был использован щебень гранитных пород. Щебень имеет фракцию 5 – 10 мм, что соответствует требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ» (табл. 2.5).

Таблица 2.1 – Технические характеристики гранитного щебня

Наименование технической характеристики	Значение технической характеристики
1	2
Марка по дробимости	M1400
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы	I группа (до 10%)
Марка по истираемости	И1
Насыпная плотность	1470 кг/м <sup>3</sup>
Морозостойкость	F300
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,8

Продолжение таблицы 2.1

1	2
Содержание глины в комках, % по массе	Нет
Содержание зерен слабых пород, % по массе	Нет
Содержание вредных примесей	Нет
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов	Менее 370 Бк/кг, 1 класс для любых видов строительства

В Самарской области отсутствуют природные пески с таким зерновым составом. Поэтому для изготовления растворов и бетонов в регионе используют природный песок Волжского месторождения. Согласно ГОСТ 8736-93 природный песок Волжского месторождения по значению модуля крупности относится к группе песка «очень мелкий». Полный остаток песка на сите ссеткой № 063 не соответствует значениям, указанным в табл. 2 ГОСТ 8736-93. Для производства бетонов повышенной прочности природный качественный песок (природный песок Камского месторождения) железобетонные заводы данного региона вынуждены ввозить за сотни километров. Кроме того, проблема обеспечения предприятий стройиндустрии региона решается использованием дробленых песков высокопрочных пород и может быть решена использованием отсевов дробления местных карбонатных пород.

«При выполнении экспериментальных исследований в качестве вяжущего использовался быстротвердеющий цемент ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» и ГОСТ 30515-97 «Цементы. Общие технические условия» (ЗАО «ЖСМ», г. Жигулевск).[61]»

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	15,2 МПа
28 суток	40,7 МПа
Начало схватывания	164 мин
Конец схватывания	257 мин
Нормальная плотность цементного теста	26,7 %
Наличие ложного схватывания	Отсутствует
Тонкость помола, проход через сито №008	93,5 %
Равномерность изменения объема	0,4 мм
Содержание минеральной добавки (гранулированный шлак + опока)	18,3 %
2 Минералогический состав клинкера (расчетный), %	
Трехкальциевый силикат ( $C_3S$ )	60,0
Двухкальциевый силикат ( $C_2S$ )	15,0
Трехкальциевый алюминат ( $C_3A$ )	7,6
Четырехкальциевый алюмоферрит ( $C_4AF$ )	12,6
3 Санитарно-эпидемиологические свойства цемента	
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$	93,2 Бх/кг

Были исследованы отсеvy дробления, полученных при производстве щебня из карбонатных пород Жигулевского карьера, и для сравнения - природный песок Волжского месторождения с  $M_{кр} = 1,1$  и Камского песка с  $M_{кр} = 3,2$ . Характеристика отсеvов дробления карбонатных пород и песков Волжского и Камского месторождения сведены в таблица 2.3. Минералогический состав отсеvов дробления приведен в таблице 2.4.

Песок из отсевов дробления карбонатных пород по значению модуля крупности относится к группе песка «средний». Отсевы дробления в своем составе содержат 23,79 % зерен крупностью 5-10 мм и 2,52 % - 10-20 мм.

Таблица 2.3 - Характеристика волжского песка и отсевов дробления карбонатных пород

Характеристика	Наименование материала		
	Волжский песок	Отсевы дробления 0-20 мм	Отсевы дробления 0-5 мм
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1470	1600	1490
1	2	3	4
Гранулометрический состав Остатки на ситах, мм (частный/полный)			
20	—	—	—
10	—	$\frac{2,52}{2,52}$	—
5	—	$\frac{23,79}{26,31}$	—
2,5	$\frac{0,4}{0,4}$	$\frac{17,98}{44,29}$	$\frac{24,4}{24,4}$
1,25	$\frac{0,4}{0,8}$	$\frac{11,35}{55,64}$	$\frac{15,4}{39,8}$
0,63	$\frac{1,2}{2,0}$	$\frac{3,83}{59,47}$	$\frac{5,2}{45,0}$
0,315	$\frac{30,0}{32,0}$	$\frac{8,4}{67,87}$	$\frac{11,4}{56,4}$
0,16	$\frac{66,0}{98,0}$	$\frac{8,84}{76,71}$	$\frac{0,16}{68,4}$

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4
<0,16	$\frac{2,0}{100}$	$\frac{23,29}{100}$	$\frac{31,6}{100}$
М кр.	1,3	—	2,34

Сведения о свойствах карбонатных пород представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4 – Минералогический состав отсевов дробления карбонатных пород

Виды пород	Содержание CaCO <sub>3</sub> ,%	Содержание MgCO <sub>3</sub> ,%
Известняк	95 - 100	5 – 0
Доломитистый известняк	75 – 95	25 – 5
Доломитовый известняк	50 - 75	50 – 25
Доломит	0 – 5	100 – 95
Известковистый доломит	5 – 25	95 – 75
Известковый доломит	25 - 50	75 – 50

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

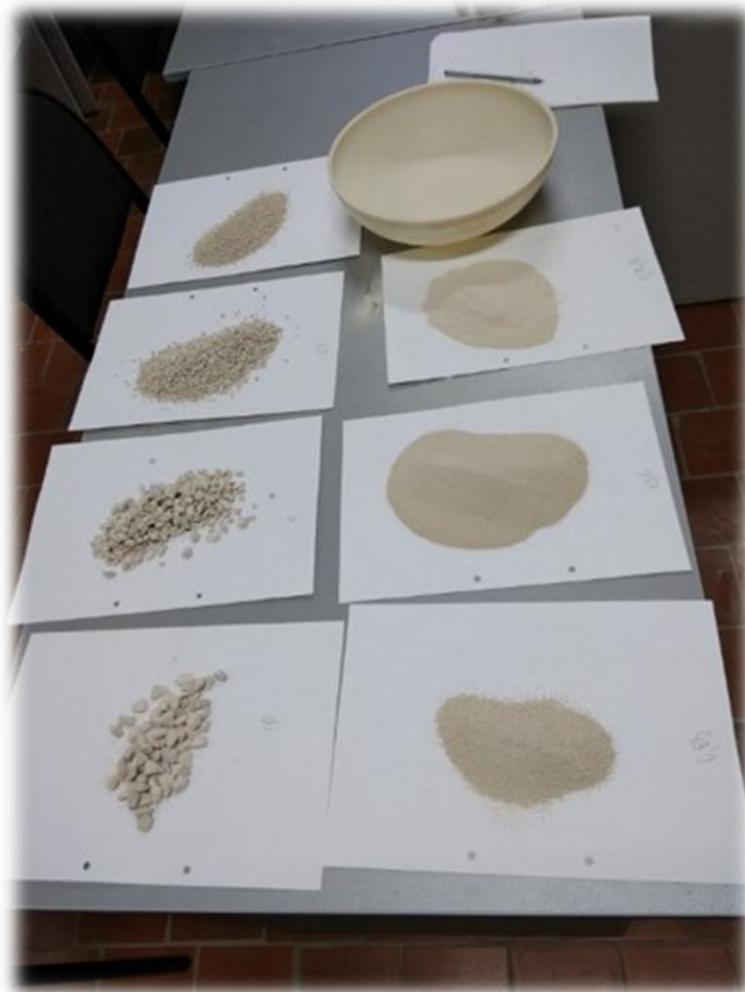


Рисунок 2.1 – Остатки на ситах

Отсевы дробления карбонатных пород оценивали в соответствии с ГОСТ 31424-2010 Материалы строительные нерудные из отсевов дробления карбонатных пород при производстве щебня.

Отсевы дробления карбонатных пород имеют группу по модулю крупности «повышенной крупности». По остатку на сите с размером 0,63 мм отсева соответствуют требованиям ГОСТ 8736-2014.

Пылевидные и глинистые частицы, содержащиеся в песке равны 0,7 %, по нормам ГОСТ 8736-2014 их должно быть меньше 6%. В отсевах дробления карбонатных пород их процентное соотношение равно 0,1 %. Так же отсутствует глина в образцах.

Органические примеси в песке были определены в соответствии с ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний». Песок

при обработке щелочным раствором гидроксида натрия не придает раствору окраску, соответствующую или темнее эталона, что соответствует требованиям ГОСТ.

При сравнении песка и доломитовой муки нужно помнить о их различиях. Песок, который в большинстве случаев - кварцевый, обладает гладкой поверхностью и имеет округлую форму. Отсевы же имеют угловатую форму и шероховатую поверхность.

В качестве пластифицирующих добавок использовались: гиперпластификатор STACHEMENT 2280 и суперпластификатор CemPlast.

Поликарбоксилатные гиперпластификаторы, обладающие высоким уровнем водопонижающей особенностью до 30%, стабильны и долговечны, способствуют однородности бетонной смеси. Принцип работы гиперпластифицирующих добавок: на поверхности цемента они поглощают воду из раствора, следующим шагом после поглощения воды гиперпластификатор, который находится на частицах цемента, начинает расталкивать частицы.

Схема испытаний образцов на изгиб представлена на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Схема испытания образцов на изгиб

«В исследованиях применялся 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 [61]».

STACHEMENT 2280, который предназначен для производства качественной бетонной смеси, представляет собой красно-коричневую жидкость. Продукт отличается негорючестью и физиологической безвредностью. Плотность при 20 °С —  $1,065 \pm 0,030$  г/мл. РН – 7 – 10.

STACHEMENT имеет следующие положительные качества:

- экономит цемент, что ведет к снижению себестоимости бетона;
- повышает прочностные характеристики бетонной смеси, водонепроницаемость и долговечность бетона;
- повышает прилегаемость опалубки;
- стойкость бетона против климатических и химических воздействиям значительно возрастает;
- уменьшает количество затворенной воды;
- обрабатывая бетонную смесь экономит энергию;
- бетон имеет качественный вид, при этом не меняет цвет бетоной смеси и не создаёт выцветы поверхности;
- снижает вовлечение лишнего воздуха в бетонную смесь;
- за счет того, что не содержит хлоридов подходит для армированных и предварительно напряженных бетонных изделий;
- при термообработке бетонных образцов экономит время и энергию.

Также в экспериментах был использован такой продукт, как semPLAST – эффективная супер пластифицирующая и суперводоредуцирующая добавка, предназначенная для производства высококачественных бетонных смесей и получения бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками.

Преимущества использования гиперпластификатора  
STACHEMENT

Применение пластификатора:

- бетон сохраняет товарный вид при нормальных условиях и повышенных температурах;

- железобетонные нормально твердеющие изделия;
- высококлассные бетонные смеси для густоармированных и особо ответственных конструкций;
- бетон для дорожных работ, гидротехнических конструкций, мелкоштучные изделия;
- растворы для ремонтных работ;
- подходит для производство бетонов на пористых заполнителях;
- тротуарная плитка, шлакоблоки;
- еврозаборы
- Эффекты:
- значительно экономит цемент;
- удобоукладываемость бетонных смесей;
- ранняя и марочная прочность возрастают, при неизменной удобоукладываемости;
- водопотребность бетонной смеси снижается;
- бетоны подвижны и не требуют виброукладки;
- бетонной смеси на 1,5-2 часа больше;
- предотвращает расслоение и замедляет ранние сроки твердения;
- повышение активности вяжущего и полноту гидратации, вследствие пептизирующего действия добавки;
- увеличение долговечности в 2-3 раза;
- предотвращает появление трещин.

Так же был применен суперпластификатор CemPlast, который обладает следующими преимуществами:

- получение товарного бетона при повышенных температурах;
- железобетонные изделия нормального твердения;
- получение бетонов высокого класса;
- применение в дорожных работах;
- применение при ремонтных работах.

Эффекты, которыми обладает CemPlast:

- экономия цемента;
- удобоукладываемость бетонной смеси;
- увеличение марочной и ранней прочности на 10-25%;
- увеличение долговечности.

Добавки вводили в бетонную смесь с водой.

«Влияние суперпластификаторов на свойства бетонных смесей и бетонов с помощью комплексных методов исследования, изложенных в государственных нормативно-технических документах.[61]»

Оценку подвижности бетонной смеси определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

«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.

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. [7]»

## **2.2 Методы исследования бетона на основе отсевов дробления карбонатных пород**

Экспериментальная часть проводилась на базе лаборатории Тольяттинского государственного университета кафедры «Промышленное,

гражданское строительство и городское хозяйство» Архитектурно-строительного института.

От назначения зависит выбор крупного пористого заполнителя, так же структурных особенностей бетонной смеси, требований предъявляемых к прочности и средней плотности бетонной смеси, видов и свойств применяемого мелкого заполнителя, формы и структуры крупного заполнителя. Марка крупного пористого заполнителя по прочности зависит от прочности легкого бетона и должна соответствовать требованиям таблицы 2 ГОСТ 25820-2000 «Бетоны легкие. Технические условия».

«Качество мелкого заполнителя оценивалось по методикам, изложенным в ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний», в соответствии с требованиями, предъявляемым к песку ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» и ГОСТ 31424-2010 «Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия» как мелкому заполнителю.[61]»

В качестве заполнителя использовались отсевы дробления карбонатных пород Жигулевского карьероуправления.

а) Определение зернового состава и модуля крупности.

Проводили по методике ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытания». Образец ОДКП высушивались в нормальных условиях до постоянной массы затем просеивались через сито 20 и 5 мм.

«Расчет истинной плотности ( $\rho$ ) производили по формуле:

$$\rho = (m - m_2) \rho_v / V - m_1 + m_2 - m_3, \quad (2.2)$$

где  $m$  – масса пикнометра с наполненного отсевом, г;

$m_1$  – масса пустого пикнометра, г;

$m^2$  – масса пикнометра наполненного дистиллированной водой, г;

$m_3$  – масса пикнометра наполненного дистиллированной водой без пузырьков воздуха, г;

$\rho_v$  – истинная плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

Насыпная плотность определялась в соответствии с ГОСТ 8735–88.

Насыпная плотность определяется с помощью оборудования (конус для определения насыпной плотности, весы). Сначала взвешивается пустой мерный сосуд, затем мерный сосуд устанавливается под конусом и пористый наполнитель засыпается в конус. За этим следует открытие задвижки и заполнение колбы, лишнее аккуратно убирается до краев линейкой или ножом. Следующий шаг – взвешивание колбы с пористым наполнителем с применением противовеса в 1 кг. Результаты полученные в результате исследований заносим в таблицу.

Насыпную плотность отсева  $\rho_n$  в кг/м<sup>3</sup> рассчитывали по формуле:

$$\rho_i = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (2.3)$$

где  $m$  – масса пустого мерного сосуда, кг;  $m_1$  – масса сосуда наполненного отсевом, кг;

$V$  – объем мерного сосуда, м<sup>3</sup>.

Насыпная плотность в уплотненном состоянии определялась по методике ГОСТ 8735–88, сосуд с отсевом уплотняется на лабораторной виброплощадке до полного уплотнения, в дальнейшем излишки отсева снимаются вровень с краями и сосуд взвешивается.

Насыпную плотность рассчитывали по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \quad (2.4)$$

где  $m$  – масса сосуда, кг;  $m_1$  – масса сосуда наполненного отсевом, кг;

$V$  – объем мерного сосуда, м<sup>3</sup>.

Пустотность (которая характеризуется объемом пустот между зернами) заполнителя в стандартном неуплотненном состоянии определялась из насыпной и истинной плотности, которые устанавливаются ранее.

$$V_{\text{м.о.}} = (1 - \rho_{\text{н}}/\rho * 1000) * 100, \quad (2.5)$$

где  $\rho$  - истинная плотность отсева, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{н}}$  - насыпная плотность отсева, кг/см<sup>3</sup>.

б) Определение наличия глинистых и пылевидных частиц.

Определялось с помощью метода отмучивания по методике ГОСТ 8735–88. Пылевидные частицы содержащиеся в заполнителе, вычисляются в процентах по массе по формуле:

$$П_{\text{отм}} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (2.6)$$

где  $m$  – масса сухой навески до отмучивания, г;  $m_1$  - масса сухой навески после отмучивания, г. [59] »

Зерновой состав песка определяют при помощи стандартного набора сит с ячейками размера: 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 и 0,16. «Навеску сухого песка просеивают через набор сит и определяют сначала частные (%), а затем полные остатки на каждом сите. Полный остаток на любом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера. Размеры полных остатков характеризуют зерновой состав песка» [9].

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

$$M_{\text{кр}} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (2.9)$$

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.

«Насыпную плотность песка определяют с помощью цилиндрического сосуда вместимостью 1 дм<sup>3</sup> (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:

$$\rho_{\text{нас}} = m_{\text{с+п}} - m_c / V, \quad (2.10)$$

где  $m_{\text{с+п}}$  – масса сосуда с песком, г,  $V$  – объем сосуда,  $\text{см}^3$ .

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

$$P_{\text{отм}} = (m - m_1 / m) \cdot 100, \quad (2.11)$$

где:  $m$  – масса сухой навески до отмучивания, г,

$m_1$  – масса сухой навески после отмучивания, г.

#### Изучение свойств крупного заполнителя

В качестве крупного заполнителя для бетона использовали гранитный щебень крупностью 5 – 10 мм. Качество щебня определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний [61]».

«Насыпная плотность  $\rho_{\text{нас}}$  определяется путем взвешивания пробы заполнителя в сосуде с известной вместимостью по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = (m - m_c) / V_c, \quad (2.12)$$

где  $m$  - масса пробы заполнителя с сосудом, кг,

$m_c$  - масса сосуда, кг.  $V_c$  - вместимость сосуда,  $\text{м}^3$  [61]».

«Прочность крупного заполнителя определяется методом раздавливания его пробы в сухом или насыщенном водой состоянии в металлическом цилиндре с вычисление показателя дробимости  $D_r$  (%). Дробимость заполнителя оценивается по количеству мелочи, образующейся

при сдавливании пробы щебня в стальной форме под определенным усилием [61]». Показатель дробимости  $D_p$  (%) вычисляют с погрешностью до 1% по формуле:

$$D_p = (m_1 - m_2 / m_1) 100, \quad (2.13)$$

где  $m_1$  – испытываемая проба щебня, кг,

$m_2$  - остаток на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня, кг.

«Марку щебня определяют по показателю дробимости в зависимости от вида горной породы и способа испытания.

Содержание в щебне пластинчатых (лещадных) и игловатых зёрен определяется визуально отбором в навеске зёрен, толщина или ширина которых меньше длины в три и более раза. Взвешивают количество пластинчатых (лещадных) и игловатых зёрен и вычисляют их содержание в % по массе. Исходя из результатов, определяют группу щебня по содержанию зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.[10]»

Оценка свойств бетонных смесей осуществлялась в соответствии ГОСТ 7473- 2010 «Межгосударственный стандарт смеси бетонные», ГОСТ 10181 – 2014 «Методы испытаний бетонных смесей», подбор состава бетона – ГОСТ 27006 – 86.

Объем цементного теста определялся через значение его плотности, которое определялось в мерном цилиндре через массу цементного теста и его объем. Объем цементного теста и заполнителя определяли для их долей в смеси, при которых обеспечивается требуемая консистенция.

Смесь приготавливалась с помощью лабораторного смесителя. Химические добавки, которые применялись вводились в соответствии с их техническими требованиями.

Прочность вяжущих при изгибе и сжатии определяли, по методикам ГОСТ 310.4-81 на образцах-балочках размерами 40x40x160 мм, для определения предела прочности при изгибе использовался гидравлический

пресс П-10, полученные после испытания на изгиб половинки балочек использовались при испытании на сжатие, с использованием специальных пластин площадью 25 см<sup>2</sup>.

Виды заполнителя, который используется в процессе приготовления БС делятся на две группы. В первой группе используется гранодиалитный песок который применяется без замены его на ОДКП. Ко второй группе относятся образцы приготовленные на комбинировании доломитовой муки и гранодиалитного песка, содержание доломитовой муки варьируется от 10% до 100%.

Определение прочности бетона при сжатии определялось по истечению 28 суток после твердения в нормальных условиях. Испытания проводились на кубах с ребром 70 мм и 100 мм.

а) Определение прочность бетонов.

Предел прочности при сжатии мелкозернистых бетонов определяли на образцах-кубах размерами 100x100x100 мм в количестве 6 штук в серии на прессе ПСУ-125 и рассчитывали по формуле:

$$R_{сж} = \alpha \frac{P}{S}, \quad (2.14)$$

где:  $R_{сж}$  - прочность бетона при сжатии, МПа;  $P$  - разрушающая нагрузка, кN;

$S$  - площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  - масштабный коэффициент зависящий от размера образца, равный 0,95.

Фактическая средняя прочность бетона при сжатии рассчитывалась по формуле:

$$R_{сж} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n}, \quad (2.15)$$

где:  $R_i$  - единичный результат;  $n$  - число единичных результатов. Однородность прочности характеризовали среднеквадратичным отклонением  $S$  и коэффициентом вариации  $v$ :

$$S_m = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - R_{сж})^2}}{n-1} \quad (2.16)$$

$$v_m = \left( \frac{S_m}{R_m} \right) \cdot 100\% \quad (2.17)$$

Результаты предела прочности при сжатии образцов – кубиков размером 70x70x70 и 100x100x100 мм были приведены с помощью коэффициентом соответственно 0,85 и 0,95 к пределу прочности при сжатии образцов стандартного размера.

Образцы изготавливались сериями, состоящими не менее чем из трех образцов.

С целью изучения возможности использования отсевов дробления карбонатных пород в качестве заполнителя для изготовления бетона были использованы гранитный щебень фракции 5-10 мм, в качестве мелкого заполнителя – природные пески Волжского и Камского месторождения и отсевы дробления карбонатных пород. Отсевы дробления карбонатных пород крупностью 0 – 20 мм вводились в состав пластичной бетонной смеси в количестве 0, 30, 50, 70 и 100 % от массы мелкого заполнителя, заменяя природный песок данным количеством отсевов.

«Для исследований были подобраны для конкретных задач оптимальные составы бетонов. Подвижность бетонных смесей была принята в пределах от 4 до 8 см.

Оптимальный состав бетона определяют расчетно-экспериментальным методом в три этапа:

1. Проектирование состава бетона на основе исходных данных с

помощью формул, графиков и таблиц.[61]»

2. Определение фактического расхода составляющих материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона, исходя из расхода материалов на оптимальный пробный замес и объема этого замеса, вычисленного по экспериментально определенной средней плотности бетонной смеси.

Окончательно состав бетона выражается в виде расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона или в частях по массе или по объему по отношению к цементу (В/Ц при этом всегда выражается по массе).

Изготовленные образцы – кубы размером 70x70x70 мм и образцы – балочки размером 40x40x160 мм после извлечения из форм на вторые сутки после изготовления выдерживались в течение 7, 14, 28 сут в нормальных условиях твердения. Предел прочности при сжатии определялся путем исследования бетонных образцов размерами 70x70x70 мм на гидравлическом прессе нагрузка которого была равна 50 т. До испытаний на прочность бетонные образцы были измеряны и взвешаны с погрешностью не более 1%. Прочностные характеристики бетонных образцов определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».



Рисунок 2.1 – Пресс для проведения испытаний на сжатие

«Нагрузка образцов во время испытания на сжатие было произведено плавно до начала его разрушения, максимальное усилие определяло разрушающую нагрузку.

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

$$R_{сж} = 10 F_{разр} / A, \quad (2.18)$$

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)  $K = 0,85$  [61]».

Выводы по второму разделу:

1. Были исследованы отсеvy дробления, полученные при производстве щебня из карбонатных пород Жигулевского карьера, и для сравнения - природные пески Волжского и камского месторождения с  $M_{кр} = 1,1$  и  $3,1$  соответственно. Был сделан вывод что отсеvy дробления карбонатных пород имеют группу по модулю крупности «повышенной крупности».

2. Определены физико – механические свойства песков и отсеvов дробления карбонатных пород.

3. Дано описание методов испытаний и исследований составляющих бетонной смеси изготовленных бетонов.

### 3 Разработка составов и исследование свойств бетонов на основе отсевов дробления карбонатных пород

#### 3.1 Исследование влияния отсевов дробления карбонатных пород в мелком заполнителе на свойства бетона

Бетонная смесь, которая была приготовлена путем смешивания составляющих бетона, распределяют в металлические формы. Затем производят уплотнение на виброплощадке Рисунок ..., следующий шаг это хранение образцов во влажных условиях в течение суток в условиях влажности. Строгая выдержка размеров и формы образцов нужна для более точных исследований. Спустя сутки опалубка снимается и образцы извлекаются, хранятся в течение 7, 14 и 28 суток в нормальных условиях твердения.

Исследовано влияние увеличения предела прочности при сжатии при использовании отсевов дробления карбонатных пород и природного кварцевого песка.

Объектом данных исследований были составы с разным содержанием отсевов дробления карбонатных пород в составе комбинированного заполнителя, а также составы с полной заменой природного песка отсевами. Составы бетонных смесей I серии образцов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Состав бетонной смеси Составы бетонных смесей I серии образцов

Состав	№ партии									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Единица измерения	Кг/м <sup>3</sup>									
Кол-во отсевов, %	0	30	50	70	100	0	30	50	70	100
Цемент	622	622	620	622	610	603	595	605	603	600

Продолжение таблицы 3.1

Состав	№ партии									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Щебень	606	605	603	605	594	587	579	588	587	584
Песок Волж.	808	565	402	243	-	-	-	-	-	-
Песок Камский	-	-	-	-	-	782	541	392	235	-
Отсевы	-	243	402	565	792	-	232	392	548	778
Вода	311	311	311	311	305	302	298	303	302	300
В/ц	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	2347	2347	2338	2347	2317	2347	2245	2280	2275	2262
О.К., см	11,5	10	8,5	6	0	14	10,5	9	8	8

Количество отсевов дробления в заполнителе оказывает значительное влияние на подвижность бетонной смеси. При одинаковом В/Ц подвижность бетонной смеси уменьшается с увеличением количества отсевов дробления в мелком природном заполнителе.

Результаты проведенного эксперимента, прочностные характеристики бетона с постепенной заменой природного Волжского и Камского песка на отсева дробления карбонатных пород приведены в таблице 3.2.

Схема контакта отсевов с бетоном приведена на рисунке 3.7.

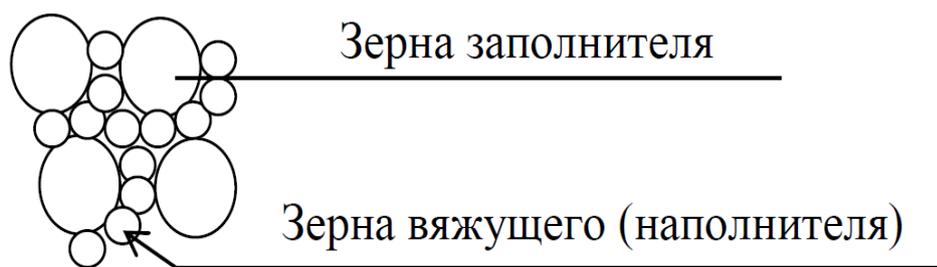


Рисунок 3.7 – Схема контакта зерен отсевов с бетоном

Бетонные образцы размером 70x70x70 мм в течение 7 и 28 суток выдерживались в нормальных условиях твердения. Через 7 и 28 суток твердения в нормальных условиях образцы в течение двух часов выдерживались на воздухе, после чего подвергались испытаниям на предел прочности при сжатии. Часть образцов помещались в воду на 48 часов и образцы испытывали на предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии.

Таблица 3.2 – Результаты испытаний бетонов на основе отсевов дробления карбонатных пород

Возраст	Предел прочности при сжатии, МПа				
	Волжский песок				
	n1	n2	n3	n4	n5
Кол-во отсевов, %	0	30	50	70	100
7 суток	33,8	36,0	41,65	42,5	41,05
28 сут. ест. сост.	50,3	49,4	51,5	49,8	49,4
28 сут в насыщ. водой состоянии	45,9	50,3	52,0	52,0	47,7
Кразм.	0,87	0,98	0,97	0,98	0,91
Набор прочности 7 сут от 28 суток, %	67	73	81	85	83

Камский песок					
	n6	n7	n8	n9	n10
Кол-во отсевов, %	0	30	50	70	100
7 суток	38,2	39,5	39,0	42,8	43,0
28 сут. ест. сост.	45,1	50,3	51,1	51,1	48,0
28 сут в насыщ. водой состоянии	45,9	52,7	50,6	48,9	49,4

Продолжение таблицы 3.2

Кразм.	0,96	0,97	0,94	0,91	0,96
Набор прочности 7 сут от 28 суток, %	85	79	76	84	89

Прочность образцов бетона в водонасыщенном состоянии незначительно отличается от прочности образцов бетона, испытанных в возрасте 28 суток через два часа после извлечения их из камеры нормального твердения.

Коэффициент размягчения в данных образцах выше 0,8, из этого следует, что данные бетоны можно считать водостойкими.

Зависимости величины предела прочности при сжатии, от процентного содержания отсевов дробления карбонатных пород, который был получен для составов с содержанием отсевов дробления карбонатных пород 30%, 50%, 70%, 100% от массы заполнителя с использованием природных песков Волжского и Камского песков, представлено соответственно на рисунках 3.1 и 3.2.

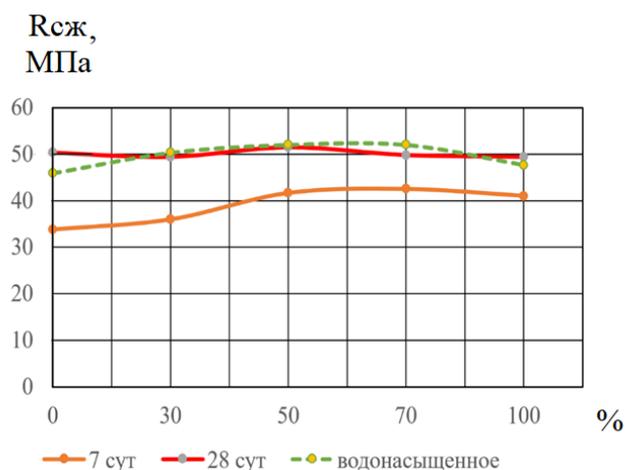


Рисунок 3.1 – Зависимость прочности бетона от количества отсевов дробления в мелком заполнителе с использованием Волжского песка

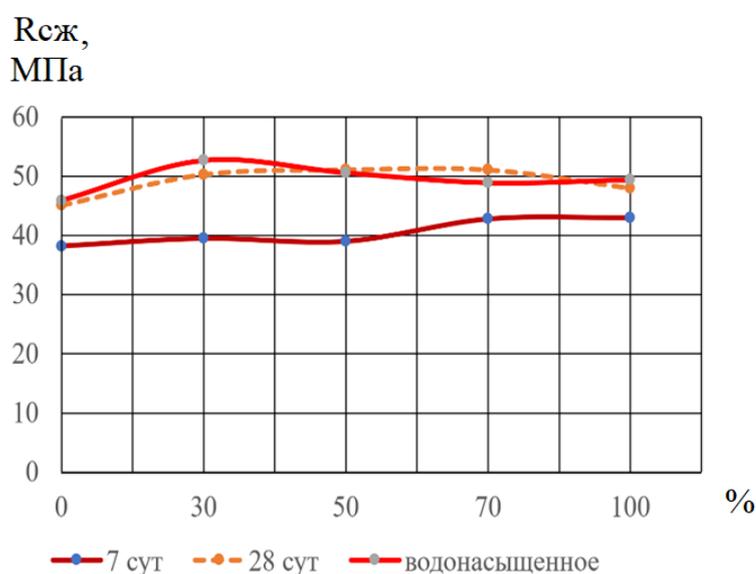


Рисунок 3.2 – Зависимость прочности бетона от количества отсевов дробления в мелком заполнителе с использованием Камского песка

Сравнивая пределы прочности при сжатии контрольных образцов на Волжском и Камском песках, видно, что показатели схожи и значительного различия не выявлено. Анализ экспериментальных исследований показал эффективность применения отсевов дробления в качестве мелкого заполнителя для бетонов.

Из данных рисунков видно, что при замене природного песка на отсеvy дробления в диапазоне 30-70% происходит возрастание предела прочности при сжатии. За счет своей неоднородности и шероховатости отсеvy

дробления берут на себя больше влаги, что в свою очередь приводит к более сильному сцеплению цемента и мелкого заполнителя. Так же из графиков видно, что образцы только на природном песке при нагружении разрушаются при давлении 45-50 МПа, а у образцов с заменой на отсеvy дробления в количестве 30-70% показатели чуть выше 50-52,7 МПа. Наилучшие результаты по прочности показывают бетонные образцы с содержанием отсеvов в количестве 50-70 % от мелкого заполнителя.

Отсевы дробления содержат до 23% мелкой фракции < 0,16 мм. Использование такой мелкой фракции отсеvов дробления карбонатных пород в бетоне уничтожает все слабые связи с цементным камнем и здесь образуются максимально прочные и энергетически сильные белее или менее однородные микрочастицы. Чем мельче зерна мелкой фракции отсеvов дробления карбонатных пород, тем они как бы прочнее и энергетически активнее. Тонкие зерна цемента растворяются в воде, а под действием воды затворения микропорошок карбонатных пород интегрирует в структуру бетона, что увеличивает удельную поверхность зерен цемента.

Принцип интеграции карбонатного компонента в связующее композита изображен на рисунке 3.2.

I Без микродобавок	} Воздух	Вода	Цемент	Наполнитель	Тонкий заполнитель		Крупный заполнитель > 75 мм					
II Микродобавки - заполнитель					} Воздух	Вода		Цемент	Наполнитель	Микродобавки	Тонкий заполнитель	Крупный заполнитель > 75 мм
III Микродобавки - порошок												

Рисунок 3.2 – Принцип интеграции карбонатного компонента в структуру бетона

Схема отображает функциональную роль известнякового компонента в бетоне.

«В Тверском техническом университете проведена большая работа по влиянию тонкодисперстных компонентов карбонатных пород на физико-механические, реологические, технологические и эксплуатационные свойства бетонов [70, 71, 72, 73]».

Данные прочностных характеристик представлены в таблицах 3.2 и на рисунках 3.1 и 3.2, подтверждаются исследованиями учеными Тверского технического университета.

На рисунке 3.3 показаны результаты испытаний бетонных кубиков.



Рисунок 3.3 – Результаты испытаний бетонных образцов

Было проведено исследование в котором наблюдалось формирование прочности и водостойкости с частичной или полной заменой отсевами дробления карбонатных пород природного песка.

До определения предела прочности при сжатии образцы твердели при нормальных условиях в течение 28 суток.

### 3.2 Исследования свойств бетона на основе отсева дробления с применением различного вида пластификаторов

В настоящее время изготовление бетона повышенной прочности невозможно без использования гиперпластификаторов на основе поликарбоксилатов.

Была изготовлена II серия бетонных образцов с использованием в качестве гиперпластификаторов STACHEMENT 2280 и CemPlast, которые добавлялись с водой затворения в бетонную смесь в количестве 1%.

Проводились исследования свойств бетона на основе отсевов с добавлением суперпластификатора STACHEMENT. В приведенных ниже таблице 3.4 представлены составы с добавлением 12 мл модификатора, который предварительно был растворен в воде.

Распływ смеси был приблизительно 33 см за счет того, что данный модификатор расталкивал частицы цемента, что в свою очередь положительно повлияло на удобоукладываемость.

STACHEMENT 2280 относится к разряду «быстрых» гиперпластификаторов, т.к. обладает ускоряющим эффектом и соответственно дает высокие ранние прочности бетона.

Таблица 3.4 – Состав бетонной смеси с использованием добавки STACHEMENT

Состав	№ партии				
	11	12	13	14	15
1	2	3	4	5	6
Единица измерения	Кг/м3				
Кол-во отсевов дробления, %	0	30	50	70	100
Цемент	659	635	627	625	628

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6
Щебень	642	618	611	608	611
Песок	855	577	407	243	-
Отсевы	-	247	407	568	815
Вода	240	254	251	251	251
Гиперпластификатор	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2396	2331	2303	2295	2306

Выдерживание бетонных образцов размером 70x70x70 мм и 40x40x160 мм происходит в нормальных условиях твердения. Сравнивая результаты образцов, которые твердели в нормальных условиях с применением добавки STACHEMENT мы видим прирост прочности и водостойкости приблизительно на 13%. Образцы с 10% содержанием отсевов введение добавки поспособствовало приросту прочности на 30 %. В составах с содержанием отсевов 30 % и 50 % рост водостойкости, применив добавку, составил 8 %. «Характер снижения эффективности введения гиперпластификатора объясняется необходимостью учета водоредуцирующего действия добавки при подборе рациональной влажности в составах с повышенным содержанием вяжущего. Особенность введения модификатора в исследуемые составы состоит в том, что проявление по времени пластифицирующего эффекта носит неравномерный характер – несущественное при введении и начальных этапах перемешивания и одномоментное при длительном перемешивании смеси. Это существенно осложняет процесс подбора рациональной влажности с точки зрения удобоформируемости смеси.[18]»

Графическое отображение полученных результатов приведено на рисунке 3.4. Пределы прочности при сжатии действующие на образцы в сухом и водонасыщенном состоянии приведены в таблице 3.5.

Испытания образцов на прочность проводились через 2 часа после извлечения их из камеры нормального твердения.

Таблица 3.5 – Предел прочности при сжатии партии 11-15

Возраст	Предел прочности при сжатии, МПа				
	n11	n12	n13	n14	n15
Кол-во отсевов дробления, %	0	30	50	70	100
7 суток	58,5	55,5	62,4	59,2	66,6
28 сут.	72,9	67,1	71,1	75,5	71,1
28 сут в насыщ. водой состоянии	73,9	70,3	71,6	74,9	75,3
Кразм.	0,97	0,96	0,95	0,92	0,98
Набор прочности в 7 сут от 28 суток, %	80,2	82,7	87,7	78,4	93,6

**R<sub>сж</sub>,  
МПа**

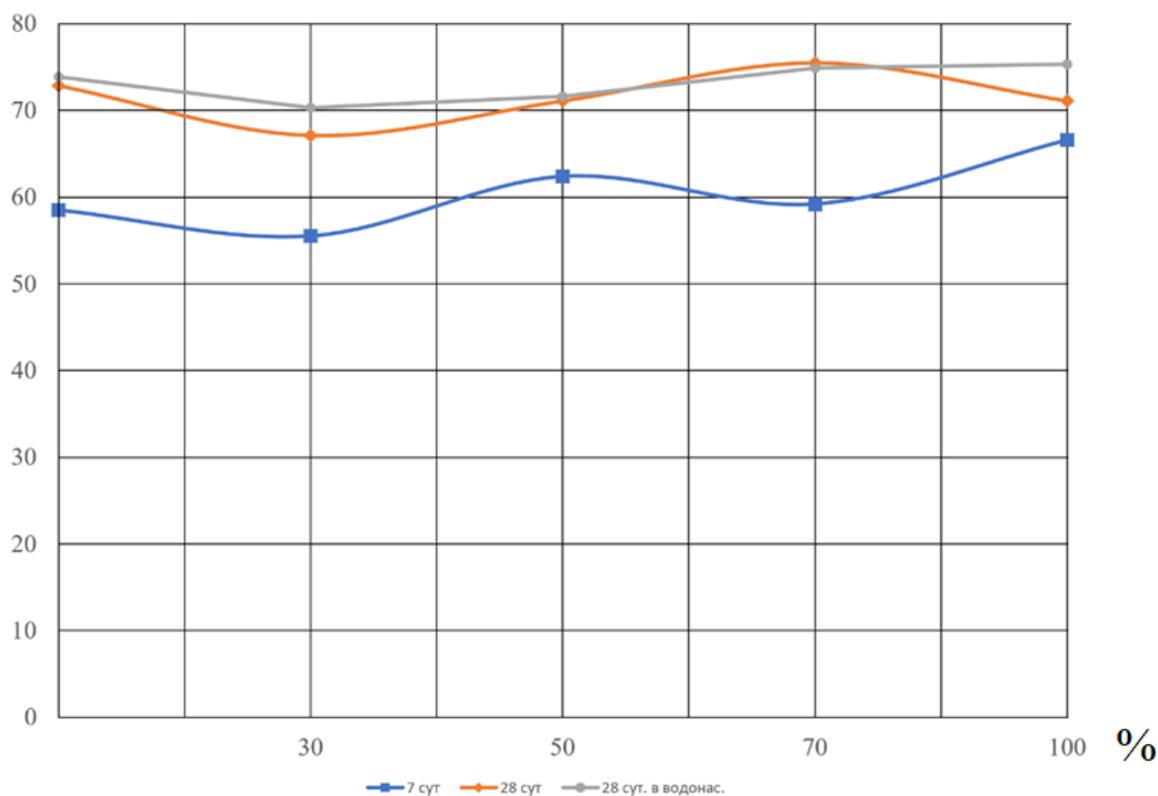


Рисунок 3.3 – Влияние добавки STACHEMENT на прочность при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии



Рисунок 3.4 – Состав бетонной смеси с применением гиперпластификатора STACHEMENT

Установлена положительная динамика роста прочности бетона, изготовленного с использованием в качестве мелкого заполнителя отсевов дробления карбонатных пород, и гиперпластификатора STACHEMENT на основе поликарбоксилатов. Предел прочности при сжатии бетонных образцов в возрасте 7 суток колеблется в диапазоне 58,5 - 66,6 МПа, в возрасте 28 суток - 67,1 - 75,5 МПа. Таким образом набор прочности бетонных образцов в 7 – суточном возрасте составляет от 80 до 90% от марочной.

Результаты исследований показывают, что использование пластификатора STACHEMENT 2280 способствует повышению прочностных характеристик бетона на основе отсевов дробления карбонатных пород (таблица 3.2 и 3.5). использование гиперпластификатора STACHEMENT 2280 увеличивает прочностные характеристики бетонов на 35,8; 38,0; 51,6 и 43,9% соответственно с добавлением отсевов дробления карбонатных пород в количестве – 30, 50, 70 и 100%. Коэффициент водостойкости при этом остается неизменным.

Составы бетонных смесей с использованием в качестве пластификатора CemPlast приведены в таблице 3.6.

CemPlast способствует получению высокопрочные бетонные смеси, повышает степень реагирования цемента, прочность и долговечность.

Таблица 3.6 – Состав бетонной смеси с использованием добавки CemPlast

Состав	№ партии				
	16	17	18	19	20
Единица измерения	Кг/м3				
Кол-во отсевов,%	0	30	50	70	100
Щебень	642	618	611	608	628
Песок	855	577	407	243	-
Отсевы	-	247	407	568	815
Вода	240	254	251	251	251
CemPlast	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Средняя плотность бетонной смеси	2396	2331	2303	2295	2306

Таблица 3.7 – Пределы прочности при сжатии образцов

Возраст	Предел прочности при сжатии, МПа				
	n16	n17	n18	n19	n20
7 суток	33,8	31,7	42,5	47,0	45,4
28 сут.	48,1	45,97	50,7	56,9	58,5
28 сут в насыщ. водой состоянии	48,1	47,7	50,3	52,6	58,8
Кразм.	0,96	0,97	0,95	0,90	0,96
Набор прочности в 7 сут от 28	70,3	68,9	83,8	82,6	77,6

суток, %					
----------	--	--	--	--	--

Пределы прочности при сжатии бетонных образцов изготовленных с использованием добавки CemPlast в 7 суток составляют в пределах 33,8 – 45,4 МПа, в 28 суток в пределах 48,1 – 58,5 МПа с различным содержанием отсевов дробления. Прочность бетонов с использованием CemPlast возрастает на 14-18% только при содержании отсевов дробления в диапазоне 70-100%.

Графическое отображение результатов испытания на прочность при сжатии контрольных образцов и образцов, твердевших в нормальных условиях, изготовленных с применением суперпластификатора CemPlast, представлено на рисунке 3.6. Анализ рисунка 3.6 показывает, что при твердении материала в течение 28 суток в нормальных условиях увеличение содержания отсевов дробления в мелком заполнителе приводит к росту прочности при сжатии.

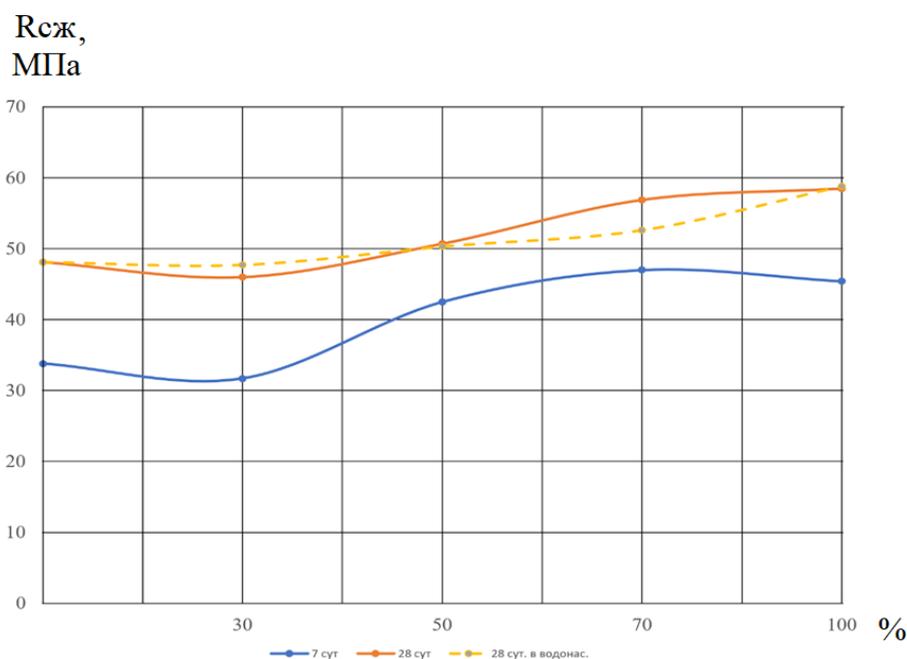


Рисунок 3.5 - Прочность при сжатии бетона с использованием суперпластификатора CemPlast

С использованием пластификатора CemPlast прочность бетонов уменьшается в пределах от 17,7 до 34% в зависимости от количества в

заполнители отсево дробления, по сравнению прочности бетона изготовленных на гиперпластификаторе STACHEMENT. С использованием данных пластификаторов можно получить бетоны класса не ниже В50.

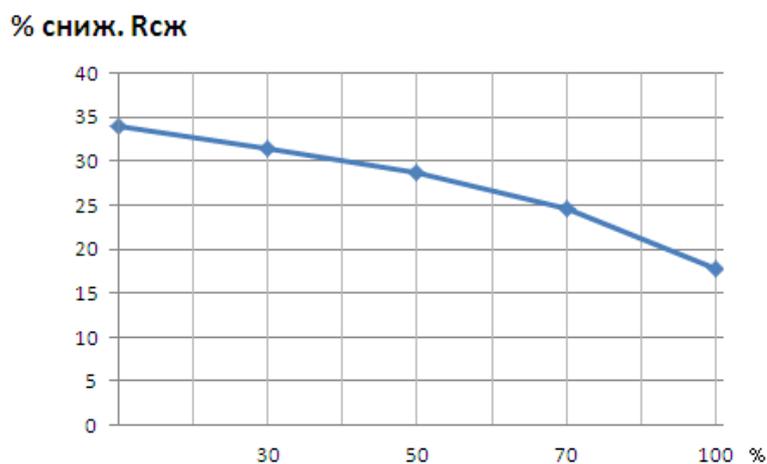
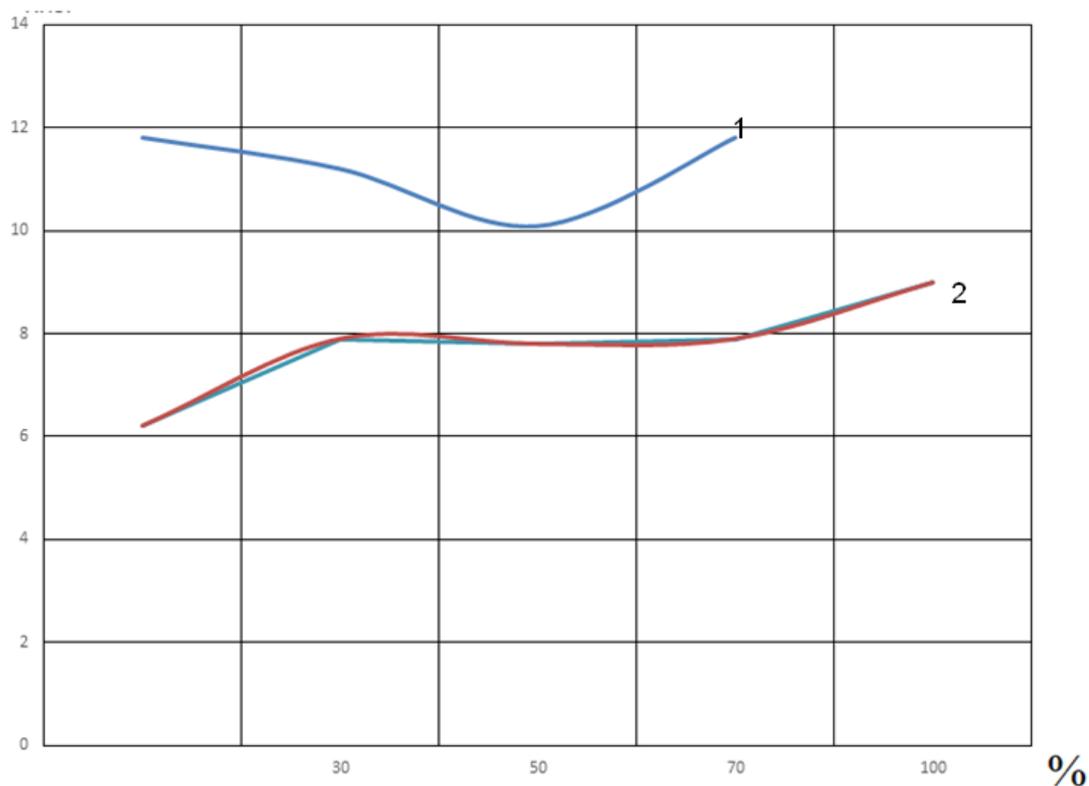


Рисунок 3.6 – Динамика снижения прочности бетона с использованием разных пластификаторов

Испытание образцов на предел прочности при изгибе представлены на рисунке 3.6 и таблице 3.7.

Ризг,  
МПа



1- STACHEMENT, 2 - CemPlast

Рисунок 3.6 – Испытание образцов на изгиб с применением гиперпластификаторов STACHEMENT и CemPlast

Таблица 3.8 – Испытание образцов на изгиб

Возраст	Предел прочности при изгибе, МПа								
	n12	n13	n14	n15	n16	n17	n18	n19	n20
28 сут.	11,8	11,2	10,1	11,8	6,2	7,9	7,9	7,9	9,0



Рисунок 3.7 – Установка для испытания образцов на изгиб

Предел прочности при изгибе образцов бетонных образцов изготовленных с использование гиперпластификатора STACHEMENT колеблется в пределах 10,1-11,8 МПа, на пластификаторе CemPlast – в пределах 7,9 – 9,0 МПа (в зависимости от количества отсевов дробления карбонатных пород в смеси).

Физические характеристики бетонов, изготовленных с использованием отсевов дробления карбонатных пород представлены в таблице 3.9, 3.10 и рисунках 3.9 и 3.11.

Таблица 3.9 – Физические характеристики бетона

№ п	Пластификатор	Кол-во отсевов, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %
			Средняя	Истинная	

11	STACHEMENT	0	2,20	2,63	16,34
12		30	2,12	2,63	19,39
13		50	2,15	2,63	18,25
14		70	2,20	2,63	16,34
15		100	2,40	2,64	8,7
16	CemPlast	0	2,00	2,64	24,24
17		30	2,20	2,64	16,67
18		50	2,30	2,64	12,88
19		70	2,16	2,64	18,18
20		100	2,10	2,64	20,45

**П, %**

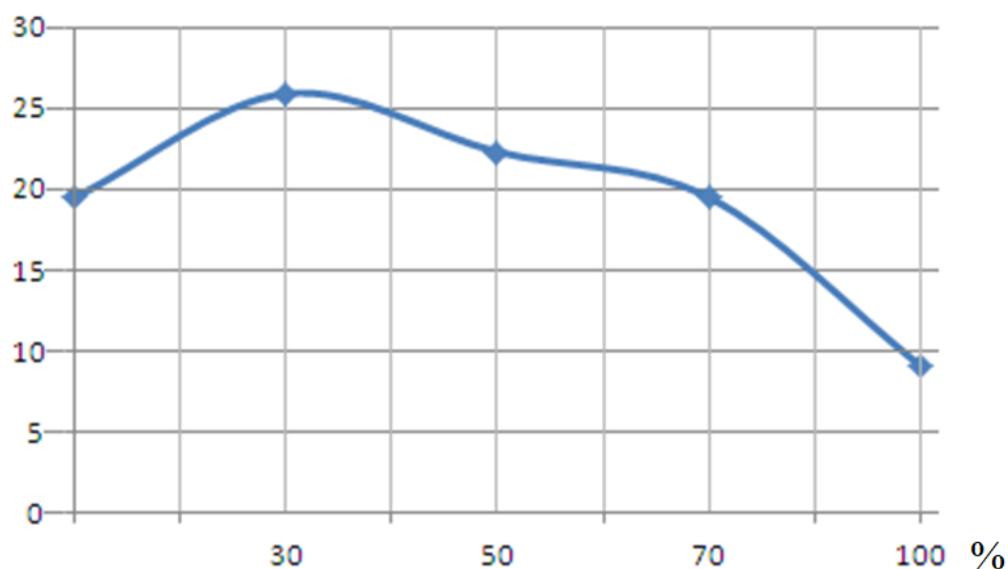


Рисунок 3.9 – Зависимость пористости бетонов от количестве отсевов дробления в мелком заполнителе

В целом следует отметить общее снижение пористости бетонов, изготовленных с применением отсевов дробления карбонатных пород с 25,3% до 9% (рисунок 3.9). Наличие тонких зерен карбонатных пород приводит к образованию гидрокарбоалюминатов кальция, что в результате способствует снижению пористости цементного камня.

Водопоглощение бетонных образцов, изготовленных с использованием отсевов дробления карбонатных пород, исследовалось на образцах серии П, изготовленных с применением пластификаторов.

Изменение водопоглощения бетонов на основе отсевов дробления карбонатных пород, под влиянием гиперпластификатора STACHEMENT и CemPlast, представлено на рисунке 3.10.

Исследования бетона, полученного с использованием гиперпластификатора STACHEMENT 2280 и отсевов дробления карбонатных пород, на водопоглощение, показали, что наибольшее водопоглощение (11%) имеют образцы бетона, содержащие отсеvy дробления в количестве 30% от массы мелкого заполнителя (рисунок 3.10). При дальнейшем увеличении в заполнителе отсевов дробления карбонатных пород водопоглощение бетона снижается аналогично пористости цементного камня (рис. 5). У бетонных образцов, изготовленных с использованием пластификатора CemPlast и отсевов дробления, значительного изменения водопоглощения с увеличением количества отсевов дробления не наблюдается, водопоглощение колеблется в пределах от 10,3% до 11,9%. Наибольшее водопоглощение (11,9%) имеют образцы бетона, содержащие 50% отсевов дробления от массы мелкого заполнителя. Водопоглощение их несколько выше, чем у бетонных образцов, изготовленных с применением гиперпластификатора STACHEMENT 2280.

Таблица 3.10 – Водопоглощение бетонов на основе отсевов дробления карбонатных пород

№ п	Пластификатор	Кол-во отсевов, %	Водопоглощение, %	
			По объему	По массе
11	STACHEMENT	0	13,1	9
12		30	10,9	9,9
13		50	8,3	9,2
14		70	8,9	9,6
15		100	5,7	8,9

16	CemPlast	0	5,1	11,5
17		30	6,4	11,3
18		50	6,9	11,9
19		70	6,1	11,1
20		100	6,4	10,3

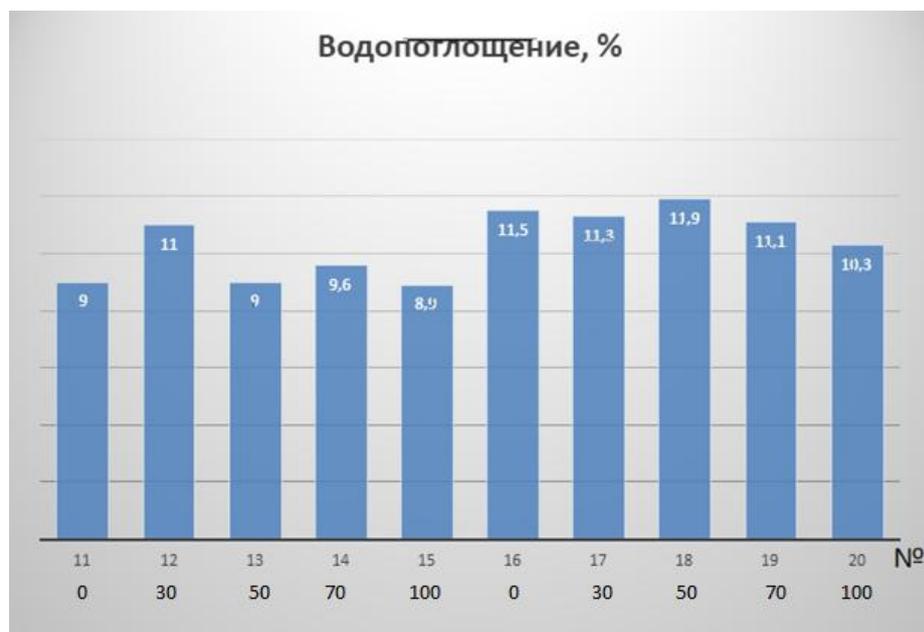


Рисунок 3.10 - Влияние добавки STACHEMENT и CemPlast на водопоглощение бетонов на основе отсевов дробления карбонатных пород

Водопоглощение бетона с увеличением количества отсевов в нем незначительно снижается. Бетоны, изготовленные с применением пластификатора CemPlast показывают большее водопоглощение по сравнению с бетоном, изготовленных на гиперпластификаторе STACHEMENT.

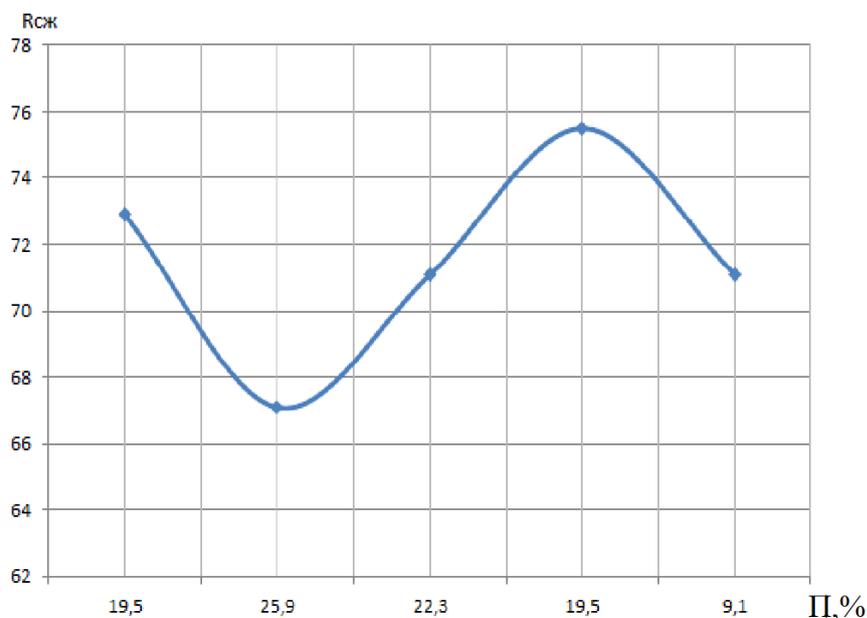


Рисунок 3.11 – Зависимость предела прочности при сжатии от пористости

Из рисунка 3.11 следует, что чем ниже пористость бетона, тем выше предел прочности при сжатии и ниже водопоглощение.

### 3.3 Использование отсевов дробления в производстве керамзитобетона

В качестве крупного пористого заполнителя для изготовления керамзитобетона использовался керамзитовый гравий крупностью 5 – 10мм марки П100 и П75 и дробленый керамзит марки П50 (табл. 3.8).

Таблица 3.8 - Физико-механические свойства керамзита

№ пр. 5-10 мм	Марка по насып. Плотн.	Водопоглощение, %	Коэф. формы зерен заполнителя	Содерж. расколотых зерен, %	Марка по прочн.
1	М1000	12	1,50	22	П100
2	М600	16	1,60	5	П75
дробленый	М450	28	—	—	П50

Изготовленные керамзитобетонные образцы (кубики 100x100x100мм) из бетонной смеси различных составов выдерживались в течение 28 суток в нормальных условиях твердения. Результаты экспериментов представлены в таблицах 3.9 и 3.10.

Анализ экспериментов исследований показал возможность применения отсевов дробления карбонатных пород для изготовления керамзитобетона.

Анализируя составы бетонных смесей и прочность керамзитобетонов, можно видеть, что использование в качестве мелкого заполнителя отсевов дробления карбонатных пород, содержащих 26,31 % зерен крупностью 5-20 мм, приводит к увеличению и средней плотности керамзитобетона и прочности при сжатии.

Таблица 3.9 - Составы бетонных смесей и прочность керамзитобетонов на природном Волжском песке

№	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> керамзитобетона, кг				Природный Волжский песок	Вода	Средняя плотность бетонов, кг/м <sup>3</sup>	Прочность бетона при сжатии, МПа
	Цемент	Керамзит марки по прочности		П75				
		П50 (дробленный)						
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	339	370	123	314	204	1356	13,59	
2	301	397	109	206	182	1181	10,7	
3	237	421	86	109	142	1006	9,83	

Таблица 3.10 - Составы бетонных смесей и прочность керамзитобетонов на отсевах дробления карбонатных пород

№ состава	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> керамзитобетона, кг				Средняя плотность бетонов,	Прочность бетона при сжатии,
	Цемент	Керамзит	Отсевы	Вода		

		марки по прочности		дроблени я 0-20 мм		кг/м <sup>3</sup>	МПа
		П100	П75				
4	244	509	-	992	255	2040	16,60
5	214	-	445	867	204	1700	12,30

Из табл. 3.10 отчетливо видно увеличение прочностных характеристик керамзитобетонных образцов на заполнителе из отсева дробления карбонатных пород Жигулевского карьера. На малых предприятиях города Тольятти, для изготовления керамзитобетонных блоков в качестве мелкого заполнителя используются использовать отсева дробления карбонатных пород Жигулевского карьера.

### **3.4 Оценка экономической эффективности применения отсева дробления карбонатных пород в производстве бетонов**

Себестоимость производства тяжелого и легкого бетона включает в себя стоимость исходных сырьевых материалов, которые указаны в таблицах 5.7 и 5.8.

Таблица 5.7 – Стоимость материалов для приготовления одного кубического метра бетона на Волжском песке

Наим. материала	Ед. изм.	Расход на 1м <sup>3</sup>	Цена, руб	Стоимость, руб
Цемент	т	0,659	3760	2477,8
Щебень	т	0,642	470	301,7
Песок Волжский	т	0,855	200	171
Вода	м <sup>3</sup>	0,240	17	4,08
STACHEMENT	1 литр	0,0118	49	0,6
Итого				2954,5

Таблица 5.8 – Стоимость материалов для приготовления одного кубического метра бетона на Волжском песке и 50 % применения отсевов

Наименование материала	Ед. изм.	Расход на 1м <sup>3</sup>	Цена, руб	Стоимость, руб
1	2	3	4	5
Цемент	т	0,627	3760	2357,5
Щебень	т	0,611	470	287,2
Отсевы др.карбон.пород	т	0,407	80	32,6
Песок Волжский	т	0,407	200	81,4
Вода	м <sup>3</sup>	0,251	17	4,3
STACHEMENT	1 литр	0,0118	49	0,6
Итого				2763,6

Таблица 5.8 – Стоимость материалов для приготовления одного кубического метра бетона на Волжском песке и 70 % применения отсевов

Наименование материала	Ед. изм.	Расход на 1м <sup>3</sup>	Цена, руб	Стоимость, руб
1	2	3	4	5
Цемент	т	0,625	3760	2350
Щебень	т	0,608	470	285,8
Отсевы др.карбон.пород	т	0,243	80	19,44
Песок Волжский	т	0,568	200	113,6
Вода	м <sup>3</sup>	0,251	17	4,3
STACHEMENT	1 литр	0,0118	49	0,6
Итого				2773,7

Исходя из расчетов, стоимость исходных компонентов для приготовления 1м<sup>3</sup> бетонной смеси на природном мелком заполнителе (Волжском песке) на 200 рублей выше, по сравнению со стоимостью 1м<sup>3</sup> бетонной смеси с использованием отсевов дробления в количестве 50%.

Снижение себестоимости строительства, материалоемкости, упрощение технологии производства, ускорение сроков капитального строительства, экономии ресурсов, а также повышение экологических показателей, есть главная цель строительного производства.

Выводы по третьей главе:

1. В отсевах дробления карбонатных пород зерен крупностью менее 0,16мм значительное количество – 23,3%. В результате такого большого количества мелкой фракции в заполнителе возрастает площадь контакта составляющих бетона. При росте площади контакта существенно возрастает и адгезия песчаной составляющей. В этом случае высокоразвитая поверхность мелких частиц из отходов карбонатных пород позволяет интенсифицировать процесс гидратации цемента, что способствует динамике роста прочности бетона, а также уплотнению структуры бетона.

2. Бетоны повышенной прочности класса не ниже В50 с использованием для их изготовления отсевов дробления карбонатных пород в качестве мелкого заполнителя возможно получить с применением гиперпластификаторов на основе поликарбоксилатов.

Использование отходов дробления карбонатных пород способствует решению следующих основных задач: энерго- и ресурсосбережению, утилизации отходов, улучшению экологической обстановки в регионе.

3. На водопоглощение бетонов, изготовленных с использованием отсевов дробления карбонатных пород оказывает влияние вид используемого пластификатора. Бетоны с использованием гиперпластификатора STACHEMENT показывают результаты по водопоглощению на 2% по массе выше, чем на суперпластификаторе CemPlast.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из результатов проведенных экспериментальных исследований следуют следующие выводы:

1. В отсевах дробления карбонатных пород зерен крупностью менее 0,16мм значительное количество – 23,3%. В результате такого большого количества мелкой фракции в заполнителе возрастает площадь контакта составляющих бетона. При росте площади контакта существенно возрастает и адгезия песчаной составляющей. В этом случае высокоразвитая поверхность мелких частиц из отходов карбонатных пород позволяет интенсифицировать процесс гидратации цемента, что способствует динамике роста прочности.

2. Установлена положительная динамика роста прочности бетона, изготовленного с использованием в качестве мелкого заполнителя отсевов дробления карбонатных пород, и гиперпластификатора STANEMENT на основе поликарбоксилатов. Набор прочности бетона в 7-суточном возрасте составляет от 80 до 90 % от марочной.

3. Бетоны повышенной прочности класса не ниже В50 с использованием для их изготовления отсевов дробления карбонатных пород в качестве мелкого заполнителя возможно получить с применением гиперпластификаторов на основе поликарбоксилатов.

4. На водопоглощение бетонов, изготовленных с использованием отсевов дробления карбонатных пород оказывает влияние вид используемого пластификатора. Бетоны с использованием гиперпластификатора STANEMENT показывают результаты по водопоглощению на 2% по массе выше, чем на суперпластификаторе CemPlast.

5. Подобран оптимальный состав бетона, содержащий до 50% отсевов дробления карбонатных пород от массы мелкого заполнителя, с

использованием гиперпластификатора STACHEMENT 2280 с повышенными физико-механическими свойствами.

6. Использование отходов дробления карбонатных пород способствует решению следующих основных задач: энерго- и ресурсосбережению, утилизации отходов, улучшению экологической обстановки в регионе.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. М.: Стандартивон. 2006. - 8с.
2. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартиформ. 2018. – 14с.
3. ГОСТ 31424-2010 Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. М.: Стандартиформ. 2011. - 16с.
4. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия. М.: Стандартиформ. 2011. - 19с.
5. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартиформ. 2011. - 35с.
6. ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования. М.: Стандартиформ. 2013. - 12с.
7. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний. М.: Стандартиформ. 2015. - 28с.
8. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартиформ. 2015. - 12с.
9. ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний». М.: Минрегион России. 2013. - 175с.
10. ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ Методы физико-механических испытаний». М.: Минрегион России. 2013. - 175с.
11. ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора состава». М.: Стандартиформ. 2006. - 7с.

12. ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия». М.: Стандартиформ. 2016. - 15с.
13. ГОСТ 12730.0-78 «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости». М.: Стандартиформ. 2016. - 3с.
14. ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». М.: Стандартиформ. 2012. - 15с.
15. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: Минрегион России. 2013. - 175с.
16. СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы республики Беларусь. Дата введения 2003-07-01.-139с.
17. Постановление мэрии городского округа Тольятти «Об утверждении Порядка сбора отходов на территории городского округа Тольятти (с изменениями на 27 ноября 2015 года).
18. Черепов, В.Д. Искусственный каменный материал на основе карбонатных пород / Черепов В.Д. //Автореф... дис. канд. техн. наук. – Иваново: 2015. – С. 28.
19. Сырье на строительный камень [Электронный ресурс].- URL : (дата обращения 20.04.2018)
20. Кононова, О.В. Структурообразование искусственного камня на основе отсеков дробления карбонатных пород / О.В. Кононова, В.Д. Черепов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (часть 6). – С. 1200 – 1204.
21. Кононова, О.В. 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». – Йошкар–Ола, 2011. – С. 175 –178.
22. Пат. 2386532 Российская Федерация, МПК В28В 3/00, С04В 28/04, С04В 111/27. Способ получения искусственного строительного камня /

Кононова О.В., Черепов В.Д., Солдатова Е.А. и др.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего 162 профессионального образования "Марийский государственный технический университет". – № 2008148466/03; заявл. 08.12.2008; опубл. 20.04.2010. – С. 3.

23. Кононова, О.В. Модифицированный искусственный камень на основе отсеков дробления карбонатных пород / О.В. Кононова, В.Д. Черепов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1.

24. Кононова, О.В. Композиционные материалы на основе модифицированных отсеков дробления карбонатных пород / О.В. Кононова, В.Д. Черепов, Е.А. Солдатова // Известия КазГАСУ. – Казань, – 2011. – № 1 (15). – С. 165 – 171.

25. Калашников, В.И. Сухие строительные смеси на основе карбонатного смешанного вяжущего / В.И. Калашников, В.С. Демьянова, Н.М. Дубошина // Изв. вузов. Строительство. – 2000. – № 6. – С. 52 – 58.

26. Гусенков, А.С. Модифицированный мелкозернистый бетон на основе отсеков дробления известняка: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Гусенков Александр Сергеевич. – М., 2009. – С. 338.

27. Шелихов, Н.С. Комплексное использование карбонатного сырья для производства строительных материалов / Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов // Строительные материалы. – 2006. – № 9. – С. 42 – 44.

28. Кашин, В.И. «Актуальные проблемы освоения минерально- сырьевого комплекса Российской Федерации» / Топливо-энергетический комплекс России: федер. справ. – М., 2013. – [вып.14], – С. 21 – 26.

29. Боженков, П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. М.: Изд-во АСВ, 1994. – С. 264.

30. Арбузова, Т.Б., Чумаченко Н.Г. Принципы формирования местной сырьевой базы стройиндустрии // Известия ВУЗов. Строительство. Изд-во Новосибирской гос. акад. Строительства. 1994. № 12. – С. 87 – 89.

31. Эффективность использования промышленных отходов в строительстве/ Под ред. Я. А. Рекитара. М.: Стройиздат, 1975, – С. 184.
32. Использование промышленных отходов и попутных продуктов других отраслей в производстве строительных материалов и конструкций: Отчет о НИР\ ВНИИЭСМ. Рук. Вайл.- М, 1973. – С. 109.
33. Сергеев, А.М., Дибров Г.Д., Шмицько Е.И., Ковалев С.К. Применение местных материалов в строительстве. Изд-во «Бушвельник». Киев 1997, – С. 184.
34. Ласкорин, Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.Н. Безотходная технология в промышленности. М.: Стройиздат, 1986. – С. 160.
35. Залесский, Б.В., Розанов Ю.А. Применение местных пород как заполнителей в гидротехнических бетонах. Куйбышев, Оргэнергострой, 1957. – С. 135.
36. Боженков, П.И., Кавалерова В.И. Влияние природы заполнителей на прочность раствора // «Бетон и железобетон», 1961, №3. – С. 15 – 18.
37. Чернышов, Е.М., Потамошнева Н.Д. Развитие исследований по проблемам структурообразования портландитового камня // Актуальные проблемы строительного материаловедения: Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. Томск, 1998. – С. 4 – 7.
38. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, И.А. Пашков. – Киев: Выщашк., 1989. – С. 210.
39. Григоренко, М.Б. Минерально-сырьевая база промышленности строительных камня / М.Б. Григоренко. — М.: Недра, 1972. — С. 134.
40. Лесовик, Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках. Дисс. докт. техн. наук. — Белгород, 2009 — С. 463.
41. Строительные материалы :(Материаловедение. Строительные материалы) : учеб.для вузов / В. Г. Микульский [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Микульского, В. В. Козлова. - Гриф МО. - Москва : АСВ, 2004. - 530 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 521-524. - ISBN 5-93093-041-4 : 181-09.

42. Борзунов, В. М. Месторождения нерудных полезных ископаемых, их разведка и промышленная оценка / В. М. Борзунов. - Москва : Недра, 1969. - 336 с. - Библиогр.: с. 323-332.
43. Производство щебня из карбонатных пород. - Москва : Стройиздат, 1971. - 400 с. : ил.
44. Павленко, С. И. Мелкозернистые бетоны из отходов промышленности : учеб.пособие / С. И. Павленко. - Москва : Изд-во АСВ, 1997. - 150, [23] с. : ил. - Библиогр.: с. 139-150. - Прил.: с. 151-173. - ISBN 5-87829-040-5 : 47-73.
45. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия : взамен ГОСТ 10268-80 и ГОСТ 26633-85. - Изд. офиц. ;звед. 01.01.92 ; Изд. (июль 2003 г.) с изм. №1. - Москва :Изд-во стандартов, 2003. - 14 с. - (Межгосударственный стандарт.Группа Ж13). - 685-81.
46. ГОСТ 25192-82. Бетоны. Классификация и общие технические требования / НИИЖБ Госстроя СССР, М-во пром. строит.материалов СССР, М-во транспортного строит-ва, М-во энергетики и электрификации СССР. - Изд. офиц. ;звед. 01.01.83. - Москва : ГУП ЦПП, 1991. - 11 с. - (Государственный стандарт Союза ССР . Группа Ж13). - Копия.
47. Алимов, Л. А. Строительные материалы : учеб.для бакалавров, обуч. по направлению "Строительство" / Л. А. Алимов, В. В. Воронин. - Гриф УМО. - Москва : Академия, 2012. - 319, [1] с. : ил. - (Бакалавриат). - Библиогр.: с. 316. - ISBN 978-5-7695-8336-0 : 587-00.
48. Комар, А. Г. Строительные материалы и изделия : [учеб. для инж.-экон. специальностей строит. вузов] / А. Г. Комар. - Изд. 5-е, перераб. и доп. - Москва : Интеграл, 2015. - 518 с. : ил. - Библиогр.: с. 518. - 1080-00.
49. Арустамов, Э. А. Экологические основы природопользования : учебник / Э. А. Арустамов, И. В. Левакова, Н. В. Баркалова. - Москва : Дашков и К°, 2003. - 279 с. : ил. - Библиогр.: с. 278-279. - ISBN 5-94798-165-3 : 81-14.
50. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны / В. Г. Батраков. - Москва : Стройиздат, 1990. - 395 с. : ил. - Библиогр.: с. 387-392.

51. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы : учеб.-справ. пособие / Л. И. Касторных. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2005. - 221 с. : ил. - (Строительство). - Библиогр.: с. 216-219. - ISBN 5-222-07696-2 : 100-00.
52. ГОСТ 24211-91. Добавки для бетонов. Общие технические требования : Взамен ГОСТ 24211-80. - Изд. офиц. ; введ. 01.07.92; переизд. (май 2003 г.). - Москва : Изд-во стандартов, 2003. - 13 с. - (Межгосударственный стандарт. Группа Ж10). - 675-11.
53. ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава. - Изд. офиц. ; введ. 01.01.87 ; переизд. Февр. 2001 г. - Москва : Изд-во стандартов, 2001. - 5 с. - (Межгосударственный стандарт. Группа Ж13). - 600-01.
54. ГОСТ 27005-86. Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности. - Изд. офиц. ; введ. 01.01.88 ; Изд. (апр. 2003 г.) с поправкой (ИУС 9-89). - Москва : Издательство стандартов, 2003. - 6 с. - (Межгосударственный стандарт. Группа Ж19). - 600-01.
55. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны / В. Г. Батраков. - Москва : Стройиздат, 1990. - 395 с. : ил. - Библиогр.: с. 387-392.
56. Горчаков, Г. И. Строительные материалы : учебник / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. - Москва : Стройиздат, 1986. - 686, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 672. - Предм. указ.: с. 673-677.
57. Основин, В. Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В. Н. Основин, Л. В. Шуляков, Д. С. Дубяго. - Изд. 4-е. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. - 443, [1] с. : ил. - (Строительство и дизайн). - Библиогр.: с. 438. - ISBN 978-5-222-11710-1 : 209-00.
58. Malhotra, V.V. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review. // CANMET/ACI Symposium on Advances in Concrete Science Techn., Rome, oct. 7-10, 1997, Proceedings, p.p. 271-314.
59. ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытания».
60. Кононова, О.В. Модифицированный искусственный камень на основе отсеков дробления карбонатных пород [Электронный ресурс] / О.В. Кононова, В.Д. Черепов // Современные проблемы науки и образования. –

2013. – № 1. -URL: <http://www.science–education.ru/107–8295> (дата обращения 05.05.2019).

61. Иванко, М. В. Исследование состава высокопрочного бетона из отходов стекла и совершенствование технологии его приготовления / Иванко М.В. // Магистерская дис. – Тольятти: 2018. – С. 83.

62. Куляев, П.В. Эффективный мелкозернистый карбонатный бетон / Куляев, П.В. // дис. канд. техн. наук. – Тверь: 2017. – С. 163.

63. Пшеничный, Г.Н. К вопросу о поверхностном механизме твердения Портланд цемента./Г.Н. Пшеничный , Кубанский ГТУ// Технологии Бетонов №3-4, 2010 - С. 36-37.

64. Пшеничный, Г.Н. Обзор существующих представлений о твердении портландцемента/ Г.Н. Пшеничный, к.т.н., г. Краснодар// Технологии Бетонов №9-10, 2010 - С. 26-27.

65. Пшеничный, Г.Н. К вопросу о поверхностном характере твердения цементных систем/Г.Н. Пшеничный , Кубанский ГТУ, г. Краснодар//Технологии Бетонов №11-12, 2010.

66. Плотников, В.В. Влияние нанодисперсных модификаторов на формирование структуры цементного камня./В.В. Плотников, д.т.н., зав. каф. Стр. пр-ва Брянской Гос.Инж-Технолог.Академии// Технологии Бетонов №05-06, 2010 - С.54-56.

67. Каримов, И.Ш. Прочность сцепления цементного камня с заполнителями в бетоне и факторы, влияющие на нее. / И.Ш. Каримов, к.т.н., кафедра теор. и прикл. механики Башкирского государственного аграрного университета// Тех-нологии Бетонов Ч.1- №№11-12, 2009 с.-52-54., Ч2- №№1- 2, 2010 - С.23-25.

68. Хозин, В.Г. Карбонатные цементы низкой водопотребности// Технологии Бетонов №11-12, 2009 - С. 25-26.

69. Хозин, В.Г. Производство ЦНВиз техногенных отходов – эффективный путь решения экологических и сырьевых проблем/В.Г.Хозин,И.Р.

Сибгатуллин, О.В. Хохряков, Н.М. Красникова // Казань ГАСУ, Строительные материалы и изделия, 2012 - С.190

70. Белов В.В. Теоретические основы методики оптимизации гранулометрического состава композиций для изготовления безобжиговых строительных конгломератов / В.В. Белов, д.т.н., проф., зав. каф. «Строительные материалы» ТвГТУ, М.А. Смирнов, к.т.н., доцент. // Российская академия архитектуры и строительных наук: Москва-Орел-Курск, 2011. С.175-178.

71. Уруев В.М. Генезис карбонаткальциевых отходов и их характеристика. / В.М. Уруев, К.Н. Алексеева, И.Е. Соловьева, О.М. Шанина // сборник материалов XVI МНТК «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности» ТулаГУ. 2015 С. 149.

72. Уруев В.М. Исследование мелкозернистых бетонов с применением карбонатных микронаполнителей. / В.М. Уруев, К.Н. Алексеева, И.Е. Соловьева, О.М. Шанина // сборник материалов XVI МНТК «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности» ТулаГУ. 2015 С. 152.

73. Балыков А.С. Разработка составов высокопрочных мелкозернистых бетонов на природном и техногенном заполнителях и критериев оценки их эффективности // А.С. Балыков, Т.А. Низина., Л.В. Макарова // Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Высокопрочные Цементные Бетоны: Технологии, Конструкции, Экономика (ВПБ-2016), 2016. СТР. 19.

74. Peter Paulini, Andreas Saxer. Grenzen der Kornoptimierung von Zement und Zusatzstoff. Universitat Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften. Beton №58, 03/2008. – p.4

75. Nehdi, M., Mindess, S., and Aitcin, P., 1996, —Optimization of high strength limestone filler cement mortars,|| Cement and Concrete Research, Vol. 26, No. 6, pp. 883-893.

76. Pieter Desnerck. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers./ Pieter Desnerck, Geert De Schutter, Luc Taerwe//Ernst&Sohn, Structural concrete 13, N2, Berlin, 2012. - p.46
77. G. De Schutter. Effect of limestone filler as mineral addition in self-compacting concrete/ Belgium Magnel laboratory of concrete research/36 Conference on Our World in concrete & Structures, Singapore, 14-16/08/2011. – p. 25
78. Amlan K Sengupta. Prestressed concrete structures. / Amlan K Sengupta, Devdas Menon//Indian Institute of technology, Madras. 2002. – p.13