

Ефременко А. С.

**Высокопрочные легкие бетоны
на основе тонкомолотых
композиционных вяжущих
с использованием зол терриконики**

Монография

Национальный исследовательский Иркутский государственный
технический университет

Ефременко А. С.

**ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ
НА ОСНОВЕ ТОНКОМОЛЮТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ВЯЖУЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛ ТЕРРИКОНИКОВ**

Монография

Санкт-Петербург
Научные технологии
2019

УДК 666.973.2

ББК 38.626.1

Е 92

Рецензенты:

А. М. Сычева, доктор технических наук доцент,

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского;

С. В. Макаренко, кандидат технических наук,

Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Е 92 Ефременко А. С. Высокопрочные легкие бетоны на основе тонкомолотых композиционных вяжущих с использованием зол террикоников: монография. – СПб: Научное издательство «Лань», 2019. – 128 с.

ISBN 978-5-6044036-0-0

В монографии предложены принципы получения высокопрочных модифицированных легких бетонов на основе тонкомолотых композиционных вяжущих, полученных механоактивацией портландцемента и высокоактивного наполнителя – зол террикоников. В работе установлено, что механоактивация зол террикоников приводит к значительной её аморфизации, повышая химическую активность механически обработанных систем, увеличению степени гидратации тонкомолотых композиционных вяжущих и образованию устойчивых гидратных новообразований.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся изучением и разработкой композитных строительных материалов.

© Ефременко А. С., 2019

© Оформление. Издательство

«Научное издательство «Лань», 2019

ISBN 978-5-6044036-0-0

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ	10
1.1 Конструкционные легкие бетоны	10
1.1.1 Опыт получения и применения высокопрочных бетонов за рубежом и в России	12
1.1.2 Получение самоуплотняющихся бетонов	14
1.2 Сырьевые материалы для получения легких высокопрочных бетонов	16
1.2.1 Вяжущие вещества для легких высокопрочных бетонов	16
1.2.2 Заполнители для получения легких высокопрочных бетонов ..	24
1.2.3 Модификаторы для получения легких высокопрочных бетонов	28
1.3 Анализ проблемы и постановка задач исследований	35
2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ	37
2.1 Характеристика сырьевых материалов для получения высокопрочных легких бетонов	37
2.2 Объект и методы проведения исследований	48
2.2.1 Объект исследований	48
2.2.2 Методологическая схема проведения исследований	48
2.3 Методики исследований	50
2.3.1 Свойства тонкомолотых композиционных вяжущих и бетонов	50
2.3.2 Общие методические положения, принятые при проведении экспериментов	50
2.4 Методы исследований	52
2.4.1 Рентгенофазовый анализ	52
2.4.2 Электронно-микроскопический анализ	53
2.4.3 Определение гранулометрии веществ	56
2.4.4 Прочность кубиковая и призмная. Коэффициент призмной прочности	57

2.4.5 Модуль упругости. Коэффициент Пуассона. Предельная сжимаемость бетона.....	57
2.4.6 Усадка бетона	59
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОМОЛОТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ ТЕРРИКОНИКОВ	60
3.1 Оптимизация составов вяжущих для производства легких высокопрочных бетонов	64
3.1.1 Исследование влияния количества и вида золы на физико-механические свойства тонкомолотых композиционных вяжущих	64
3.1.2 Влияние тонкости помола на свойства ТКВ с использованием золы террикоников	66
3.1.3 Влияние вида и количества ПАВ на свойства тонкомолотых композиционных вяжущих	69
3.1.4 Подбор составов ТКВ и определение основных характеристик	70
3.2 Выводы по главе 3.....	72
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА.....	74
4.1 Оптимизация составов высокопрочного легкого бетона.....	75
4.1.1 Влияние состава и количества органоминеральной добавки на свойства легкого бетона	76
4.1.2 Анализ структуры легкого бетона.....	79
4.1.3 Оптимизация составов методом математического планирования эксперимента	81
4.1.4 Определение основных физико-механических характеристик легких бетонов.....	86
4.2 Оптимизация состава безобжигового зольного заполнителя на основе золы террикоников	87
4.3 Технологическая схема производства высокопрочного легкого бетона на основе тонкомолотого композиционного вяжущего	90
4.4 Выводы по главе 4.....	92
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА.....	93
5.1 Определение стоимости бетонной смеси	93
5.2 Выбор оптимального конструктивного решения	94

5.2.1 Варианты оптимизации конструктивного решения	94
5.2.2 Расчет технико-экономических показателей для выбора оптимального конструктивного решения.....	97
5.3 Выводы по главе 5.....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	110
Приложения	125
Приложение А	125
Приложение Б.....	127

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВНВ	– вяжущие низкой водопотребности;
ЗТ	– зола терриконигов;
ЗУ	– зола уноса;
ЗАГ	– зольный аглопоритовый гравий;
КЛТР	– коэффициент линейного температурного расширения;
МПЭ	– математическое планирование эксперимента;
ПФЭ	– полный факторный эксперимент;
ПЦ	– портландцемент;
РФА	– рентгенофазовый анализ;
ТКВ	– тонкомолотые композиционные вяжущие;
ТМЦ	– тонкомолотые многокомпонентные цементы;
ФДМ	– фотодиодная матрица;
ЦШЩВ	– цементношлакощелочное вяжущее;
ШЩВ	– шлакощелочное вяжущее вещество.

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия ознаменовались разработкой и освоением бетонов нового поколения, востребованных интенсивно развивающимся строительством монолитных и монолитно-каркасных зданий и сооружений, в том числе высотных.

Строительство в районах с суровым климатом и высокой сейсмической активностью, к которым относится и Иркутская область, характеризуется высокими требованиями по энергосбережению и долговечности. Возникает необходимость внедрения новых, прогрессивных технологий, обеспечивающих выпуск высококонкурентоспособных материалов, снижение материалоемкости, стоимости строительства и требуемое энергосбережение при эксплуатации зданий. Одним из перспективных путей снижения стоимости возведения ограждающих конструкций и соответственно стоимости строительства является возврат к конструкциям стен из легкого бетона. Длительный опыт эксплуатации зданий из легкого бетона подтвердил их высокую долговечность, экологическую безопасность и эксплуатационную надежность.

В связи с развитием высотного каркасного строительства возникает вопрос получения высокопрочных легких бетонов, получаемых из высокоподвижных бетонных смесей. Кроме того, в технологии монолитного домостроения возникает ряд проблем: расслоение бетонной смеси по высоте и нарушение однородности бетона, образование раковин при недостаточном уплотнении бетонной смеси и др., которые не позволяют обеспечить необходимые физико-механические характеристики конструкций. Эти негативные явления могут быть компенсированы за счет применения минеральных тонкодисперсных наполнителей, в частности золы-уноса, микрокремнезема и др.

В настоящее время в Иркутской области складированы тысячи тонн золы терриконики (ЗТ), которые образуются при добыче угля, а также ежегодно образуется более 1500 тыс. тонн золошлаковых отходов, которые могут быть использованы в технологии производства эффективных строительных материалов.

Иркутская область является высокосейсмичным районом. Расчет на сейсмику производится из условия сейсмичности в 9 баллов. Также

температурный режим обуславливается резко континентальным климатом, который характеризуется перепадом температуры в течение года от -50°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Все выше перечисленным говорит о том, что внедрение легких бетонов в строительном комплексе Иркутской области, является актуальной задачей.

В монографии предложены принципы получения высокопрочных модифицированных легких бетонов на основе тонкомолотых композиционных вяжущих, полученных механоактивацией портландцемента и высокоактивного наполнителя – золы терриконигов. В работе установлено, что механоактивация золы терриконигов приводит к значительной её аморфизации, повышая химическую активность механически обработанных систем, увеличению степени гидратации тонкомолотых композиционных вяжущих (ТКВ) и образованию устойчивых гидратных новообразований.

Показан характер влияния состава тонкомолотых композиционных вяжущих и органоминеральной добавки с использованием золы терриконигов, вида пластифицирующей добавки на процессы структурообразования бетонной смеси и свойства легкого бетона. Доказано, что использование золы терриконигов в составе тонкомолотых композиционных вяжущих и органоминеральной добавки позволяет оптимизировать структуру легкого бетона на микро- и макроуровне.

Выявлены зависимости деформативно-прочностных и свойств высокопрочного легкого бетона от расхода тонкомолотого композиционного вяжущего с использованием золы терриконигов, вида и количества органоминеральной добавки и вида заполнителя.

С применением результатов, описанных в монографии, разработаны составы ТКВ с использованием золы терриконигов. В результате установлено, что активность ТКВ с содержанием до 20% золы терриконигов почти в 1,5 раза больше активности обычного портландцемента, что является целесообразным с экологической и экономической точки зрения.

Разработаны составы органоминеральной добавки для бетона, включающие в себя золу терриконигов, микрокремнезем и суперпластификатор, применение которых улучшает физико-механические и эксплуатационные свойства легкого бетона на основе тонкомолотого композиционного вяжущего.

Разработаны составы конструкционных легких бетонов на основе ТКВ с использованием золы терриконики, позволяющие получить легкобетонные изделия со средней плотностью 1600-1650 кг/м³, прочностью при сжатии 45-60 МПа, теплопроводностью 0,30-0,34 Вт/м⁰С.

В работе приведены расчеты строительных конструкций с использованием разработанных легких бетонов, которые доказали, что применение легкого бетона позволит экономить арматурную сталь при строительстве многоэтажных железобетонных зданий, снизить вес конструкций, что приведет к повышению сейсмостойкости зданий, снижению теплопроводности зданий (увеличению их энергоэффективности) и повышению пожаростойкости конструкций.

Полученные составы высокопрочного легкого бетона апробированы на ЗАО «Иркутскпромстрой», г. Иркутск. В производственных условиях получены бетоны с прочностью 58 МПа, плотностью 1670 кг/м³.

Теоретические положения, а также результаты экспериментальных лабораторных исследований и промышленного внедрения, изложенные в монографии, используются в учебном процессе Иркутского государственного технического университета при подготовке инженеров по специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство», бакалавров и магистров.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

1.1 Конструкционные легкие бетоны

Снижение материалоемкости и теплопроводности строительных конструкций без потери их несущей способности и других эксплуатационных свойств является одной из целей повышения эффективности строительства. Одним из практических путей ее достижения является разработка и применение легких и прочных бетонов с пониженной теплопроводностью и водопроницаемостью [48].

Производство пористых заполнителей и бетонов на их основе началось примерно в 1956 г. и за тридцать лет достигло своего пика, так в 1986 г. в стране действовало 463 предприятия и произвелось 47,7 млн м³ заполнителей [36].

Наибольшее распространение получило производство керамзитового гравия, выпуск которого в 1986 г. составил 33,99 млн. м³, а в 1989 г. был достигнут максимум производства керамзита – 39,42 млн. м³ [171] и соответственного легкого бетона на его основе.

Пик использования керамзитобетона в жилищном строительстве пришелся на 80-е гг. прошлого века. При общем объеме – 76 млн. м² жилья, возводимого в СССР в 1988 г., из них 80% приходилось на крупнопанельное домостроение на основе керамзитобетона [19, 91].

Уже в 1980 г. на всесоюзном семинаре «Эффективные конструкции из легких бетонов» остро встал вопрос о недостаточном развитии производства несущих керамзитобетонных конструкций [126]. Мировая практика показывает, что легкие бетоны на пористых заполнителях дают значительное сокращение общей массы зданий и сооружений, снижение материалоемкости и трудозатрат при сохранении необходимой капитальности и долговечности объектов. Таким образом, легкий бетон обеспечивает высокую технико-экономическую эффективность при использовании в несущих конструкциях [46, 69].

Также сегодня замечен рост производства пенобетона и газобетона автоклавного и неавтоклавного твердения, который, как правило, применяют в качестве самонесущего заполнителя наружных стен. Из-за

низкой прочности на сжатие он не может быть использован в несущих конструкциях.

С развитием высотного строительства требуются все более совершенные составы бетонов и технология их приготовления. Развитие бетонов для высотного строительства пошло по пути создания тяжелых особо высокопрочных бетонов ($R_{сж,} > 80 \text{ МПа}$, при $\rho_{об} = 2200 \text{ кг/м}^3$) и высокопрочных легких бетонов ($R_{сж,} > 40 \text{ МПа}$, при $\rho_{об} = 1500 \text{ кг/м}^3$) [96].

Пути достижения данных характеристик бетона представлены на рисунке 1.1.

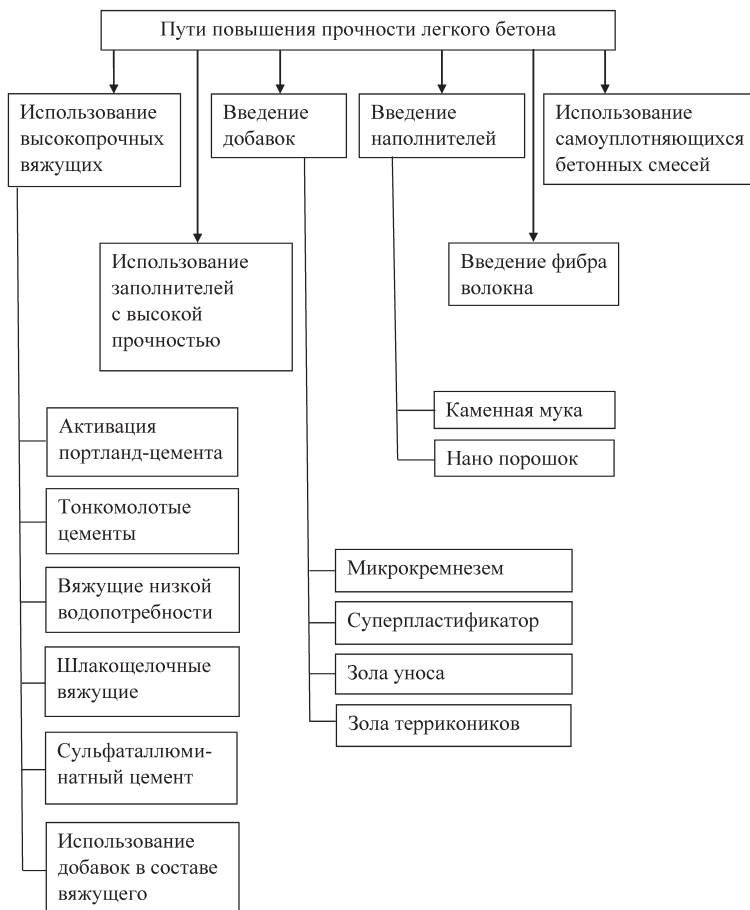


Рисунок 1.1 – Пути повышения прочности легкого бетона

Анализ основных путей повышения высокопрочного легкого бетона (рис. 1.1) показал, что для его получения необходимо: использование высокопрочных вяжущих, таких как: активированный портландцемент, тонкомолотые цементы, вяжущие низкой водопотребности, шлакощелочные вяжущие, сульфоалюминатные цементы и вяжущие с различными добавками; использование заполнителей с высокой прочностью; введение добавок и наполнителей или приготовление самоуплотняющихся бетонных смесей. Причем эти методы можно применять в разных сочетаниях либо по отдельности.

1.1.1 Опыт получения и применения высокопрочных бетонов за рубежом и в России

На Западе высокопрочные легкие бетоны получили самое обширное применение. К примеру, только одна Норвегия с 1989 по 1997 годы использовала около 200 000 м³ легких бетонов, имеющих класс от LC45/50 до LC60/66. Из высокопрочных легких бетонов возводят даже уникальные объекты, так при возведении Нью-Йоркского международного аэропорта использовались железобетонные конструкции из керамзитобетона. Четыре секции 90*60 м возведены с использованием данного материала – керамзитобетона прочностью 41 МПа и плотностью 1850 кг/м³. Легкие бетоны активно применяются при возведении высотных зданий не только в США, но и в Англии, Австралии, Японии, Голландии. В частности, в Хьюстоне легкобетонные конструкции предварительно напряженные позволили построить здание, высотой 220 м, в Сиднее – 180м, в Лондоне – 142м и т. д. [46].

Сегодня практикуется замена типовых настилов перекрытий тяжелого бетона легким той же марки. При замене конструкции сохраняют проектную несущую способность. Жесткость керамзита отвечает нормативным требованиям. Использование керамзитобетона для предварительно напряженных многопустотных панелей длиной 6 м не снижает их несущую способность и трещиностойкость по сравнению с аналогичными изделиями из тяжелого бетона. Замена тяжелого бетона легким при изготовлении элементов покрытий практикуется и зарубежом. Например, в Великобритании фирма «Ричард Лиис» выпускает предварительно напряженные кругло-пустотные настилы из легкого бетона длиной 9 м, шириной 330-1727 мм и высотой 102-254 мм.

В США керамзитобетонные детали покрытий перекрытий нормированы стандартом Американского института бетона и в известной степени типизированы выпускающими их фирмами.

В 2003 г. в Германии был получен допуск на использование легкого самоуплотняющегося бетона. Несмотря на низкую плотность в незатворенном состоянии, равную $1,38 \text{ кг/дм}^3$, этот бетон обладает прекрасной подвижностью и способностью самоуплотняться. Его механические свойства аналогичны свойствам обычного бетона [148].

В России, одним из примеров использования высокопрочного легкого бетона, является возведение административно-управленческого 25-этажного здания расположенного в г. Москва, ул. Наметкина, вл.14 в 2006 г. (рис. 1.2) Конструкции каркаса выполнены из конструкционного легкого бетона. Марка бетонной смеси БСГ В40 П5 D1800. Объем уложенного бетона $13\,000 \text{ м}^3$ [62].



Рисунок 1.2 – Административно-управленческое 25-этажное здание

Патентный поиск показал, что запатентованных составов высокопрочного легкого бетона ($R_{сж} \geq 40 \text{ МПа}$) практически нет. Единственный патент был получен в 2007 г. российскими учеными А. Н. Пономаревым и М. Е. Юдовичем. В ее состав входят наномодификатор и модифицированное базальтовое волокно. Прочность бетона при сжатии достигает 47 МПа при плотности $1,63 \text{ кг/дм}^3$ [153]. Остальные

патенты на легкие бетоны [154, 155] как правило, преследуют цель либо максимального вовлечения отходов производства, либо понижение плотности бетона, либо улучшение физико-механических характеристик (морозостойкость, водонепроницаемость, усадка и др.), но прочность бетона не достигает 40 МПа. Так же зарегистрированы патенты РФ на высокопрочный тяжелый бетон [156-161], прочность которых достигает 100 МПа.

1.1.2 Получение самоуплотняющихся бетонов

Согласно рисунку 1.1 одним из путей получения высокопрочного бетона является использование самоуплотняющихся бетонных смесей, которые в России являются перспективной новинкой, а в мировой строительной практике используются уже 20 лет [99, 110].

Главным отличием самоуплотняющихся бетонных смесей от высокоподвижных (литых) является возможность их укладки вообще без принудительного уплотнения. Смесь растекается по конструкции и равномерно уплотняется под действием сил тяжести. Это позволяет, с одной стороны, значительно упростить и удешевить технологию работ, а с другой – добиться равномерного уплотнения по всему объему конструкции, которое не достижимо при уплотнении с помощью вибрации [17, 18].

Требования к выбору компонентов самоуплотняющихся бетонных смесей и к подбору их составов коренным образом отличаются от традиционных, применяемых как для обычных, так и для высокопрочных бетонов. Основными из них является повышенный расход мелкодисперсных компонентов ($600-660 \text{ кг/м}^3$), использование цемента марки не менее М500, пониженный расход щебня (40-50% общей массы заполнителя), обязательное наличие в составе наполнителей, представляющих собой тонкодисперсную известняковую муку и микрокремнезем, либо молотый песок, а также очень высокая дозировка сильного суперпластификатора [84, 85].

Поскольку стоимость самоуплотняющихся бетонных смесей достаточно высока, логичным и экономически оправданным будет их применение для получения высокопрочных бетонов.

В российских нормах пока нет градации самоуплотняющихся бетонных смесей. В европейской нормативной литературе [152] представлены три класса самоуплотняющихся бетонных смесей: SF1 –

расплыв конуса 55-65 см; SF2 – расплыв конуса 66-75 см; SF1 – расплыв конуса 76-85 см.

Импортные суперпластификаторы на поликарбоксилатной основе, обладающие водоудерживающим эффектом (30% и более), стоят в несколько раз дороже российских аналогов, имеющие водоудерживающий эффект около 20%. Поскольку простое увеличение расхода пластификатора не решает проблему, напрашивается предложение усилить действие отечественных суперпластификаторов. Наиболее простым и дешевым способом усиления суперпластификаторов на нафталинформальдегидной основе, является введение в их состав сверхмалой дозы поликарбоксилатов. Попытка как-то совместить эти две добавки, имеющие различный механизм действия, предпринимались ранее, но, как правило, заканчивались неудачей [86].

Присадка поликарбоксилатов в количестве 0,001 от массы сухого остатка нафталинформальдегидного суперпластификатора позволяет весьма существенно (примерно на 20%) усилить его действие. Механизм этого явления пока не ясен, но целесообразность его использования очевидна, так как удорожание является ничтожным.

Введение в состав самоуплотняющихся бетонных смесей инертных наполнителей, например, каменной муки, преследует несколько целей [87].

В первую очередь это улучшение реологических свойств: учитывая, что речь идет о высокопрочных бетонах, экономия цемента не рассматривается. Второочередной целью является уплотнение структуры бетона. Не менее важным считается сокращение индукционного периода за счет изначального присутствия в растворе большого количества искусственных зародышей. С. С. Каприелов вводил в самоуплотняющиеся бетонные смеси 50 кг/м^3 тонкомолотого известняка [61].

Эксперименты показали, что с почти равным успехом можно как вообще отказаться от введения минерального порошка в самоуплотняющуюся бетонную смесь, заменив его пылеватыми частицами песка, либо снизить его содержание до 5 кг/м^3 , так и, наоборот, многократно увеличить его содержание (до 271 кг/м^3), заменив им часть песка.

В качестве активных наполнителей, по сути, являющихся частью вяжущего, традиционно используются аморфный микрокремнезем и

зола уноса. Считается, что для самоуплотняющихся бетонных смесей аморфный микрокремнезем предпочтительнее, так как он имеет меньшее водопотребление. Однако микрокремнезем химически преобразует только силикатную часть цементного камня, а у него есть еще и алюминатная составляющая. Трехкальциевые алюминаты цементного клинкера при гидратации обеспечивают раннюю, но не высокую прочность. Высокопрочные соединения образуются при гидратации однокальциевых алюминатов. На Рошальском химическом заводе (г. Воскресенск) началось производство добавки ТНК, представляющей собой искусственный аналог микрокремнезема, но отличающийся от него присутствием 14-17% Al_2O_3 . При замене этой добавкой половины аморфного микрокремнезема, который вводится в самоуплотняющуюся бетонную смесь, В/Ц увеличилось на 0,04, что должно было привести к снижению прочности. Тем не менее прочность в возрасте 28 сут. не только не снижается, но даже увеличивается на 6 МПа [25].

Считается, что самоуплотняющиеся бетонные смеси необходимо приготавливать на крупном песке. Иногда в их состав дополнительно вводится гравий фракции 3-8 мм. Эксперименты показали, что снижение $M_{кр}$ песка с 2,8 до 2,2 позволяет снизить В/Ц в равноподвижных самоуплотняющихся бетонных смесях примерно на 0,03.

1.2 Сырьевые материалы для получения легких высокопрочных бетонов

1.2.1 Вяжущие вещества для легких высокопрочных бетонов

Портландцемент – основное вяжущее, применяемое в современном строительстве для изготовления каменных и железобетонных конструкций.

Перспективным во многих отношениях способом повышения эффективности производства и применения цемента, получившим в последние годы широкое признание в мировой практике, является выпуск смешанных (композиционных, многокомпонентных, модифицированных) цементах.

Увеличение доли и видов минеральных добавок в цементах обусловлено в первую очередь необходимостью энергосбережения при их производстве, а также стремлением целесообразно и полно использовать гидравлическую активность добавок, их положительное

влияние на структурообразование цементного камня и бетонов, формирование технологических и строительно-технических свойств. К основным причинам «ассортиментного взрыва» цемента следует отнести и растущее разнообразие потребностей цивилизации, активное развитие науки и технологии вяжущих, дальнейшее расширение технологических возможностей промышленности. Очевидно, что в обозримом будущем приоритет по-прежнему будет принадлежать модифицированным и смешанным вяжущим [114, 120, 121].

А. В. Волженский и А. Н. Попов при изготовлении смешанных цемента отдавали предпочтение повторному помолу портландцементов с минеральными добавками, что способствовало получению высокопрочных смешанных цемента. При этом, в отличие от способов непосредственного смешивания добавки и цемента в бетоносмесители, происходит более тонкого дополнительного измельчения частичек минеральной добавки, т. е. зерна клинкера, из-за повышенной прочности играют роль мелющих тел [32].

В. В. Стольников и В. В. Кинд установили, что в условиях пропаривания и нормального твердения возможно заменить 25 и более процентов цемента минеральной добавкой [105]. При этом увеличение удельной поверхности вяжущего с 260 до 400 м²/кг повышает прочность бетона на 123-139%, а при помоле до 600 м²/кг – на 131-150% от прочности бетона без добавки.

Одним из перспективных направлений практического повышения полезных свойств вяжущих веществ является их **активация**. Она ведет к увеличению удельной поверхности вяжущих, изменению поверхностной структуры частиц, возникновению физических дефектов в подрешетках и решетках минералов, ускоряющих элементарные взаимодействия поверхностного слоя с водой [1, 82].

Для изучения возможности использования активированного цемента в промышленных условиях опытные образцы на основе исходного и активированного вяжущих формировались следующим способом – виброуплотнение. В качестве исходного вяжущего был принят промышленный цемент М400. Активированный цемент получали путем однократной обработки в пятирядном дисмембраторе при частоте вращения ротора 600 мин⁻¹. Линейная скорость ротора при этом составляла 50 м/с. В результате помола цемента происходит увеличение его удельной поверхности от 250 м²/кг до 490 м²/кг [83].

Опытные образцы изготавливались из пластичного цементно-песчаного раствора. Прочность виброуплотненных образцов на основе активированного цемента почти в три раза выше, чем прочность образцов на основе исходного цемента при одинаковом содержании вяжущего вещества в бетонной смеси [83].

В нашей стране в последние годы разрабатываются принципиально новый вид вяжущего, получивший условное название **«вяжущее низкой водопотребности»** [13-16, 80], которые открывают новые перспективы получения высокопрочных бетонов, получаемых при совместном помолу портландцемента, минеральных добавок и модификаторов [5]. Последние, выполняя роль оболочки микрокапсулы вокруг гидратационно-активных частиц клинкерных минералов и других аморфных веществ, временно препятствуют химическому взаимодействию их с водой, т. е. замедляют процесс смачивания сильно развитой поверхности вяжущего. В результате этого уменьшается количество воды затворения нормальная плотность этих вяжущих в среднем равна 18% [6].

Исследованиями Ш. Т. Бабаева [109] установлено, что в цементном камне при уменьшении клинкерной части вяжущего низкой водопотребности происходит повышение относительного объема микропор и микрокапилляров при значительно меньшей, чем у портландцемента интегральной пористости. Это определяет высокие эксплуатационные свойства, и прежде всего морозостойкость бетонов.

Современные представления о перспективах использования вяжущих низкой водопотребности для получения бетонов разрознены и не всегда однозначны [57]. С одной стороны, применение модификаторов и вяжущих низкой водопотребности приводит к получению высокооднородной структуры цементного камня с высокой плотностью вследствие низкого значения водоцементного отношения [42], что дает возможность получать прочные и долговечные изделия. С другой – некоторые специалисты считают, что слишком тонкий помол цемента и низкое значение водоцементного отношения негативно отражаются на долговечности бетона и его прочности [7].

Результаты ранее проведенной работы [130] показали возможность применения резорцинфурфурольных олигомеров (суперпластификатор СБ-5) в качестве модификаторов при получении вяжущих низкой водопотребности. При этом наблюдался значительно больший прирост

прочности у вяжущих низкой водопотребности, чем у тонкомолотых цементов, после испытания образцов через 7 лет их прочность увеличилась. Негативных последствий хранения не наблюдали.

В последние годы был синтезирован более эффективный модификатор на основе флороглюцинфурфурольных олигомеров СБ-ФФ, который был исследован в работе [101]. Исследования показали, что данная добавка может быть использована в качестве эффективного модификатора при получении вяжущих низкой водопотребности и высокопрочных бетонов на их основе.

В качестве более простого и дешевого варианта находит применение способ, основанный на изготовлении тонкомолотых многокомпонентных цементов с различными минеральными добавками и последующем введении жидких суперпластификаторов с водой при приготовлении бетонной смеси.

Одним из наиболее эффективных вяжущим для производства легкого бетона (особенно для полистиролбетона) представляются **шлакощелочные вяжущие вещества** с использованием в качестве щелочного компонента раствора модифицированного жидкого стекла. Такие вяжущие характеризуются прочностью на сжатие в интервале 100-120 МПа. Кроме того, химическая активность компонентов вяжущего формирует контактную зону цементный камень – заполнитель повышенного качества. В частности, создается плотная, прочная, практически не проницаемая оболочка вокруг зерен, которая повышает сопротивляемость бетона внешним механическим и химическим воздействиям, повышает степень однородности напряжения и деформаций в структурных элементах конгломерата и предохраняет заполнитель от участия во влагообменных процессах [26].

По марочной прочности шлакожидкостекольное вяжущее относится к высокопрочным.

Ему присуще длительное нарастание прочности. К годовичному возрасту механическая прочность образцов относительно 28-суточной возросла; прирост прочности в ряду жидкостекольных систем с силикатным модулем 2,5 и 3,5 составила соответственно 112,36 и 16%.

Один из путей создания высокопрочного и быстротвердеющего легкого и тяжелого бетона – это создание из композиции портландцемента со стеклошлаковым связующим комбинированного быстротвердеющего и высокопрочного цементношлакощелочного

вяжущего. Жидкостекольная составляющая такого вяжущего, обладающая хорошей адгезией к большинству материалов, представляет расширение сырьевой базы мелкозернистых заполнителей за счет замены кварцевого песка на недефицитные и дешевые природные и техногенные материалы. Абсолютные значения прочностных характеристик и особенности микростроения бетона зависят от механизма химических реакций, природы, количественных соотношений и пространственного расположения возникающих фаз. Таким образом, правильный выбор вида, количества и сочетания вводимых в бетон смесь добавок дает возможность направленно регулировать процессы твердения и управлять структурой новообразований. Особенно перспективно применение добавок, самостоятельно проявляющих вяжущие свойства или интенсифицирующих таковые у модифицируемого химически и структурно вяжущего. К добавкам такого типа по всем параметрам относятся шлакожидкостекольное вяжущее, в котором щелочесодержащим компонентом является жидкое стекло, в частности натриевое [41].

По марочной прочности шлакожидкостекольное вяжущее относится к высокопрочным.

На сегодняшний день хорошо известен еще один вид вяжущих – **сульфоалюминатный цемент**, в процессе гидратации которых образуются гидросульфалюминаты кальция, играющие важную роль в обеспечении свойств твердеющего цементного камня. Они характеризуются высокой скоростью твердения и обеспечивают компенсацию усадки, расширения и самонапряжения цементного камня в процессе его твердения. Основой указанных цемента является сульфалюминатный клинкер, фазовый состав которого в отличие от портландцементного клинкера представлен сульфалюминатами и сульфоферритами кальция [71, 72].

В производстве вяжущих также широко могут использоваться попутные минеральные продукты теплоэнергетики. В [29, 117, 118] рассмотрены варианты возможного применения попутных минеральных продуктов в производстве минеральных вяжущих. Попутные минеральные продукты отечественной энергетики представлены золошлаковыми смесями из гидроотвалов, золами уноса, продуктами мокрого обессеривания отходящих газов от сжигания угля, золошлаками

от сжигания углей и сланцев в энергогенераторах кипящего слоя и др.

Так же Иркутским государственным университетом была исследована возможность использования в качестве активной минеральной добавки для портландцемента золы терриконики, которая является отходом промышленности и в большом объеме присутствует в Черемховском районе Иркутской области. Результаты исследований показали, что зола терриконики может быть использована как добавка для портландцемента [163].

Учеными из института химии и технологии редких элементов и минерального сырья г. Апатиты были проведены исследования по получению смешанных цементов на основе гранулированного медно-никелевого шлака, извести и гипса [40]. Определение радионуклидов в медно-никелевых шлаках показало безопасность последних при использовании в качестве строительных материалов [39]. Исследования показали, что известняково-шлаковый цемент, состоящий из смеси гранулированного медно-никелевого шлака, негашеной извести и гипса, является гидравлическим вяжущим.

Белгородским ГТУ были проведены исследования по использованию **природного перлита** в составе смешанных цементов. В работе был исследован перлит Мухор-Талинского месторождения как активная минеральная добавка к портландцементу.

Аморфные эффузивные породы изначально являются высокоактивными веществами, в которых максимально сконцентрирована энергетика геологических процессов. Распределение растворенных газов в процессе твердения приводит к образованию высокой удельной поверхности. Предполагается, что накопленный суммарный энергетический потенциал найдет реализацию в вяжущих системах путем проявления высокой пуццолановой активности и эффективного влияния на процессы гидратации и синтеза прочности цементного камня [73].

Для выяснения влияния дисперсности перлита на его гидравлическую активность и прочность получаемых из смешанных цементов конгломератов в работе использован порошкообразный перлит двух фракций: тонкодисперсный – с удельной поверхностью $800 \text{ м}^2/\text{кг}$ и порошок с микронными размерами части, $S_{уд}=2100 \text{ м}^2/\text{кг}$ [73].

Анализ результатов испытания композитов из смешанных цементов на сжатие позволил сделать следующие выводы: использование

тонкодисперсных перлитов в составе смешанных цементов в количестве до 20% приводит к повышению марочной прочности от 10 до 30% в сравнении с прочностью цемента марки ПЦ500-Д0. Степень упрочнения увеличивается с повышением дисперсности перлита, наиболее эффективна добавка в количестве 5%, при этом предел прочности при сжатии повышается на 30%; смешанные цементы, содержащие перлит в количестве до 20 мас.%, характеризуются быстрым набором прочности в ранние сроки твердения; темпы прироста прочности смешанных цементов в период основной фазы гидратации выше, чем в портландцементе ПЦ500-Д0; добавка перлита в смешанные цементы в количестве более 20% приводит к снижению прочности.

На кафедре технологии бетонов, керамики и вяжущих Пензенского государственного университета архитектуры и строительства были получены результаты в области создания особо высокопрочных **безобжиговых бесцементных материалов из осадочных и вулканических пород** [56].

Уникальность этих разработок состоит в том, что измельченные в порошок горные породы – гравелиты, глаукониты, силициты, базальты, диабазы, андезиты, сиениты, граниты и др. при температуре до 130-180⁰С с добавками шлака или без них в присутствии щелочей NaOH, КОН формируют фазовые контакты, обеспечивающие прочность композитов до 130-180 МПа при относительно низкой средней плотности 1750-1900 кг/м³, с пористостью 25-30%. До 80% отходов горнорудной промышленности – тонкоизмельченные порошки, на которые затрачивается огромное количество энергии. В отличие от цемента, для получения которого после помола и дробления сырья необходимо высокотемпературный обжиг при $t=1500^{\circ}\text{C}$ с последующим высокоэнергоемким помолом клинкера, для создания геополимерных вяжущих нужен только помол и нормальное или низкотемпературное тепловое отверждение с малым количеством химических добавок [56].

Топологическими расчетами и экспериментальными исследованиями молотых горных пород при соотношении шлака к горной породе как 20 к 80 был доказан ионно-растворно-диффузионный механизм отвердевания системы и опровергнут топохимический процесс [55].

Недостатком ряда малощелочных и малошлаковых составов является повышенное водопоглощение и низкий коэффициент

водостойкости, не превышающий 0,55-0,7, в зависимости от типа породы. Для снижения водопоглощения при длительном экспонировании в воде и повышения коэффициента водостойкости использовались гидрофобизаторы – стеараты цинка и кальция. Они представляют собой порошкообразные металлические мыла с высокой удельной поверхностью и повышенным водоотталкивающими свойствами [56].

По обзору литературы по вяжущим веществам, проведенного выше, была составлена таблица 1.1.

Таблица 1.1 – Виды вяжущих веществ

№ п.п.	Вид вяжущего	Способ получения	Основные характеристики
1	Портландцемент (ПЦ)	В результате помола цементного клинкера	$R_{сж}$ = до 52,5 МПа $S_{уд}$ = до 300 м ² /кг
2	Активированный портландцемент	Повторный помол ПЦ	$R_{сж}$ = 300% от исходного $S_{уд}$ = до 600 м ² /кг
3	Вяжущие низкой водопотребности (ВНВ)	Совместный помол ПЦ, минеральной добавки и модификатора	$R_{сж}$ = до 120 МПа $S_{уд}$ = до 600 м ² /кг
4	Тонкомолотые многокомпонентные цементы (ТМЦ)	Совместный помол ПЦ и минеральной добавкой с последующим введением пластификатора в жидком виде с водой затворения	$R_{сж}$ = до 80 МПа $S_{уд}$ = до 600 м ² /кг
5	Шлакощелочный вяжущие вещества (ШЩВ)	Композиция шлаков и щелочного компонента в виде раствора модифицированного жидкого стекла	$R_{сж}$ = до 120 МПа
6	Цементношлакощелочное вяжущее (ЦШЩВ)	Композиция ПЦ со стеклошлаковым связующим	$R_{сж}$ = до 100 МПа
7	Сульфаталюминатный цемент	Из сульфаталюминатного клинкера представленного сульфаталюминатами и сульфатоферритами кальция	$R_{сж}$ = до 120 МПа
8	Безобжиговые дезцементные вяжущие материалы из осадочных и вулканических пород	Измельченные в порошок горные породы в присутствии NaOH, КОН при $t=130-180$ °С формируют фазовые контакты	$R_{сж}$ = 130-180 МПа

1.2.2 Заполнители для получения легких высокопрочных бетонов

Использование традиционных видов заполнителей для легких бетонов, как природных, так и искусственных, не защищает конструкции от насыщения сорбционной влагой, что существенно ухудшает их теплоизолирующие характеристики при эксплуатации. Это связано с тем, что большинство заполнителей имеет слабую контактную зону с цементным камнем, обусловленную отсутствием или слабым химическим взаимодействием вещества заполнителя с продуктами гидратации цемента [97].

Также к легким заполнителям предъявляются требования по минимальной прочности на сжатие при сдавливании в цилиндр. Если мы хотим получить бетон заданной прочностью 40 МПа, то минимальная прочность пористого гравия должна быть 5,5 МПа [10], что сужает выбор крупного заполнителя. Так, например, керамзит ЗАО «Кушвинский керамзитовый завод» имеет марку по прочности на сжатие М75, что соответствует 1,5 МПа, а перлит, производимый ООО «Вершина» г. Шелехов 0,7 МПа.

В связи с этим перспективным направлением является разработка заполнителей, способных к активному химическому взаимодействию с цементной матрицей, повышению водостойкости, увеличению прочностных характеристик и снижению теплопроводности композита в целом

Традиционный заполнитель для легкого бетона является керамзит. Для получения высокопрочных легких бетонов, в связи с высокими требованиями к заполнителю (высокая прочность, минимальное водопоглощение, низкий коэффициент размягчения), можно рассмотреть керамзит дорожный (керамдор) – разновидность керамзита, обладает повышенной средней плотностью и высокой прочностью [37].

НИИКерамзит располагает обширным опытом использования технологии керамзитового производства для получения высокопрочного гравия либо щебня [35, 173].

Получение высокопрочного заполнителя для конструкционных легких бетонов было важнейшим направлением в работе института НИИКерамзит. Модернизация технологии производства керамзита позволяет повысить его прочность до 10 МПа.

В г. Омске проводились работы по получению из местных суглинков высокопрочного керамзита (дорзита). Дорзит успешно

использовался в асфальтобетонных смесях для дорожных покрытий [95].

В работах [3, 38, 44, 45, 53, 92, 98, 107, 132] представлены составы и технология производства искусственных пористых заполнителей, в том числе безобжиговых на основе минеральных отходов промышленности.

Вопросам влияния различных факторов на гранулируемость минеральных дисперсий посвящены работы В. М. Витюгина, Г. И. Стороженко, А. Ю. Столбоушкина, М. Н. Кайбичевой, Е. В. Быстрениной и др. [20, 27, 54, 104].

В Уральском государственном техническом университете разработаны технологические параметры гранулирования высококальциевых зол и описан механизм фазообразования в гранулированных золах [28, 64, 93, 111-113].

В работе [30] предлагается для грануляции ультрадисперсного микрокремнезема (размер частиц 0,8 мкм) использовать с водой затворения хлористые соли в количестве 1-3% по массе, при этом получают гранулы размером 2,5-10 мм с прочностью, позволяющей транспортировать полученный гранулят.

Для уплотнения стекольной шихты предложен метод окатывания [131]. В качестве связующего использовалась вода, подогретая до 60°C, а также раствор жидкого стекла, NaOH, NaCl и др., которые значительно повышают прочность гранул. Прочность гранул размером 15 мм составляет 200 н/гранулу.

Проведенные ранее исследования показали возможность получения гранулированных заполнителей на основе кремнеземсодержащих пород, состоящих преимущественно из аморфного кремнезема, и щелочесодержащих добавок [102].

Получение активного заполнителя с гранулами размером 1,5-10 мм осуществлялось следующим образом. Из исходных сырьевых материалов изготавливали гранулы, состоящие из ядра и защитной оболочки. Ядром является молотая до удельной поверхности 150-250 м²/кг смесь из кремнеземистого компонента и гидроксида щелочного металла в определенном массовом соотношении. Полученную смесь подавали на шнековый гранулятор, где при распылении водного раствора жидкого стекла получали ядра заполнителя заданного размера. После чего их направляли в барабанный

смеситель на формирование защитной оболочки окатыванием в сухой смеси, состоящей из молотой извести и кремнефтористого натрия. В качестве кремнеземсодержащего компонента для изготовления ядра заполнителя использовали различные природные осадочные высококремеземистые породы – перлит, трепел, цеолит, опоку; щелочной компонент – гидроксид натрия. Для изготовления защитной оболочки заполнителя использовали известь негашеную строительную и натрий кремнефтористый. В качестве связки использовали водный раствор силиката натрия [106]. Полученные гранулы вводили в бетонную смесь в различном соотношении. Проведенные исследования показали, что введение гранул из кремнеземсодержащего сырья в количестве способном обеспечить общую пористость изделия 45% и выше, приводит к высокой степени перекрывания насыщенных активными силикатами межпорowych перегородок, что приводит к изменению физико-механических свойств бетона.

Еще одним видом крупного заполнителя является пеностекло. Оно было получено в начале прошлого века российским ученым И. И. Китайгородским, но широкого применения в строительстве не нашло, из-за недостатков, связанных со сложной технологией производства штучных изделий. С целью устранения этих недостатков производства пеностекла с сохранением всех его достоинств было предложено получение зернистых материалов с гладкой поверхностью и ячеистым строением [68].

Полученный заполнитель имеет полую сферическую форму с прочной пористой оболочкой, стенки которой имеют микропористое строение. Максимальная прочность при сдавливании в цилиндре 4,8 МПа фракции менее 1 мм.

В связи с отсутствием производства искусственного пористого заполнителя в Дальневосточном регионе, были изучены свойства сырья местных месторождений андезитобазальтов, с целью определения их пригодности для производства заполнителя типа гранулированного пеностекла [21]. Для проведения лабораторных экспериментов отбирались карьерные пробы сырья крупностью до 6 мм. В качестве основной добавки использовали едкий натр (NaOH), обладающий комплексом свойств: стеклообразующим, плавящим и газообразующим. В результате исследований установлен оптимальный состав шихт с содержанием андезитобазальта 88-89% и добавкой едкого натра 11-12%

и NaNO_3 в количестве 0,6-1% сверх 100%.

Многолетнее комплексное изучение вулканических горный пород, проведенное в ДальНИИСе, показало перспективность их использования в качестве легких заполнителей для бетонов различного назначения. Так шлак Паратунского и Советского месторождений имеют прочность при сжатии в цилиндре 1-6 МПа, агломератовые туфы и пористые базальты Барановского месторождения 1,45-7,9 МПа [22].

Так же перспективным направлением является производство заполнителя и других строительных материалов на основе торфа. Этому способствуют такие свойства торфа, как низкая теплопроводность, антисептичность, биостойкость, низкая плотность и многие другие [75]. Не смотря на ряд положительных свойств торфа, многие производители осторожно относятся к идеи использования органики в качестве заполнителей бетонных изделий. Новый вид заполнителя для легких бетонов позволяет развеять опасения скептиков. В нем торф играет вспомогательную функцию при формировании и обжиге композиционных гранул [33, 81].

Другим пористым заполнителем является зольный аглопоритовый гравий (ЗАГ), получаемый спеканием шихты на основе золяношлаковых отходов теплоэнергетики. Отечественные разработки по технологии ЗАГ связаны с именами двух выдающихся специалистов С. Г. Василькова и М. П. Элинзона. Их усилиями запущено и освоено производство ЗАГ на Молдавской ГРЭС [24]. На сегодняшний день зольный аглопоритовый гравий относится к наиболее перспективным видам легкого заполнителя, самой важной технологической проблемой производства ЗАГ – обеспечение качества исходной золы, удаление из нее избытка углерода [115].

Еще одним заполнителем на основе золы являются гранулированные золошлаки [116]. Промышленная проверка возможности грануляции как способа подготовки высококальцевой золы для отвального хранения осуществлена ОПП «Энерготехпром» [111]. В испытаниях использовали золу от сжигания березовского угля с общим содержанием CaO – 43,4%. Полученный зольный гранулированный продукт после суток твердения имел насыпную плотность 850 кг/м^3 , прочность 3,4 МПа. При дальнейшем твердении прочность возросла до 10 МПа.

1.2.3 Модификаторы для получения легких высокопрочных бетонов

В качестве модификаторов в составах бетонов используется комплексные добавки на основе микрокремнезема и суперпластификатора. Бетоны, модифицированные микрокремнеземом и суперпластификатором, обладают наряду с высокой прочностью и морозостойкостью низкой проницаемостью, высокой стойкостью к различным видам коррозии, а также к истиранию и эрозии. Микрокремнезем является побочным продуктом производства ферросилиция, представляет собой тонкодисперсный продукт, состоящий на 80-98% из аморфного SiO_2 . Частицы микрокремнезема имеют сферическую форму со средним диаметром 100 нм. Удельная поверхность, измеренная методом адсорбции, составляет 15000-25000 $\text{м}^2/\text{кг}$. Эффективность применения микрокремнезема определяют его гидравлическая активность, удельная поверхность, форма и размер частиц, химический состав, наличие примесей [96].

В реакциях гидратации и перекристаллизации клинкерных фаз портландцемента наряду с основными фазами – гидросиликатами, гидроалюминатами, гидросульфатми кальция характерно образование гидроксида кальция [8]. Как правило, количество образовавшегося гидроксида кальция превышает требуемое количество для обеспечения необходимого уровня pH, и цементный камень имеет определенный резерв гидроксида кальция, который может быть использован при использовании вышеуказанной добавки микрокремнезема, которая не только пластифицирует и водоредуцирует бетонную смесь, но и частично связывает в гидросиликат механически слабую крупнокристаллическую фазу гидроксида кальция, существенно упрочняя структуру цементного камня и бетонов на ее основе [9].

Эти особенности позитивного влияния аморфного микрокремнезема на прочность подтверждаются выполненной обработкой результатов экспериментов, представленных в работе [103].

Взгляд на целесообразное количество вводимого микрокремнезема менялся во времени. Если на первых порах в начале 90-х гг. рекомендуемое количество микрокремнезема принималось на уровне около 10% от массы цемента, то на этапе строительства высотных объектов Москва-Сити с целью достижения особо высоких прочностей бетона по классу прочности на сжатие до В80-В90 количество

микрокремнезема в сочетании с суперпластификатором вводилось до 25-30% [60, 61].

Норвежский Технологический Институт изучает свойства бетона с содержанием микрокремнезема уже 35 лет. Расширение применения порошка микрокремнезема в готовых бетонных смесях с 1975 привело к принятию норвежских стандартов для микрокремнезема в цементе (1976) и в бетоне (1978). В Канаде использование микрокремнезема в бетоне было одобрено в 1981, в том же году первые промышленные смеси портландцемент/микрокремнезем были произведены в Исландии. В Канаде такие смеси появились в 1982. Микрокремнезем используется везде – от бетонных блоков до нефтяных сооружений, и его рабочие качества исследуются и проверяются по всему миру.

Вид сплава, вырабатываемого в печи, является основным фактором, определяющим характер материала, собранного в рукавных фильтрах. Печи для производства феррокремниевых сплавов с содержанием кремния свыше 72% дают микрокремнезем, очень сходный по своим свойствам и составу. Конденсированные пары кальциево-кремниевых, феррохромо-кремниевых и кремниевомарганцевых сплавов могут обладать сходными физическими характеристиками, но их химический состав может существенно отличаться. Частицы микрокремнезема имеют гладкую поверхность и сферическую форму. Средний размер частиц составляет 0,1-0,2 микрон, то есть они в 50-100 раз мельче цемента или летучей золы. Порошок, собранный в фильтрах, фактически состоит из рыхлых агломератов с очень низкой насыпной плотностью.

По сравнению с другими вяжущими материалами, микрокремнезем отличается очень высоким содержанием реактивного кремнезема и мелкостью. На содержание углерода и, следовательно, цвет влияет главным образом наличие или отсутствие в печи системы теплогенерации. Не считая этого, изменчивость материала в зависимости от особенностей печи или состава сплава крайне невысока.

Необработанный микрокремнезем очень трудно транспортировать и хранить. Был сделан ряд попыток получить более удобный в обращении материал с помощью таких методов как микрогранулирование путем длительной аэрации, механическое гранулирование и агломерация путем высушивания суспензий. Хотя с такими материалами и легче обращаться, но они все же плохо рассеиваются в бетонной смеси и, как правило, необходимо использовать пластификатор или

суперпластификатор. Суспензии микрокремнезема, по-видимому, представляют собой наиболее практичную форму для крупномасштабного производства обычного бетона. Сырой микрокремнезем смешивается с равным количеством воды и суспензируется с помощью высокомошных смесительных установок. Для обеспечения химической и физической стабильности суспензии водородный показатель pH должен находиться в пределах от 4,5 до 5,5. Существуют суспензии, включающие в себя целый ряд химических добавок, но недавний опыт на участке в Великобритании показывает, что обычный бетон можно получить при добавлении одной водной суспензии. Удельный вес суспензий составляет 1,3-1,4, а вязкость - 20 секунд при 4 мм чашке, то есть показатели сравнительно низкие.

Существует актуальная проблема транспортировки и применения микрокремнезема, который является ультрадисперсным пылящимся материалом, вызывает определенные трудности в технологии производства бетонных смесей [166]. В связи с чем разработана оригинальная технология производства композиционного материала, который состоит из микрокремнезема, суперпластификатора и регуляторы твердения. Модификатор, который производится в промышленных масштабах под названием «Модификатор бетона марки МБ-01», представляет собой порошок насыпной плотности 750-800 кг/м³, состоящий из гранул размером до 100 мкм [166]. Каждая гранула представляет собой агрегат из ультрадисперстных частиц микрокремнезема, покрытых затвердевшей адсорбционной пленкой из суперпластификатора и регулятора твердения.

Таким образом, органическая часть модификаторов МБ представлена суперпластификатором с регулятором твердения и другими добавками [43, 62, 162, 169, 169], а неорганическая состоит из микрокремнезема или его смеси с кислой золой уноса или расширяющей композиции.

В зависимости от соотношения микрокремнезема и золы уноса в неорганической части модификаторы подразделяются на пять видов, которые обозначаются МБ-01, МБ-30С, МБ-50С, МБ-75С, и МБ-100С [167, 168].

В связи с тем, что при использовании добавок содержащих микрокремнезем, золу-уноса и суперпластификатор не удается уменьшить величины усадочных деформаций, была поставлена цель

получения органоминерального модификатора нового поколения, позволяющего получать высокопрочный бетон из высокоподвижных смесей с уменьшенной и компенсированной усадкой или расширением и самонапряжением [65].

Предварительные исследования позволили предположить, что метакраин, содержащий в своем составе реакционноспособные SiO_2 и Al_2O_3 может быть использован в качестве компонента расширяющей композиции сульфокраинатного типа нового органоминерального модификатора для получения высокопрочных бетонов с регулируемым деформациями усадки [143]. Были приготовлены композиции двух разных составов, отличающиеся соотношением между метакраином и гипсом, которые затем совмещены в одинаковой пропорции с портландцементом путем перемешивания в скоростном смесителе. Полученные при этом образцы смешанных вяжущих с условным обозначением СВ-1 и СВ-2 были испытаны. В качестве контрольных были испытаны образцы на основе напрягающего цемента НЦ20. Все вяжущие имели высокую активность: прочность при сжатии в возрасте 28 суток 63,4-94,7 МПа. Результаты эксперимента показали, что при уровне прочности образцов на смешанном вяжущем, аналогичной контрольным образцам на напрягающем цементе промышленного выпуска (в случае СВ-1) или существенно превышающей его (в среднем на 46% в случае СВ-2), изготовленные смешанные вяжущие вызвали повышение в 5,5 и 9 раз величины линейного расширения и в 3,2 и 3,6 раза величины самонапряжения. Это показывает, что подобранные расширяющие композиции могут быть использованы в минеральной части комплексных модификаторов для регулирования деформаций усадки высокопрочных бетонов [169].

Сегодня наступил момент, когда на повестку дня вышли и новые классы добавок к бетонам, добавок, затрагивающих более глубокие механизмы структурообразования. Это, так называемые, нанодобавки или наномодификаторы [70].

В общем случае структурообразующее участие и модифицирующее влияние наноразмерных модификаторов может быть результатом следующих взаимосвязанных механизмов [127, 129]:

- механизма, обеспечивающего повышение плотности упаковки системы сложения дисперсных частиц, изменение структура пористости материала;

- механизма, связанного с каталитической ролью наноразмерных частиц к центров кристаллизации с соответствующим эффектом понижения энергии активации этого процесса и ускорения его;
- механизма зонирования структуры твердения наноразмерными частицами;
- механизма, связанного с возможностью непосредственного химического участия наноразмерных частиц в гетерогенных процессах фазообразования гидратных соединений.

Проблемным вопросом применения наноразмерных частиц в технологии бетона является способ их введения в смесь. При выборе способа введения следует учитывать два принципиально возможных варианта модифицирования структуры цементных бетонов наноразмерными частицами: в первом предварительно синтезируется наноразмерные частицы задаваемых субстанций и размеров и вводятся в сырьевую смесь; во втором – в твердеющей системе целенаправленно выращиваются необходимые для модифицирования структуры наноразмерные частицы [108].

Среди более чем 10 распространенных методов синтеза наноразмерных частиц наиболее дешевым является золь-гель технология, которая позволяет быстро и относительно малозатратно получать наночастицы в заданных количествах [128].

В работе [79] представлены результаты изучения влияния добавок С-3 на формирование микро- и макроструктуры бетона повышенной прочности с помощью кинетических зависимостей коэффициента внутреннего твердения и динамического модуля упругости. Следует отметить, что применение добавки С-3, с одной стороны, приводит к улучшению механической характеристики бетона, а с другой – к увеличению его внутреннего трения.

Получение высокопрочных бетонов предполагает использование «гиперпластификаторов», в частности на основе поликарбоксилатов.

Разработка новых принципиально новых водоудерживающих добавок на поликарбоксилатной основе значительно увеличила спектр цементных композитов, сделала возможным получение литых и самоуплотняющихся бетонных смесей с минимальным водоцементным отношением и высокой прочностью. Известно, что гиперпластификаторы могут оказывать влияние на процесс гидратации цемента, особенно в ранний период, что фиксируется при оценки

тепловыделения цемента. Это влияние может отразиться на формировании поровой структуры, что предполагает влияние гиперпластификатора на прочность, деформации усадки и набухания, морозостойкость цементного камня [11, 49].

Исследования влияния некоторых гиперпластификаторов (Glenium 30, Glenium 51, Snructuro 530, Melflux 2641, Melflux 5581, Бином-1) представлены в [23, 50, 52, 88].

В работе Г. В. Несветаева и А. Н. Давидюка [89] представлены результаты оценки эффективности относительно новой добавки Melflux 5581.

В монолитном строительстве часто возникает необходимость ускорения набора прочности уложенного бетона.

В настоящее время известно большое количество добавок, которые применяют в качестве ускорителей твердения. К ним относятся хлорид кальция, сульфат натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция и др. При выборе ускорителей твердения необходимо учитывать побочное действие добавок, оказывающие влияние на арматуру, закладные детали, и бетон. В связи с этим перспективным является применение в технологии бетона бесхлоридных ускорителей твердения [66]. Для этого эффективно использование электролитов – добавок ускорителей твердения бетонов. Свойства и влияние некоторых из них рассмотрены в [51].

При разработке цементных бетонов с улучшенными механическими свойствами рационально использование в качестве модифицирующих добавок углеродных нанодисперсных систем [74, 137].

Установлено [133, 134, 151], что введение углеродных наносистем в состав минеральных вяжущих матриц приводит к структурированию с формированием кристаллогидратных новообразований повышенной плотности и прочности.

В технической литературе отмечается [141, 144], что модификация углеродными нанотрубками приводит к улучшению механических показателей цементных бетонов на 15-20%. В то же время имеются исследования, в которых показано, что минеральные матрицы способны повысить свою прочность до 2-3 раз [77] при введение в состав вяжущего углеродных наносистем в пределах 0,0024% от массы вяжущего. В работах [140] отмечается, что углеродные нанотрубки

способны изменять микроструктуру матрицы за счет увеличения содержания гидросиликатов кальция повышенной плотности и снижения нанопористости.

Основной причиной несоответствия результатов у разных исследователей является недостаточная степень диспергации углеродных нанотрубок, так как изначально в силу повышенной активности при синтезе они сворачиваются в гранулы. Известна работа [146], в которой для диспергации углеродных нанотрубок использовано ультразвуковая техника в среде эталона. G. Y. Li и другие в [145] использовали обработку ультразвуком многостенных углеродных нанотрубок в растворе серной кислоты для обеспечения лучшего сцепления между цементной матрицей. В работе [142] для достижения однородной дисперсии многостенных углеродных нанотрубок в водном растворе использовали полиакриловые кислоты и ультразвук. Но практически во всех работах отмечалось незначительное увеличение механической прочности цементной матрицы, модифицированной углеродными нанотрубками.

Основной причиной недостаточного влияния наносистемы на структуру и свойства модифицируемой цементной матрицы является не полная диспергация углеродных нанотрубок. Главная задача при работе с углеродными нанотрубками – дезинтеграция пучков и крупных агломератов, возникающих при синтезе, и обеспечение их стабилизации в водной суспензии и устойчивости суспензий нанотрубок при хранении.

Для стабилизации суспензии с наноструктурами используются различные поверхностно-активные вещества [122], молекулы которых адсорбируются на межфазной границе твердое тело – жидкости, окружая отдельные нанотрубки и их пучки. При адсорбции ПАВ на поверхности нанодисперсных частиц поверхностное натяжение уменьшается. Чем плотнее упаковка ПАВ на поверхности. Тем больше снижение поверхностного натяжения [147, 149].

В Ижевском государственном техническом университете была проведена работа по установлению возможности модификации структуры плотного цементного бетона нанодисперсной добавкой в виде многослойных нанотрубок Graphistrength корпорации «Arkema» и влияние их на структуру. Минералогический состав и свойства модифицированной цементной матрицы. Результаты исследований

показали, что модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками меняет морфологию кристаллогидратов с формированием контактных зон повышенной плотности по поверхности твердой фазы. Такая структура обеспечивает повышение прочности цементного бетона и морозостойкости, что подтверждается результатами физико-механических испытаний бетона, модифицированного многослойными углеродными нанотрубками [135].

1.3 Анализ проблемы и постановка задач исследований

Строительство в районах с суровым климатом и высокой сейсмической активностью, к которым относится и Иркутская область, требует получения легких конструктивных материалов с низкой теплопроводностью и водонепроницаемостью. К данным материалам можно отнести высокопрочный легкий бетон.

Также на сегодняшний день остро стоит вопрос по утилизации отходов промышленности и теплоэнергетики. Миллионы тон отходов уже лежат на отвалах по всей стране и продолжают накапливаться, что негативно сказывается на экологической обстановке. Только в Иркутской области ежегодно образуется более 1500 тыс. т. золошлаковых отходов.

В условиях рыночной экономики следует не забывать и о стоимости материалов и количестве энергии, затраченной на их производство, в связи с чем целесообразно становится применение техногенных отходов. Кроме того, применение высокопрочных легких бетонов ведет к удешевлению общей стоимости объекта. Главным образом это происходит за счет снижения расхода арматурной стали из-за уменьшения собственного веса конструкций.

Кроме того, длительный опыт эксплуатации зданий из керамзитобетона (50 лет – у нас в стране и более 70 лет – в США и Канаде) подтвердил их высокую долговечность, экологическую безопасность и эксплуатационную надежность [31]. Повышенная эксплуатационная надежность обусловлена сохранением исходных теплозащитных свойств на всем протяжении эксплуатации, низкой эксплуатационной влажностью, высокой морозостойкостью. Он не горюч, не выделяет токсичных газов при пожаре и в процессе долговременной эксплуатации. Пожаростойкость его выше, чем у тяжелых бетонов [34].

Таким образом, в развитии известных разработок в области получения легких бетонов, автором была сформулирована гипотеза о возможности создания высокопрочных легких бетонов на основе тонкомолотых композиционных вяжущих с использованием отходов промышленности и техногенных отходов. В Иркутской области имеются производства, образующие такие отходы, как микрокремнезем, зола терриконигов и зола уноса, которые могут использоваться в технологии приготовления высокопрочного легкого бетона. Химико-минералогическая неоднородность золы терриконигов требует детальной оценки состава и свойств этих отходов с целью оценки их пригодности в технологии тонкомолотых вяжущих и легких бетонов на их основе. На основании анализа литературных данных были определены пути повышения прочности легких бетонов, сформулированы цель и задачи исследований.

Для повышения химической активности механически обработанных систем, увеличения степени гидратации тонкомолотых композиционных вяжущих и образования устойчивых гидратных новообразований, необходимо разработать технологии получения высокопрочного легкого бетона на основе тонкомолотых композиционных вяжущих с применением золы терриконигов, который будет обладать улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Теоретически обосновать необходимость и получить высокопрочный легкий бетон на основе ТКВ с использованием золы терриконигов.
2. Исследовать физико-механические и технологические свойства ТКВ с золой терриконигов и легких бетонов на их основе.
3. Выполнить расчет строительных конструкций с использованием легкого бетона на основе ТКВ.
4. Подготовить нормативные документы для реализации теоретических и экспериментальных исследований. Внедрить результаты исследований.

2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

2.1 Характеристика сырьевых материалов для получения высокопрочных легких бетонов

В данной работе для получения ТКВ и легкого бетона на их основе применялись следующие материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2003 (ПЦ500 Д0 ГОСТ10178-85) ОАО «Ангарскцемент», керамзит ООО «Керамзитовый завод» (г. Ачинск, Красноярский край), кварц-полевошпатовый песок, суперпластификаторы С-3 и «Хидетал-ГП-9». В качестве наполнителя использовались: микрокремнезем ЗАО «Кремний» (г. Шелехов), зола терриконигов с угольных отвалов (г. Черемхово, Иркутская область), зола уноса Ново-Иркутской ТЭЦ.

Портландцемент. Основные характеристики используемого ПЦ приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н

№ п.п.	Наименование показателей	Требования ГОСТ 31108-03	Фактические значения
1	Массовая доля добавок, %	отсутствует	Отсутствует
2	Массовая доля оксида серы, %	1,0-4,0	2,5-3,5
3	Прочность при сжатии после пропаривания, МПа	28,0-32,0	28,0-32,0
4	Прочность при сжатии через 28 суток, МПа не менее	49,0	49,0-53,0
5	Прочность при изгибе через 28 суток. МПа не менее	5,9	5,9-6,8
6	Сроки схватывания, мин: - начало - конец	Не ранее 0-45 не позднее 600	100-200 180-270
7	Массовая доля щелочных оксидов в пересчете на Na ₂ O, %	Не нормируется	0,5-1,0
8	Массовая доля Cl ⁻ , не более, %	0,1	0,01-0,05

№ п.п.	Наименование показателей	Требования ГОСТ 31108-03	Фактические значения
9	Минералогический состав klinkera, % Трехкальциевый силикат Двухкальциевый силикат Трехкальциевый алюминат Четырехкальциевый алюмоферрит	Не нормируется Не нормируется Не нормируется Не нормируется	58-64 12-16 4-8 11-14
10	Массовая доля оксида магния не более, %	6,0	4,0-5,0
11	Удельная эффективность естественных радионуклидов не более, Бк/кг	370	60-150

Зола уноса. В таблицах 2.2, 2.3 представлены основные показатели и химический состав, определенный с помощью рентгенофазового анализа (РФА) [78], золы уноса Ново-Иркутской ТЭЦ. По содержанию оксида кремния SiO_2 – около 57% зола уноса (ЗУ) относится к кислым золам.

Таблица 2.2 – Основные показатели золы уноса Новой Иркутской ТЭЦ

Показатель, метод определения	Нормативная величина	Факт
Насыпная плотность, кг/м^3 (ГОСТ 9758-86)	-	750-1151
Влажность, % (ГОСТ 8269.1-97)	Не более 1	0,3
Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$ (ГОСТ 310,2)	Не менее 150-300	≥ 300
Остаток на сите №008.% по массе (ГОСТ 3103,2)	Не более 15	2,8
Класс для окружающей природной среды (Заключение Федеральной Службы по экологическому, технологическому и атомному надзору)		V (безопасные)
Класс радиационной безопасности согласно санитарным правилам СП 2.6.1.798-99, ГОСТ 30108-94 и НРБ-99		$I_{\text{эфф}} \leq 370 \text{ Бк/кг}$

Таблица 2.3 – Химический состав золы уноса Новой Иркутской ТЭЦ

Наименование показателя	Содержание компонента, масс. %
SiO ₂	57,37
TiO ₂	0,614
Al ₂ O ₃	15,75
Fe ₂ O ₃ общ.	7,14
MnO	0,109
MgO	2,916
CaO	13,471
Na ₂ O+K ₂ O	≤0,945
Редкие оксиды	0,51
ППП	1,2
SO ₃	0,56
Модуль основности (M ₀)	0,22
Модуль активности (M _a)	0,27

Морфологию золы изучали на электронном сканирующем микроскопе Sem Quanta 2000, определение размера частиц и их количество в объеме определяли лазерной дифракцией, который позволил установить, что исходная зола имеет начальный средний размер зерна около 30 мкм, количество зерен минимального размера 7 мкм составляет около 10% от общего количества (рис. 2.1). Наибольшее количество зерен золы – около 90% составляют зерна с размером около 130 мкм. Более крупных зерен с размером до 300 мкм немного, около 10%. Исходные частицы золы имеют в подавляющем большинстве сферическую поверхность.

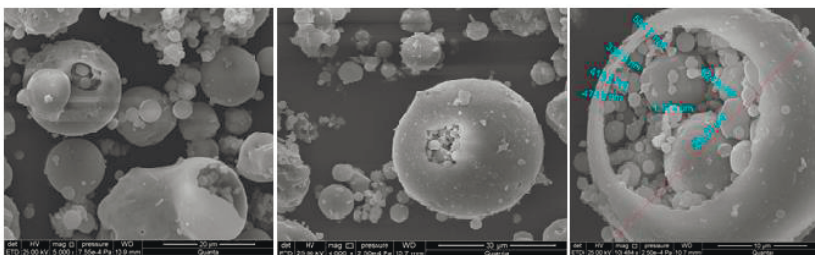


Рисунок 2.1 – Электронно-микроскопические снимки золы Ново-Иркутской ТЭЦ при увеличении от 1000 до 10500 раз.

Зола преимущественно содержит в своем составе четыре основных минерала: кварц (30%), муллит (7%), силлиманит (2,7%) и алит (3,5%). Суммарное содержание кристаллической фазы составляет около 44%, рентгеноаморфной – 56%.

Зола терриконики. В Иркутской области, в Черемховском районе присутствует большое количество материала, представляющее интерес как активная минеральная добавка. К ним следует отнести обожженные «пустые» породы, выброшенные в отвалы (терриконики) при добыче угля. В пустых породах содержится обычно некоторое количество угля, которое в террикониках начинает гореть (самовозгорание). При этом развиваются достаточно высокие температуры, обуславливающие обжиг сопутствующих углю глинистых каолиновых пород с образованием золы, богатой активными продуктами. Физико-механические свойства (табл. 2.4) данного материала и его химический состав (табл. 2.5) даёт основание полагать, что он является подобием природной горелой породы, богатой дегидратированными глинистыми минералами. По генезису данный материал относится к продукту обжига при невысоких температурах (600-800 °С) угленосным пустым породам. Такой продукт назван золой терриконики, так как в основном образуется при самовозгорании терриконики и относится к техногенным отходам.

Таблица 2.4 – Физико-механические свойства золы терриконики

№ п.п.	Наименование свойств	Показатели			
		частные			Средние
		1	2	3	
1.	Естественная влажность, % масс.	8,4	9,2	8,9	8,8
2.	Насыпная плотность, кг/м ³	1074	1096	-	1085
3.	Содержание зёрен 0–5 мм, % масс.	57,4	59,8	-	58,6
4.	Содержание зёрен 5–70 мм, % масс.	42,6	40,2	-	41,4
5.	Насыпная плотность зёрен >5мм, кг/м ³	822	808	-	815
6.	Насыпная плотность зёрен ≤5мм, кг/м ³	790	810	-	800
7.	Средняя плотность зёрен, кг/м ³	1808	1812	1825	1815
8.	Истинная плотность, г/см ³	2,61	2,58	2,54	2,58
9.	Прочность в цилиндре, кг/см ²	17,1	18,3	17,6	17,7
10.	Водопоглощение, % масс	15,5	15,9	14,5	15,3
11.	Коэффициент размягчения	0,72	0,66	-	0,69

Таблица 2.5 – Химический состав золы терриконикиков *

Содержание,%%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	SO ₂
максимальное	74,4	20,3	11,3	4,8	2,9	2,5	0,41	0,034	0,61	0,36
минимальное	63,2	16,8	4,5	1,2	2,1	1,0	0,27	0,016	0,18	0,14
среднее	65,6	18,7	6,03	2,2	2,6	1,9	0,35	0,027	0,30	0,29

Примечание: * химический состав золы терриконикиков приведен по результатам анализа, выполненном в аналитическом отделе Института геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН 18 июня 2010 г.

Полученный зерновой состав материала путём отсева на стандартных ситах [164] по ГОСТ 9758 показан в табл. 2.6. Исследуемый материал в пробе имеет наибольшую крупность менее 70 мм. Основную массу пробы составляют зёрна размером менее 5 мм - около 60% массы. Песчаная часть (зёрна менее 5 мм) более половины сложена крупными зёрнами и, таким образом, относится к крупным пескам [164].

Таблица 2.6 – Естественный зерновой состав золы терриконикиков

Частные остатки, % масс.	Размер отверстий сит, мм									
	40	20	10	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,0
1.	2,3	18,3	10,4	10,9	13,7	5,8	10,3	11,3	9,6	7,3
2.	3,1	17,9	10,8	10,4	14,6	5,6	9,9	11,1	9,8	7,1

Приведенный в табл. 2.5 химический состав золы терриконикиков показывает, что по петрографии зола представлена метакаолинитом и другими дегидратированными глинистыми веществами. Возможно также присутствие в ней аморфных кремнезёма и глинозёма, обладающих хорошими адсорбционными свойствами.

На рисунке 2.2 представлен рентгенофазовый анализ золы терриконикиков.

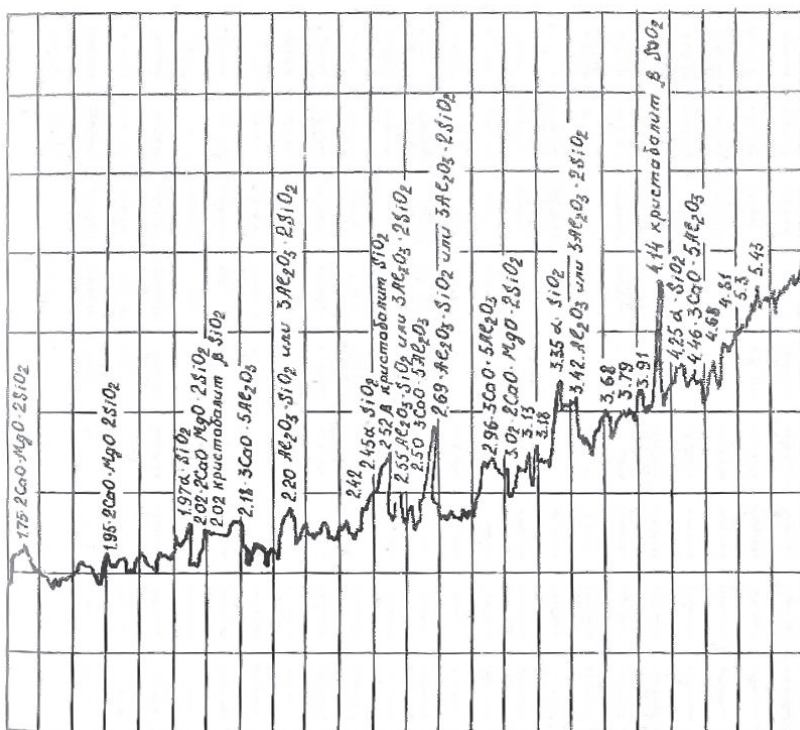


Рисунок 2.2 – Рентгенофазовый анализ золы террикоников

Показатели активности золы террикоников (табл. 2.7), определённые по ГОСТ 25094, удовлетворяют требованиям ТУ на активную минеральную добавку [165]. Прочностные свойства затвердевшего камня после пропаривания из затворенной водой смеси клинкера с золой террикоников превышают прочность таковой из клинкера и молотого кварцевого песка. Вместе с этим вычисленный по ГОСТ 25094 критерий «t», характеризующий гидравлическую активность добавок, у минеральной добавки – золы террикоников в четыре раза превышает нормативный критерий.

Таблица 2.7 – Активность золы терриконики

№ п.п.	Показатели	Мини-маль.	Мак-сим.	Сред-ние	Нормы по ТУ 21-26
1.	Прочность образцов после пропаривания, МПа, при изгибе; при сжатии	2,03 10,75	2,68 14,45	2,22 11,83	не менее 1 не менее 3
2.	Конец схватывания от начала затворения, сутки	5,5	7,0	6,0	не позднее 7
3.	Расширение образцов-цилиндров через 15 суток, мм	4,50	5,2	4,85	не более 15
4.	Водостойкость	-	3	-	не менее 3

Суперпластификаторы. В качестве суперпластификаторов в работе применялись суперпластификаторы С-3 и «Хидетал-ГП-9».

Суперпластификатор С-3 – разработка российских специалистов НИИЖБа. Является аналогом зарубежных суперпластификаторов типа "Майти 100" (Япония), Сикамент, Мелмент (Германия), не уступая им по качеству. С-3 соответствует ТУ 6-36-0204229-625: смесь нейтрализованных едким натром полимерных соединений разной относительной молекулярной массы, получаемых при конденсации сульфокислот нафталина с формальдегидом и технических лингосульфонов. Внешний вид С-3 – порошок светло-коричневого цвета или жидкость коричневого цвета, допускается осадок. Характеристики данного продукта представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Характеристика суперпластификатора С-3

Характеристика продукта	Норма для марки
1. Массовая доля компонентов, %	
а) активного вещества в пересчете на сухой продукт, не менее	69
б) золы в пересчете на сухой продукт, %, не более	38
в) воды, %, не более	10 (сухой) 68 (жидкий)
2. Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2,5%	от 7,0 до 9,0

Пластификатор С-3 жидкий пожаровзрывобезопасен. Пластификатор С-3 сухой - горючее вещество, температура тления 165 °С. Пылевоздушная смесь не взрывоопасна, не воспламеняется до массовой концентрации 500 г/куб.м.

Комплексная добавка «Хидетал-ГП-9» для бетонов, в т.ч. самоуплотняющихся, соответствует ТУ [170] изготавливается на основе поликарбоксилатов. Основное назначение добавки – пластифицирующая, сопутствующие свойства – повышение прочности, водонепроницаемости и морозостойкости. Добавка предназначена для бетонов и растворов, применяемых при изготовлении монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций, в том числе преднапряженных, промышленного и гражданского строительства.

Добавка выпускается в жидком виде марок: «Хидетал-ГП-9» (α) – для сборного железобетона; «Хидетал-ГП-9» (β) – для товарного и самоуплотняющегося бетонов, вводится с водой затворения. Рекомендуемая концентрация водных растворов 10%. Оптимальная дозировка устанавливается потребителем для конкретных сырьевых материалов, состава бетона и технологии в процентах от массы цемента в пределах 0,5-1,5%. По физико-техническим показателям добавка соответствует требованиям таблицы 2.9.

Таблица 2.9 – Физико-технические показатели «Хидетал-ГП-9»

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Значения показателей	
			Хидетал-ГП-9 (α)	Хидетал-ГП-9 (β)
1.	Внешний вид		Жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета	
2.	Массовая доля сухих веществ, % не менее	%	25	25
3.	Показатель активности водородных ионов 10%-го водного раствора добавки, ед.рН, не менее		6,5	6,5
4.	Содержание СГ в сухом веществе, % не более	%	отсутствует	отсутствует

Показатели и нормы, характеризующие добавку как пластификатор, соответствуют требованиям таблицы 2.10.

Таблица 2.10 – Характеристики добавки Хидетал-ГП-9

№ п/п	Показатели качества бетонных смесей	Изменение показателей по сравнению с контрольным составом без добавки	
		Хидетал-ГП-9 (α)	Хидетал-ГП-9 (β)
1.	Подвижность (ОК, см)	Увеличение от П1 (1-4 см) до П5(>21 см)	Увеличение от П1 (1-4 см) до П5 (>21 см)
2.	Снижение расхода воды, не менее, %	20	20
3.	Сохраняемость бетонных смесей не менее, час.	не нормируется	3

Затвердевший бетон с добавкой не выделяет в воздушную среду токсичных веществ.

Микрокремнезем. Ультрамелкие пуццолановые побочные продукты промышленности кремниевых сплавов обозначаются, по крайней мере, 17 различными названиями (кремнеземистая мука, кремнеземистая пыль, кремнеземистые пары, пары кремнезема, летучий кремнезем, кремнезем из электродуговых печей, пирогенный кремнезем, конденсированные пары кремнезема). В научном мире термин "конденсированные пары кремнезема" сейчас применяется по отношению к парам, получаемым из целого ряда сплавов. Большинство исследований влияния этих материалов на бетон посвящено концентрированным парам кремнезема, для обозначения которых становится общепринятым термин "микрокремнезем".

В результате плавления в электродуговых печах кварца и железа при температуре, равной 2000°C, происходит выделение газообразного оксида кремния (SiO), который, достигая верха печи, окисляется до SiO₂ и оседает в виде тонкодисперсных частиц на электрофильтрах [76, 93]. На рисунке 2.3 представлена микрофотография микрокремнезема увеличенного в 10 000 раз.

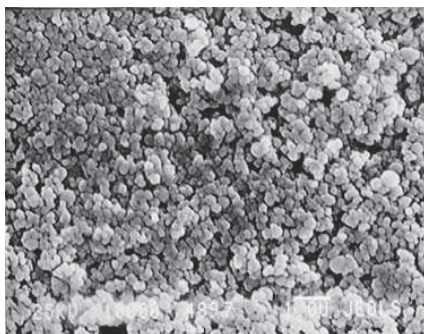


Рисунок 2.3 – Фотография микрокремнезема, увеличение в 10 000 раз

В Иркутской области сегодня существует два крупных производителя микрокремнезема: ЗАО «Кремний» г. Шелехов, и ЗАО «Братский завод ферросплавов». Микрокремнезем является сертифицированным товарным продуктом, на который имеются ТУ 5743-048-02495332-96 «Микрокремнезем конденсированный».

Основным компонентом микрокремнезема является аморфный диоксид кремнезема (75-92%), у которого истинная плотность равна $2,94 \text{ т/м}^3$, а насыпная – $0,2...0,3 \text{ т/м}^3$, удельная поверхность от 500 до $2500 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Результаты рентгенофазного анализа показали, что микрокремнезем состоит в основном из рентгеноаморфной фазы. Кристаллическая фаза представлена кристаллическим кремнием ($d/n = 0,313; 0,192 \text{ нм}$) и карборундом ($d/n = 0,217; 0,154 \text{ нм}$).

В диапазоне межплоскостных расстояний $0,89-0,25 \text{ нм}$ отмечается область, характерная для рентгеноаморфных веществ. Отдельные дифракционные линии подтверждают наличие кристаллических фаз, в частности кварца ($0,333; 0,313; 0,282; 0,191; 0,163 \text{ нм}$), а также соединения кварца с углеродом ($d/n = 0,251; 0,153 \text{ нм}$). После обработки микрокремнезема при температуре 600°C дифракционная картина практически не меняется.

В таблицах 2.12 – 2.14 приведены химический и гранулометрический составы микрокремнезема ЗАО «Кремний».

Таблица 2.12 – Химический состав пыли

SiO ₂	SiC	Ссвоб.	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₄	Fe ₂ O ₃
75%	8%	9%	2,6%	1,1%	0,5%	2,9%	0,9%

Таблица 2.13 – Химический состав шлама газоочистки

SiO ₂	SiC	Ссвоб	Na ₂ SO ₄	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO
80%	6,5%	8,0%	0,8	1,6	1,0	1,6	0,5

Таблица 2.14 – Дисперсный состав пыли в газовом потоке

Диаметр частиц, мкм	Массовое содержание фракций, %
0-1	54
1-3	5
3-5	3
5-10	4
10-20	10
более 20	24

Керамзит. Керамзит представляет собой легкий пористый материал ячеистого строения в виде гравия, реже в виде щебня, получаемый при обжиге легкоплавких глинистых пород, способных всучиваться при быстром нагревании их до температуры 1050-1300°C в течение 25-45 мин. Качество керамзитового гравия характеризуется размером его зерен, объемным весом и прочностью. В зависимости от размера зерен керамзитовый гравий делят на следующие фракции: 5-10, 10-20 и 20-40 мм, зерна менее 5 мм относят к керамзитовому песку. В зависимости от насыпной плотности (кг/м³) гравий делят на марки от 150 до 800. Водопоглощение керамзитового гравия 8-20%, морозостойкость должна быть не менее 25 циклов.

В работе использовался керамзитовый гравий и песок производства ООО «Керамзитовый завод», г. Ачинск. Теплопроводность керамзита 0,18-0,28 ккал/м.ч.град, морозостойкость – 35 циклов.

ООО «Керамзитовый завод» изготавливает керамзит с характеристиками, приведенными в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Характеристика керамзита

Наименование продукта	Марка по насыпной плотности, кг/м ³	Марка по прочности
Керамзитовый песок фр. 0-5 мм	700-800	150
Керамзитовый гравий фр. 5-10 мм	550-600	125
Керамзитовый гравий фр. 10-20 мм	500-600	125
Керамзитовый гравий фр. 20-40 мм	400-550	100

2.2 Объект и методы проведения исследований

2.2.1 Объект исследований

Объектом исследований является теоретическое обоснование составов и технологических параметров получения высокопрочного легкого бетона и тонкомолотых композиционных вяжущих.

Этот раздел исследований предусматривает работу по изучению и анализу патентной и технической литературы по вопросам применения промышленных отходов в производстве легких высокопрочных бетонов. Завершением работы по изучению объекта исследований является определение предмета исследований.

Предмет исследований – производство легкого высокопрочного бетона и тонкомолотого композиционного вяжущего.

Предмет исследований определяет решение конкретных научных и экспериментальных задач в области получения высокопрочного легкого бетона и тонкомолотого композиционного вяжущего. В этом случае решаются частные задачи по получению конкретного строительного материала, начиная от изучения свойств исходных компонентов и завершая изучением свойств готового продукта с привлечением стандартных и специальных методов испытаний и исследований.

2.2.2 Методологическая схема проведения исследований

Работа выполнялась в соответствии со структурно-методологической схемой исследований, представленной на рисунке 2.4.

Основными этапами исследований были:

1. Анализ проблемы, выбор направления исследований.
2. Выполнение патентного поиска.
3. Изучение физико-механических свойств сырьевых материалов.
4. Подбор оптимального состава тонкомолотых композиционных вяжущих.
5. Подбор оптимального состава высокопрочного легкого бетона.
6. Исследование свойств легкого высокопрочного бетона.
7. Опытно-промышленное испытание полученного высокопрочного легкого бетона.

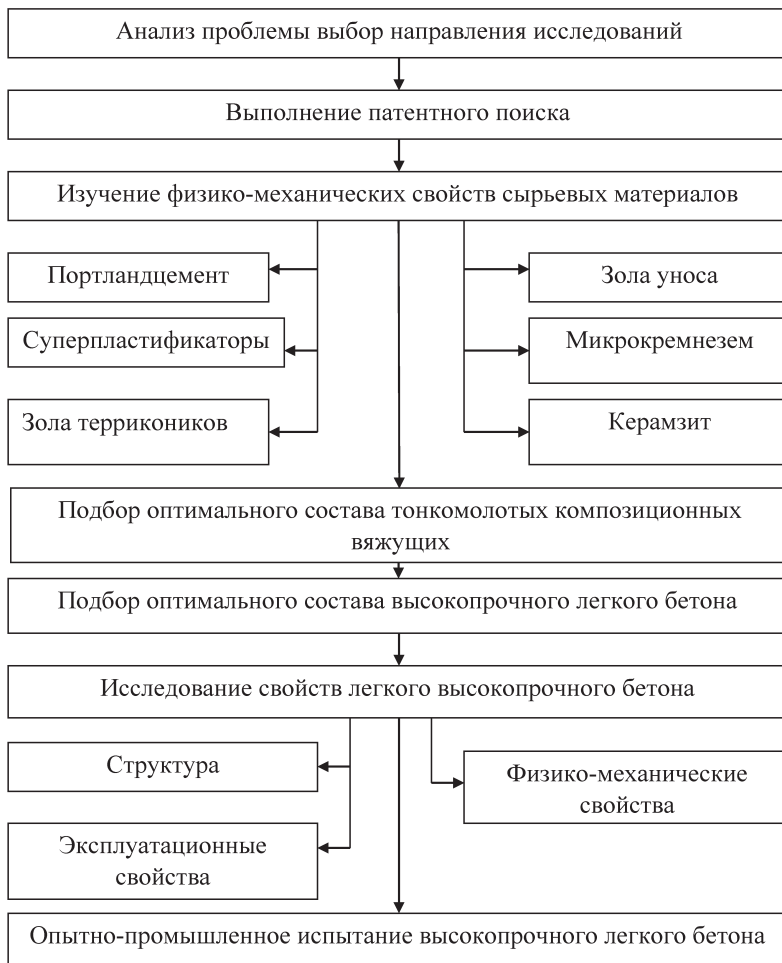


Рисунок 2.4 – Структурно-методологическая схема проведения исследований

2.3 Методики исследований

2.3.1 Свойства тонкомолотых композиционных вяжущих и бетонов

Влияние добавки золы уноса, золы терриконигов и пластификаторов на нормальную густоту и сроки схватывания композиционного вяжущего изучали согласно ГОСТ 310.1-76 – ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81.

2.3.2 Общие методические положения, принятые при проведении экспериментов

В работе ТКВ получали путем тонкого измельчения в различных измельчителях нового поколения: в лабораторной шаровой мельнице 40 МЛ, планетарной мельнице АГО-2С, истирателе чашечном ИВ 1 (виброистирателе), технические характеристики которых приведены в таблицах 2.17 – 2.19. Загрузка камеры мелющими телами и размалываемым материалом была постоянной для всех составов и осуществлялась согласно паспортным данным.

Таблица 2.17 – Технические характеристики мельницы 40 МЛ

Наименование	Единица измерения	Значение
Объем барабана	л	7
Крупность исходного питания, не более	мм	6
Крупность готового продукта (зависит от времени измельчения)	мм	0,074
Частота вращения барабана	об/мин	68
Шаровая загрузка	кг	9
Диаметр шаров, в пределах	мм	15-20
Установленная мощность	кВт	0,75
Масса, не более	кг	117

Влияние добавки золы уноса, золы терриконигов и пластификаторов на нормальную густоту и сроки схватывания ТКВ изучали согласно ГОСТ 310.1-76 - ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81. Исследование стандартных свойств получаемых молотых вяжущих проводилось согласно ГОСТ 310.1-76 – ГОСТ 310.4-76 «Цементы. Методы испытаний».

Таблица 2.18 – Технические характеристики планетарной мельницы АГО-2С

Наименование	Единица измерения	Значение
Максимальный исходный размер частиц материала	мм	3
Размер частиц на выходе	мкм	0,5-3
Количество и объем барабанов	мл	2*135
Мелющие тела		Шары
Диаметр мелющих тел	мм	6...10
Охлаждающая жидкость		Вода
Частота вращения барабанов в переносном движении	об./мин	1290, 1820, 2220
Центробежное ускорение, развиваемое мелющими телами	м/с ²	300, 600, 1000
Мощность электродвигателя	кВт	1,5
Габаритные размеры (длина/ширина/высота)	мм	550/365/645
Масса	кг	64

Таблица 2.19 – Технические характеристики истирателя чашечного ИВ 1

Наименование	Единица измерения	Значение
Объем загрузки чаши	см ³	20...50
Размер измельчаемых частиц	мм, не более	3
Частота колебаний	кол./мин	1500
Амплитуда колебаний	мм	3
Диапазон времени работы	мин	1...30
Мощность электродвигателя	кВт	0,37
Напряжение питания	50 Гц, В	380
Габаритные размеры	мм	400х350х400
Масса	кг	54
Материал истирающих элементов - инструментальная сталь		ХВГ

При приготовлении бетонной смеси дозировка вяжущего и воды осуществляли по массе, мелкого и крупного заполнителей – по объему.

Отдозированные компоненты бетона перемешивали вручную в следующей последовательности: сначала загружали заполнители и добавляли 2/3 количества воды, после кратковременного перемешивания (до 1 мин.) добавляли цемент или тонкомолотое композиционное вяжущее, после кратковременного перемешивания, засыпались добавки микрокремнезема, золы террикоников и (или) золы уноса, доливали остальное количество воды. Суперпластификатор вводили с водой затворения.

Перемешивание смеси продолжалось не менее 5 мин. Не позднее, чем через 15 мин после окончания перемешивания определялась подвижность бетонной смеси по величине осадке стандартного конуса, в см, отформованного из бетонной смеси согласно ГОСТ 10181.1-81.

Бетонную смесь уплотняли в формах на стандартной лабораторной виброплощадке грузоподъемностью 100 кг, с амплитудой колебания 0,35 мм и частотой 3000 $\pm$ 200 кол/мин. Образцы изготавливались в индивидуальных жестких разъемных металлических формах, позволяющих получить кубы с ребром 10 см и призмы 10*10*40 см.

Образцы набирали прочность в условиях нормального твердения при $t=22\pm 2^{\circ}\text{C}$ и влажности 95-98%.

Фактические составы легких бетонов рассчитывали по средней плотности свежееуложенной бетонной смеси согласно ГОСТ 27006-86.

Образцы нормального твердения испытывали в возрасте 3, 7, 28 суток и в более поздние сроки. Прочностные и деформационные характеристики исследуемых бетонов определяли согласно ГОСТ.

2.4 Методы исследований

2.4.1 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ исследуемых образцов проводили на дифрактометр рентгеновский ДРОН-7 производство НПП «Буревестник», г. Санкт-Петербург, год выпуска 2008. Технические характеристики приведены в таблице 2.20.

Дифрактометр рентгеновский общего назначения предназначен для измерения интенсивности и углов дифракции рентгеновского излучения, дифрагированного на кристаллическом объекте, для решения задач рентгенодифракционного и рентгеноструктурного анализа материалов.

Таблица 2.20 – Технические характеристики ДРОН-7

Рентгенооптическая схема	Брэгг-Брентано
Диапазон углов сканирования, $2\theta^\circ$	$-100 \div +168$
Минимальный шаг сканирования, $2\theta^\circ$	0,001
Точность позиционирования, 2θ и θ°	$\pm 0,005$
Транспортная скорость, $^\circ/\text{мин}$	500
Скорость счета, имп/с	$5 \cdot 10^5$

Рентгеновская дифрактометрия позволяет неразрушающим методом осуществить:

- контроль фазового состава вещества;
- определять метрики кристаллической решетки;
- выявлять различные типы дефектов;
- анализирует напряженное и текстурированное состояния;
- исследование атомной структуры.

2.4.2 Электронно-микроскопический анализ

Методы электронной микроскопии:

1. Просвечивающая микроскопия позволяет наблюдать за отдельными атомами или ионами, проследить деформацию в кристаллической структуре. При данном методе пучок света неподвижен, а исследователь двигает образец и просматривает область просвечиваемую пучком. Диаметр измерения ангстремом или 10 ангстрем. Необходима очень хорошая подготовка – срезается поверхность ионными пучками.

2. Сканирующие микроскопы имеют больший диапазон увеличения (8-10 кратное увеличение). В данном методе пучок может быть сфокусирован в точку, но в обычном режиме осуществляется сканирование пучком поверхности.

3. Растровые микроскопы. В основу формирования изображения поверхности положен способ телевизионной развертки посредством сканирования первичного пучка электронов по поверхности образца, то есть тонкий луч электронов «оббегает» образец по горизонтальным точкам. При этом изображение появляется на экране. Источник электронов – электронная пушка, внутри вольфрамовый катод, когда он раскаляется, то между ним и анодом, находящемся ниже, создается разность потенциалов (от 100 до 50 тыс. вольт). Электроны начинают

срываться с проволоки и летят к аноду, часть проскакивает и попадает в колонку микроскопа, там стоят катушки, которые фокусируют пучок, дальше пучок выходит в камеру.

Типы излучений:

1. Упругое отражение: просто отскакивают, специальный тип детекторов преобразует интенсивности их потока в картинку. По интенсивности излучения мы изучаем поверхность. Интенсивность зависит от поверхности образца (ровная и гладкая) и плотности образца (средний атомный № или структура).

2. Падающий пучок выбивает ионы из самого образца (вторичные электроны). Интенсивности их потока при прочих равных условиях будет определять отражение. В данном случае мы видим рельеф поверхности. Разрешающая способность при работе в режиме наблюдения вторичных электронов 3-5 нм (если ближе сливается).

Могут быть дополнительные приставки для определения количественных характеристик исследуемых образцов:

1. Для химического анализа.
2. Для энерго-дисперсного анализа.
3. Для волнового дифракционного анализа.

Требования к образцам:

1. Образцы помещаются в камеру микроскопа только через шлюзовую камеру в специальных держателях. Отсюда ограничения по габаритам: максимальная высота не более 15 мм, максимальный диаметр (длина) не более 75 мм.

2. При одновременной загрузке нескольких образцов из верхние срезы должны находиться на одной высоте (± 1 мм).

3. Анализируемая поверхность должна быть горизонтальной. Крепление образцов на вакуумный пластилин не допускается.

4. При необходимости использования волнового спектрометра на столике держателя помимо образцов должны поместиться две эталонные шашки диаметром 26 мм.

5. Поверхность должна быть токопроводящей. Для этого на образцы напыляют различные виды токопроводящих материалов: графит, золото, платина и др. лаборатория использует только углеродное напыление толщиной от 20 до 40 нм получаемое в графито-стержневом испарителе большого объема в глубоком вакууме. Напыление одного

образца занимает от 40 мин. До 3 часов. Напыление образцов производится заблаговременно.

Съемка микрофотографий производилась с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6510LV JEOL (Япония) с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания), год выпуска – 2008. в «Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления» в центре коллективного пользования «Прогресс» отделение тонких физических методов исследования структуры материалов.

Электронный растровый микроскоп предназначен для исследования тонкой структуры биологических, полимерных, строительных материалов, стекол, металлов, сплавов и т.д. во вторичных, отраженных и поглощенных электронах, а также для исследования поверхности изломов путем визуального наблюдения и фотогравирования. Низковакуумный режим работы позволяет исследовать образцы без напыления токопроводящим слоем, в том числе биологические и полимерные материалы, стекла, нефтематеринские породы и т.д. Встроенный рентгеноспектральный анализатор INCA Energy 350 позволяет проводить анализ в точке, по профилю и картирование по площади. Технические характеристики приведены в таблице 2.21.

Таблица 2.21 – Технические характеристики микроскопа JSM-6510LV JEOL

Параметры	Значения
Пространственное разрешение в высоком вакууме (HV)	3 нм
Пространственное разрешение в низковакуумном режиме (LV)	4 нм
Увеличение	от 5 до 300 000
Детекторы	SEI - изображение во вторичных электронах BEIW - изображение в обратно-рассеянных электронах
Максимальный размер образца	150 мм (диаметр)
Система вакуумной откачки	пластинчато-роторный форвакуумный насос
Столик образцов	5 координат (X, Y, Z, T, R)

2.4.3 Определение гранулометрии веществ

Гранулометрический состав порошкообразных материалов определяли методом лазерной гранулометрии позволяющим непосредственно определять размеры частиц и процент их содержания в анализируемом материале.

Установка MicroSizer 201 позволяет исследовать частицы размерами от 0,2 до 600 мкм, разбивая указанный диапазон на 40 фракций, размеры частиц показаны в таблице 2.22.

Таблица 2.22 – Диапазон исследуемых частиц

№фр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D, мкм	0,20- 0,24	0,24- 0,30	0,30- 0,36	0,36- 0,45	0,45- 0,54	0,54- 0,66	0,66- 0,81	0,81- 0,99	0,99- 1,21	1,21- 1,48
№фр.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D, мкм	1,48- 1,81	1,81- 2,21	2,21- 2,70	2,70- 3,30	3,30- 4,03	4,03- 4,92	4,92- 6,01	6,01- 7,34	7,34- 8,97	8,97- 11,0
№фр.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
D, мкм	11,0- 13,4	13,4- 16,3	16,3- 20,0	20,0- 24,4	24,4- 29,8	29,8- 39,4	36,4- 44,5	44,5- 54,3	54,3- 66,4	66,4- 81,1
№фр.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
D, мкм	81,1- 99,0	99,0- 121	121- 148	148- 181	181- 221	221- 269	269- 329	329- 402	402- 491	491- 600

Принцип действия анализатора:

Излучение He-Ne лазера с помощью линзовой системы фокусируется в плоскость дефлектора. Сходящийся пучок лучей пропускается через плоскопараллельную кювету с образцом, расположенную на некотором расстоянии L от детектора. При наличии в кювете суспензии частиц наблюдается рассеяние света. Индикатриса рассеяния (угловая зависимость интенсивности рассеянного излучения) определяется размером частиц.

Работа анализатора:

Рассеянное излучение, полученное вследствие прохождения луча лазера через кювету с суспензией частиц, регистрируется с помощью специальной фотодиодной матрицы (ФДМ), содержащей 74 сегмента. ФДМ обеспечивает одновременное измерение интенсивности рассеянного излучения при 38 значениях углов рассеяния, а также

определение положения и интенсивности центрального (не рассеянного) луча. Сигналы с ФДМ усиливаются с помощью многоканального усилителя, через аналоговый коммутатор подаются на вход АЦП и преобразуются в цифровой код, который через интерфейс передается в компьютер.

Определяемое в ходе эксперимента значение индикатрисы рассеяния получается в результате усреднения отсчетов, снимаемых каждые 40 мс. За время эксперимента (15-60 сек) все частицы исследуемой суспензии проходят через световой пучок несколько раз, благодаря чему исходные данные содержат достаточно полную информацию о распределении частиц по размерам.

Результаты анализа, представляющие собой зависимость весовой доли частиц P_i от их диаметра D , выводятся в форме гистограммы и таблиц.

2.4.4 Прочность кубиковая и призмная. Коэффициент призмной прочности

Прочность при сжатии определяли на кубах с размером ребра 10 см и призмах 10*10*40 см в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78, ГОСТ 244520-80. Образцы на кубиковую прочность испытывали через 3 и 28 суток нормального твердения.

Призмную прочность определяли в возрасте 28 суток нормального твердения.

По результатам испытания серии призм (3 образца) определили среднюю величину призмной прочности легкого высокопрочного бетона.

Определили коэффициент призмной прочности $R_{пр}/R_{куб}$.

2.4.5 Модуль упругости. Коэффициент Пуассона. Предельная сжимаемость бетона

Модуль упругости при сжатии, предельную сжимаемость и коэффициент Пуассона определяли по результатам испытаний тех же призм, что и при определении призмной прочности.

Перед нагружением призмы проверяли совпадение ее физической и геометрической оси при помощи индикаторов. После центрирования образец нагружали степенями, равными примерно 10% от разрушающей нагрузки. Выдержка нагрузки на каждой ступени составляла 4-5 минут.

Продольные деформации образцов-призм измеряли с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм. Для измерения поперечных деформаций использовались индикаторы с ценой деления 0,001 мм. Отсчеты по приборам снимали сразу после нагружения и вторично после выдержки.

Приборы сохраняли на призмах вплоть до полного разрушения образцов с тем чтобы определить предельную сжимаемость бетона. Среднюю деформацию на каждом этапе определяли как среднее арифметическое значение деформаций на четырех боковых гранях отцентрированного образца. По результатам замеров строили графики. Модуль упругости (E_b) вычисляли для каждого образца при уровнях нагрузки, равных 20, 30, 50 и 80% от разрушающей, по формуле

$$E_b = \sigma_1 / \epsilon_1,$$

где $\sigma_1 = P_1 / A_b$ – приращение напряжение от условного нуля до требуемого уровня внешней нагрузки, а ϵ_{1y} – упругая составляющая полной относительной деформации на данном уровне. Коэффициент Пуассона (ν) определяли при нагрузках 20 и 50% от $R_{разр.}$, а коэффициент пластичности – при 50 и 100% от разрушающей нагрузки. По результатам испытания трех призм определяли средние величины всех исследуемых параметров.

Полученные опытные средние величины начального модуля упругости исследуемого бетона сопоставили с нормируемой [СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1985. 79 с.] и величиной для легкого бетона. В нормах на основе статистической обработке опытных значений начального модуля упругости бетонов на пористых заполнителях принята следующая зависимость

$$E_b = 3130 \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{R},$$

где: E_b – начальный модуль упругости, МПа;

ρ – плотность бетона, т/м³;

R – кубиковая прочность, МПа.

Отклонение от принятой зависимости характеризуется коэффициентом вариации 15%.

2.4.6 Усадка бетона

Для измерения усадочных деформаций изучаемого бетона изготавливали и испытывали призмы размером 10*10*30 см согласно ГОСТ 24544-81.

На образцы бетона устанавливали стационарные стальные рамки, закрепляемые на призмах с помощью четырех опорных винтов на базе 220 мм. По осевым линиям двух противоположенных граней призм на рамках закрепляли стальные репера для установки переносного индикатора с точностью 0,01 мм.

Измерение деформации начато через 4 часа после распалубки пропаренных образцов. Все призмы выдерживались в закрытом помещении, относительная влажность воздуха в котором за весь период измерений колебалась в пределах от 65 до 85%, а температура – от 16 до 22°C.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОМОЛОТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ ТЕРРИКОНИКОВ

Портландцемент – основное вяжущее, применяемое в современном строительстве для изготовления каменных и железобетонных конструкций.

Перспективным во многих отношениях способом повышения эффективности производства и применения цемента, получившим в последние годы широкое признание в мировой практике, является выпуск смешанных (композиционных, многокомпонентных, модифицированных) цементов.

Увеличение доли и видов минеральных добавок в цементах обусловлено в первую очередь необходимостью энергосбережения при их производстве, а также стремлением целесообразно и полно использовать гидравлическую активность добавок, их положительное влияние на структурообразование цементного камня и бетонов, формирование технологических и строительно-технических свойств. К основным причинам «ассортиментного взрыва» цементов следует отнести и растущее разнообразие потребностей цивилизации, активное развитие науки и технологии вяжущих, дальнейшее расширение технологических возможностей промышленности. Очевидно, что в обозримом будущем приоритет по-прежнему будет принадлежать модифицированным и смешанным вяжущим [114, 120, 121].

А. В. Волженский и А. Н. Попов при изготовлении смешанных цементов отдавали предпочтение повторному помолу портландцементов с минеральными добавками, что способствовало получению высокопрочных смешанных цементов. При этом, в отличие от способов непосредственного смешивания добавки и цемента в бетоносмесители, происходит более тонкого дополнительного измельчение частичек минеральной добавки, т. е. зерна клинкера, из-за повышенной прочности играют роль мелющих тел [32].

В. В. Стольников и В. В. Кинд установили, что в условиях пропаривания и нормального твердения возможно заменить 25 и более процентов цемента минеральной добавкой [105]. При этом увеличение удельной поверхности вяжущего с 260 до 400 м²/кг повышает прочность бетона на 123-139%, а при помоле до 600 м²/кг – на 131-150% от

прочности бетона без добавки.

Одним из перспективных направлений практического повышения полезных свойств вяжущих веществ является их активация. Она ведет к увеличению удельной поверхности вяжущих, изменению поверхностной структуры частиц, возникновению физических дефектов в подрешетках и решетках минералов, ускоряющих элементарные взаимодействия поверхностного слоя с водой [1, 82].

В нашей стране в последние годы разрабатываются принципиально новый вид вяжущего, получивший условное название «вяжущее низкой водопотребности» [13-16, 80], которые открывают новые перспективы получения высокопрочных бетонов, получаемых при совместном помолу портландцемента, минеральных добавок и модификаторов [5]. Последние, выполняя роль оболочки микрокапсулы вокруг гидратационно-активных частиц клинкерных минералов и других аморфных веществ, временно препятствуют химическому взаимодействию их с водой, т. е. замедляют процесс смачивания сильно развитой поверхности вяжущего. В результате этого уменьшается количество воды затворения. Нормальная густота этих вяжущих в среднем равна 18% [6].

В качестве более простого и дешевого варианта находит применение способ, основанный на изготовлении тонкомолотых многокомпонентных цементов с различными минеральными добавками и последующем введении жидких суперпластификаторов с водой при приготовлении бетонной смеси.

Белгородским ГТУ были проведены исследования по использованию природного перлита в составе смешанных цементов. В работе был исследован перлит Мухор-Талинского месторождения как активная минеральная добавка к портландцементу.

На кафедре технологии бетонов, керамики и вяжущих Пензенского государственного университета архитектуры и строительства были получены результаты в области создания особо высокопрочных безобжиговых бесцементных материалов из осадочных и вулканических пород [56].

Уникальность этих разработок состоит в том, что измельченные в порошок горные породы – гравелиты, глаукониты, силициты, базальты, диабазы, андезиты, сиениты, граниты и др. при температуре до 130-180°C с добавками шлака или без них в присутствии щелочей NaOH,

КОН формируют фазовые контакты, обеспечивающие прочность композитов до 130-180 МПа при относительно низкой средней плотности 1750-1900 кг/м³, с пористостью 25-30%. До 80% отходов горнорудной промышленности – тонкоизмельченные порошки, на которые затрачивается огромное количество энергии. В отличие от цемента, для получения которого после помола и дробления сырья необходимо высокотемпературный обжиг при $t=1500^{\circ}\text{C}$ с последующим высокоэнергоемким помолом клинкера, для создания геополимерных вяжущих нужен только помол и нормальное или низкотемпературное тепловое отверждение с малым количеством химических добавок [56].

Анализ известных разработок позволил составить систему факторов, определяющих структуру и свойства многокомпонентных вяжущих веществ, которая представлена на рис. 3.1.

Обзор работ показывает, что применение минеральных добавок в технологии вяжущих дает значительный экономический эффект. Ухудшение физико-технических свойств вяжущих с повышенным содержанием минеральных добавок можно компенсировать введением химических добавок с пластифицирующим, воздухововлекающим и ускоряющим твердение действиями или увеличением дисперсности.

Анализ литературных данных по влиянию введения различных минеральных добавок в состав вяжущего и бетона в присутствии химических добавок на его последующие твердение и физико-механические характеристики позволяет предположить, что существует комплекс технологических условий получения смешанных вяжущих, при использовании которых получают вяжущие разной активности и, соответственно, бетоны разных марок.

Использование золы уноса или зол терриконигов, а также их совместный помол с портландцементом, должно привести к повышению марки смешанного вяжущего.

Основной целью проводимых исследований было исследование возможности получения ТКВ с использованием ЗТ. Для сравнения подбор составов ТКВ производился с использованием в качестве активного наполнителя ЗУ Новой Иркутской ТЭЦ.

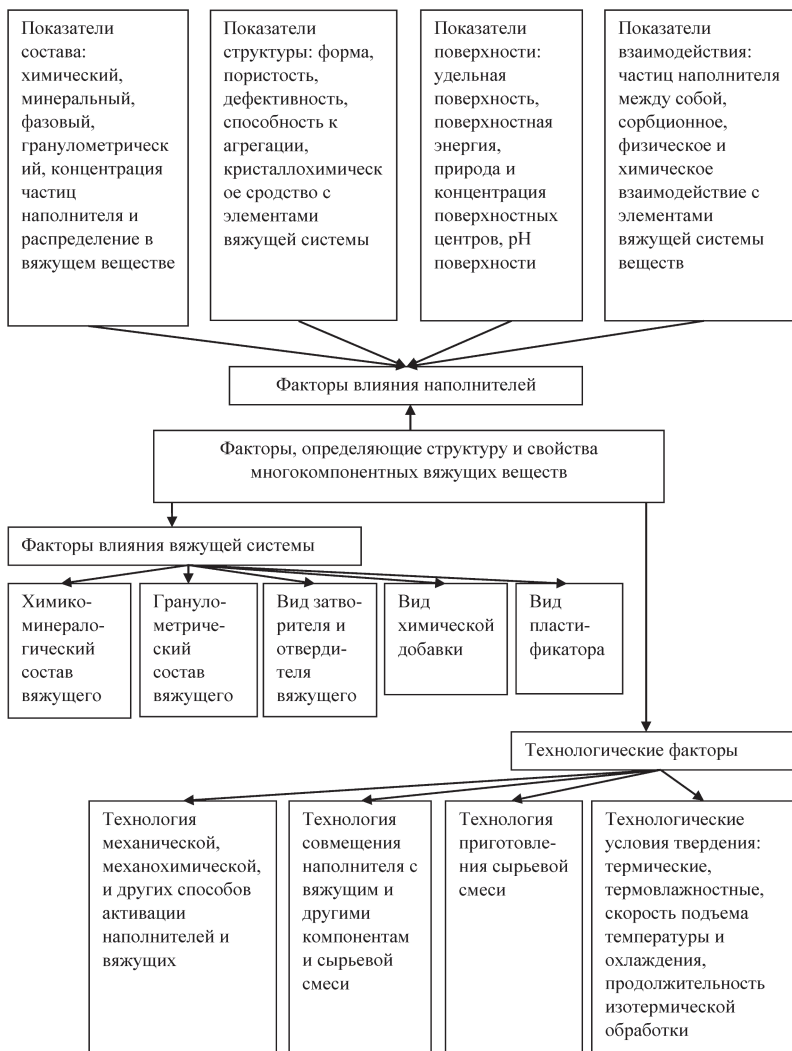


Рис. 3.1 – Система факторов, определяющих структуру и свойства многокомпонентных вяжущих веществ

3.1 Оптимизация составов вяжущих для производства легких высокопрочных бетонов

В связи с высокими требованиями к качеству вяжущего при производстве высокопрочного легкого бетона, была поставлена цель получения тонкомолотых композиционных вяжущих с повышенными прочностными характеристиками.

Оптимизация составов композиционных вяжущих возможно было успешно решить с помощью методов математического планирования эксперимента (МПЭ). Однако при решении частных задач подбор состава вяжущего может решаться любым, проверенным на практике методом, обеспечивающим в результате опытных замесов получение требуемой прочности на сжатие, поэтому был выбран расчетно-экспериментальный способ.

Качество композиционных вяжущих в значительной мере зависит от способа их измельчения, так как он оказывает существенное влияние на тонкость измельчения клинкерного компонента и минеральной добавки, что в конечном счете определяет основные свойства вяжущих веществ.

Известно, что измельчение цемента составляет почти три четверти от общих затрат электроэнергии на его производство, поэтому снижение расхода электроэнергии на помол и повышение его эффективности является приоритетной задачей получения тонкомолотых цементов, направленной на улучшение их свойств, и достигается путем выбора ПАВ и его дозировки, оптимальной энергонапряженностью процесса помола, применением принципиально нового оборудования для измельчения.

3.1.1 Исследование влияния количества и вида золы на физико-механические свойства тонкомолотых композиционных вяжущих

Для оптимизации состава помол ТКВ проводился с заменой цементной составляющей золой (ЗТ, ЗУ) в количестве 10-30% (рис 3.2) в шаровой мельнице с последующим добавлением ПАВ с водой затворения в количестве 1,5% для С-3 и 0,6% для Хидетал-ГП-9. Прочность при сжатии вяжущих определяли через 28 сут нормального твердения.

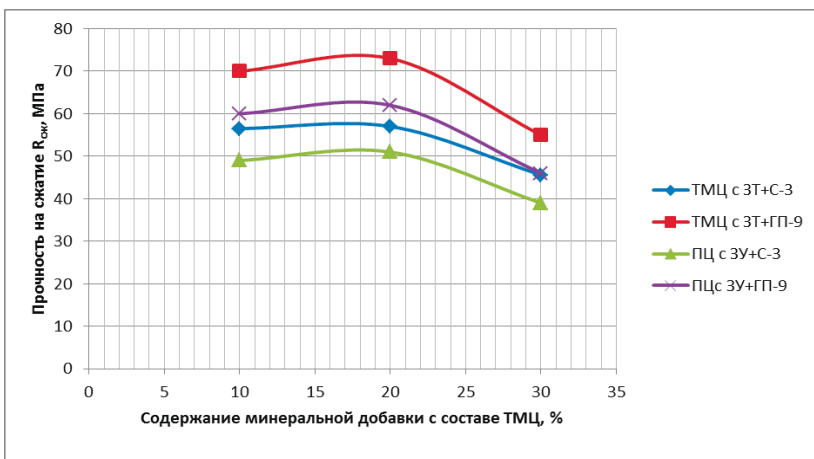


Рисунок 3.2 – Влияние количества и вида золы на прочность ТКВ

Анализ представленных результатов показал, что оптимальное содержание золы в ТКВ лежит в диапазоне 15-20%: при дальнейшем увеличении золыной составляющей прочность ТКВ резко снижается. Прочность вяжущих композиций с использованием золы терриконов в составе ТКВ в среднем на 15% выше, по сравнению с использованием золы уноса.

Эффективности использования тонкодисперсных порошков обусловлена несколькими причинами. Прежде всего, это возможность обеспечить более оптимальный гранулометрический состав цементного вяжущего, путем увеличения доли частиц с размерами от 0,01 до 5 мкм, которая в обычном портландцементе составляет не более 30-35%. Присутствие таких частиц обеспечивает более плотную упаковку цемента, повышает связанность цементного теста и стойкость к расслаиванию, а в сочетании с суперпластификатором увеличивает текучесть смеси.

Тонкодисперсные добавки, обладающие гидравлической активностью и развитой удельной поверхностью, кроме того, ускоряют твердение и повышают прочность цементного камня и бетона.

3.1.2 Влияние тонкости помола на свойства ТКВ с использованием золы терриконигов

Известно, что тонкость помола многокомпонентных вяжущих определяет их основные физико-механические характеристики. В свою очередь тонкость помола определяется способом измельчения вяжущих смесей. В работе исследовали кинетику измельчения ТКВ с золой терриконигов в количестве 20% по массе, измельченных в различных измельчителях. Изменение удельной поверхности ТКВ от времени помола в различных измельчителях (рис. 3.3) показало, что с увеличением времени измельчения происходит постепенный рост удельной поверхности вяжущих, определенной методом воздухопроницаемости через слой материала на приборе ПСХ-2. Оптимальная тонкость помола ТКВ равна 450-550 м²/кг. При этом время помола составляет 5-6 часов на шаровой мельнице или 3-4 минуты на виброистирателе или планетарной мельнице, дальнейший помол не оправдан, так как приводит к увеличению энергозатрат без видимого увеличения удельной поверхности, а прочность на сжатие ТКВ при удельной поверхности более 550 м²/кг уменьшается (рис. 3.4).

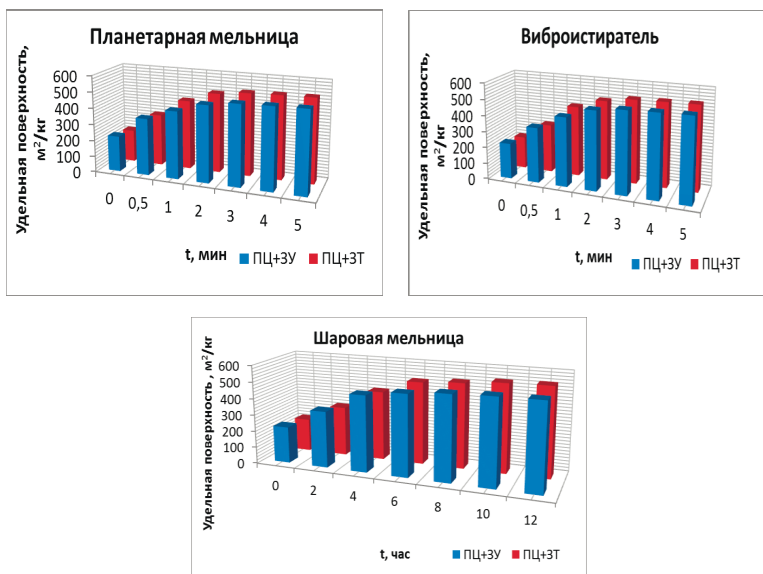


Рисунок 3.3 – Влияние продолжительности помола на рост удельной поверхности вяжущих веществ

Анализ кинетики помола ТКВ (рис. 3.3) показал, что энергетически выгодно использовать ЗТ в качестве наполнителя вяжущих в сравнении с ЗУ, в составе которой больше содержание аморфной фазы, что подтверждается наибольшей начальной скоростью помола $U_0=6.89 \text{ м}^2/\text{кг}\cdot\text{мин}$ и малыми коэффициентами торможения $\kappa_t=0,0003 \text{ кг}/\text{м}^2$.

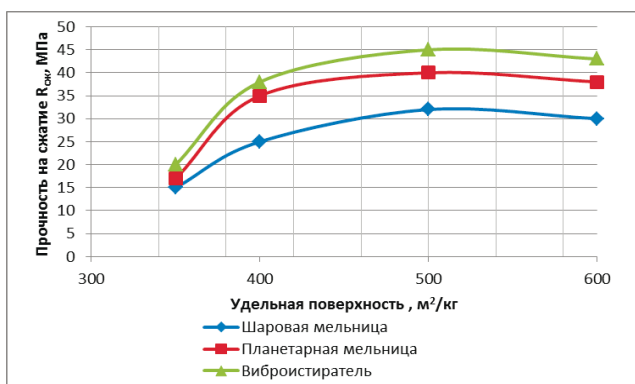


Рисунок 3.4 – Влияние тонкости помола и вида измельчителя на прочность при сжатии ТКВ после пропаривания ($t=95^\circ\text{C}$, время 1,5+6+1 час)

Помол ТКВ на виброистирателе более энергетически выгодно (рис. 3.4), так как обеспечивает снижение удельных энергетических затрат на 10-15% по сравнению с другими измельчителями.

Для всех исследуемых вяжущих характерна следующая кинетика измельчения: равномерный рост удельной поверхности, измеренной на ПСХ, а также перераспределение гранулометрического состава тонкоизмельченных смесей (лазерный гранулометр MicroSizer 201) в сторону увеличения мелких частиц (рис.3.5).

Гранулометрический анализ показал, что ТКВ имеют полимодальное распределение частиц с одним ярко выраженным пиком в интервале 20 – 100 мкм. Кривые гранулометрического состава ТКВ с использованием золы террикоников по сравнению с ТКВ с использованием золы уноса смещены в область мелких частиц.

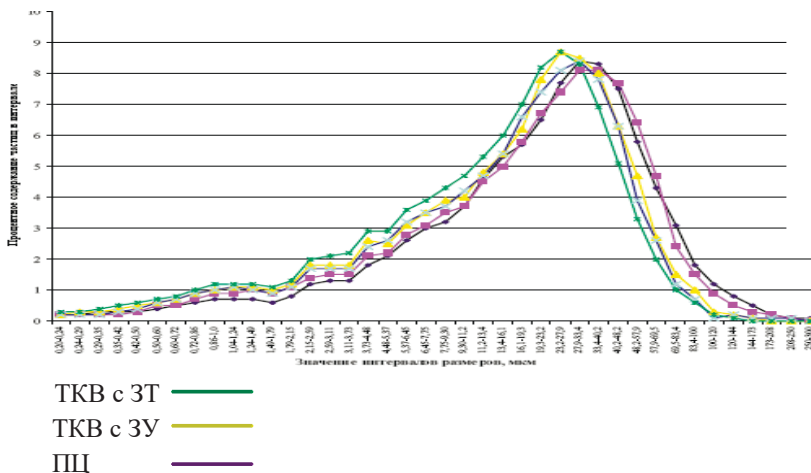


Рисунок 3.5 - Распределение частиц ТКВ по объему, измельченного на виброистирателе

При диспергировании цемента с золой терриконигов происходит не только их интенсивное измельчение, но и изменение физико-химического состояния и структуры, то есть механохимическая активация. Эффект механической активации не пропорционален приросту удельной поверхности и связан с необратимыми деформациями, происходящими при разрушении материала.

Лучшие показатели прочности при сжатии ТКВ наблюдаются при измельчении вяжущих с ЗТ в планетарной мельнице и на виброистирателе. С увеличением удельной поверхности (рис. 3.4.) ТКВ прочность повышается. Комплексное воздействие тонкого измельчения и тепловой обработки позволяет значительно интенсифицировать скорость гидратации и твердения вяжущих композиций. Как показал микроскопический анализ, при измельчении ЗТ в шаровой мельнице и планетарной мельнице не наблюдается большой разницы в изменении морфологии частиц. При измельчении золы терриконигов на стержневом виброистирателе диспергирование материала идет преимущественно по внутренним плоскостям спайности. За счет истирания в измельченных смесях содержится большое количество мелких частиц, увеличивающих общую поверхность системы, и соответственно скорость растворения. Установлено, что эффект механоактивации имеет место только при высокой энергонапряженности активатора, когда происходит не только

измельчение, но и пластическая деформация техногенных отходов. Кроме того, в виброистирателе и планетарной мельнице создаются высокие механические нагрузки на обрабатываемый материал, недостижимые для обычной шаровой мельницы. Результаты исследований показали, что активация ТКВ с золой террикоников в стержневом виброистирателе более эффективна, чем в планетарной мельнице, что подтверждает известные данные. Возможно в этом аппарате материалу передается максимально возможное количество подводимой энергии, а величина ускорения частиц достигает нескольких десятков g.

3.1.3 Влияние вида и количества ПАВ на свойства тонкомолотых композиционных вяжущих

Появление на рынке строительных материалов нового класса эффективных ПАВ – суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов обеспечивает снижение водопотребности вяжущих веществ при их содержании 0,2-0,6% не менее чем на 20-25% при повышении прочностных показателей на 50-70%. При введении ПАВ в состав тонкомолотых вяжущих уменьшается В/В-отношение, улучшаются реологические свойства вяжущих, повышается их прочность (табл.3.1).

Таблица 3.1 – Влияние вида и количества ПАВ на водовязущее отношение и прочность ТКВ с золой террикоников

Вид ПАВ	Количество ПАВ, %	В/В-отношение	Прочность на сжатие после 28 сут., МПа
-	-	0,45	44
С-3	0,6	0,4	48
С-3	0,9	0,36	52
С-3	1,2	0,34	55
С-3	1,5	0,32	57
Хидетал ГП-9	0,3	0,32	55
Хидетал ГП-9	0,4	0,28	60
Хидетал ГП-9	0,5	0,26	65
Хидетал ГП-9	0,6	0,24	73

Из полученных данных видно, что содержание Хидетал ГП-9 в количестве 0,6% дает повышение прочности ТКВ по сравнению с

исходным портландцементом на 45% и на 30% по сравнению с ТКВ с С-3. Причиной повышения прочности ТКВ является снижение В/В-отношения до 60%, такое действие поликарбоксилатных суперпластификаторов основано на совокупности электростатического и стерического эффектов, в отличие от С-3 который использует только электростатический эффект.

Отличительной особенностью исследуемых добавок является существенное повышение прочности в ранние сроки твердения. Так, через сутки нормального твердения прочность ТКВ с добавкой «Хидетал ГП-9» увеличивается на 45%, в то время как с добавкой С-3 – только на 30%. Следует отметить, что введением добавки «Хидетал ГП-9» достигается распалубочная прочность, равная 70% от марочной в возрасте 3 сут.

При подборе составов легких бетонов добавки ПАВ – Хидетал ГП-9 и С-3 использовались в количестве 0,6% и 1,5% соответственно.

3.1.4 Подбор составов ТКВ и определение основных характеристик

С учетом полученных данных степени дисперсности, гранулометрического состава и физико-механических испытаний вяжущих предложены рациональные составы ТКВ (табл. 3.2), в составе которых содержание ЗТ составляет до 20%: прочность при сжатии ТКВ с золой терриконигов равна $R_{сж}=57-73$ МПа, а в случае использования золы уноса – $R_{сж}=51-62$ МПа, что превышает прочность исходного портландцемента в среднем на 25-45%. При этом следует отметить, что прочность вяжущих с ЗТ на 14-17% выше по сравнению с прочностью ТКВ с золой уноса. Повышение физико-механических характеристик ТКВ с ЗТ объясняется, на наш взгляд, содержанием в золе терриконигов активной минеральной фазы метакаолинита.

Введение золы терриконигов в состав ТКВ и более тонкий его помол сокращают сроки схватывания вяжущих и ускоряют процессы структурообразования цементного камня. Результаты физико-химического анализа вяжущих композиций свидетельствуют о существенных изменениях в механоактивированных композициях. Фазовый состав затвердевшего искусственного камня предоставлен различными новообразованиями в зависимости от вещественного состава ТКВ и способа их механоактивации. РФА гидратных композиций показал, что состав цементирующих соединений в образцах

тонкомолотых вяжущих с ЗТ представлен гидросиликатами кальция тоберморитового состава и более прочными фазами гидроалюмосиликатов кальция. Установлено, что за счет взаимодействия продуктов гидратации ПЦ и активного кремнезема и метакеолинита ЗТ, в ТКВ значительно повышается доля гидросиликатов кальция типа CSH (I) и гидроалюмосиликатов.

Таблица 3.2 – Составы и физико-механические характеристики ТКВ

Состав вяжущего	НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности, МПа, в возрасте, сут.					
		Начало	конец	при изгибе			при сжатии		
				3	7	28	3	7	28
ПЦ+С-3	22	1-55	2-45	0,5	4,4	7	9,4	42,3	55
ПЦ+ГП-9	18	1-22	2-25	4	6,5	7,2	32,4	51	59
ПЦ+ 20% ЗУ+С-3	30	1-52	2-38	0,7	4,8	7,3	9,3	38,6	51
ПЦ+ 20% ЗУ+ ГП-9	23	1-15	2-16	4,1	6,5	7,9	35,2	53,8	62
ПЦ+ 20% ЗТ+С-3	32	1-45	2-30	0,9	5,3	7,8	10,2	44,8	57
ПЦ+ 20% ЗТ+ГП-9	24	1-10	2-13	4,9	6,8	8,4	42,6	64,9	73

Рентгена-фазовый анализ ТКВ (табл. 3.3) показал, что состав цементирующих соединений в образцах с ЗТ представлен гидросиликатами кальция тоберморитового состава и более прочными фазами гидроалюмосиликатов кальция.

Таблица 3.3 – Фазовый состав вяжущих веществ.

Состав вяжущего вещества	Содержание, %			
	Ca ₃ SiO ₅	CaAl ₂ Si ₂ O ₅ *4H ₂ O	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	Остальное
Портландцемент	68,96	-	-	31,04
Портландцемент+зола уноса	42,00	43,59	7,96	6,45
Портландцемент+зола терриконигов	32,86	51,17	10,67	5,3

Учитывая, что ЗТ имеет в своем составе более 10% метакеолинита, который не требует дополнительного обжига для повышения активности, автором были проведены исследования возможности получения расширяющейся добавки сульфатоалюминатного типа на основе ЗТ (таблица 3.4). Эффективность комплексного действия ЗТ, извести и гипса определяли на мелкозернистых бетонах состава 1 : 1 (вяжущее : песок). Перемешивание компонентов вяжущего производилось в шаровой мельнице. Для сравнения использовался выпускаемый промышленностью напрягающий цемент НЦ20.

Таблица 3.4 – Состав и свойства мелкозернистого бетона

Состав композиционного вяжущего, %					Свойства мелкозернистого бетона	
ПЦ	ЗТ	Гипс	Известь	Напрягающий цемент НЦ20	линейное расширение, %	прочность через 28 сут., МПа
80	13,3	6,7	-	-	±0	52,5
80	15	5	-	-	±0	79,5
80	16	4	-	-	±0	89,5
80	15,2	3,8	1	-	±0	96,1
-	-	-	-	100	0,02	64,7

Все бетоны с добавкой имели высокую активность: прочность при сжатии в возрасте 28 суток – 52,5-96,1 МПа. Высокая активность бетона обусловлена фазовым составом ЗТ.

Образцы с расширяющейся композицией из золы терриконики не дали эффекта расширения, но и не показало усадки, из чего следует, что содержание метакеолинита в золе терриконики не достаточно для расширения, но достаточно для компенсации усадочных деформаций.

3.2 Выводы по главе 3

1. Установлены закономерности влияния процессов структурообразования композиционных вяжущих, полученных путем помола портландцемента и золы терриконики, заключающиеся в интенсификации гидратации системы за счет более развитой и

дефектной структуры кремнеземсодержащего компонента и суперпластификатора, что приводит к синтезу более однородной структуры матрицы с минимальным содержанием пор и микротрещин.

2. Разработаны составы тонкомолотых композиционных вяжущих на основе портландцемента, золы терриконигов и пластифицирующей добавки с пределом прочности при сжатии до 73 МПа. Введение в состав вяжущих золы терриконигов позволило получить экономию ПЦ до 20%.

3. Установлено, что тонкомолотые композиционный вяжущие с золами терриконигов имеет прочность на сжатие выше, чем при использовании зол уноса в составе ТКВ, при их одинаковом содержании.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

С увеличением высоты зданий все более актуальным становится задачи снижения массы и сечений конструкций. Так, начиная с середины семидесятых годов 20 века, в практике высотного строительства наступило время модифицированных бетонов. Основой создания модифицированных бетонов является направленное регулирование строительно-технологических свойств бетона. В основу создания модифицированных бетонов легло использование комплексных модификаторов на основе активных минеральных добавок и органических поверхностно-активных веществ.

Развитие бетонов пошло по пути создания тяжелых особо высокопрочных бетонов $R_{сж} > 80 \text{ МПа}$ и легких высокопрочных бетонов $R_{сж} > 40 \text{ МПа}$. Использование высокопрочных легких бетонов наряду со снижением массы конструкций высотного здания обеспечивает также снижения уровня шума и энерго-, тепло-затрат при эксплуатации здания.

Следует отметить, что при замене тяжелого бетона в несущих конструкциях на равнопрочный легкий, существенно повышается огнестойкость конструкции. Это показывают результаты исследований, выполненных во многих странах. Обусловлен данный эффект, прежде всего, существенно меньшей разницей в коэффициентах линейного температурного расширения (КЛТР) основных компонентов легкого бетона в сравнении с разницей в величинах КЛТР компонентов тяжелого бетона и, кроме того – существенно меньшей теплопроводностью первого.

Весьма характерно, что проектировщики в зарубежных странах при выборе легкого бетона для несущих конструкций во многом руководствуются не только снижением массы конструкций, но и вопросами безопасности при пожаре. В последнее время при строительстве высотных зданий за рубежом все большее применение в несущих конструкциях находят легкие бетоны в том числе высокопрочные.

Иркутская область является высокосейсмичным районом. Расчет на сейсмiku производится из условия сейсмичности в 9 баллов. Также температурный режим обуславливается резко континентальным климатом, который характеризуется перепадом температуры в течение года от -50°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Все выше перечисленным говорит о том, что

внедрение высокопрочных легких бетонов в строительном комплексе Иркутской области, является актуальной задачей. В связи с чем, была поставлена задача: разработка высокопрочного легкого бетона с максимальным использованием сырьевых природных и техногенных ресурсов Иркутской области.

4.1 Оптимизация составов высокопрочного легкого бетона

Обязательными компонентами современного высокопрочного и высококачественного бетона являются высокоактивные тонкодисперсные минеральные наполнители (микрокремнезем, метакраин, зола уноса и др.) и высокоэффективные суперпластификаторы. Оптимальное сочетание указанных добавок-модификаторов, а при необходимости совмещение с ними в небольших количествах и других органических и минеральных материалов позволяет управлять реологическими свойствами бетонных смесей и модифицировать структуру цементного камня на микроуровне так, чтобы придать бетону свойства, обеспечивающие высокую эксплуатационную надежность конструкций. Полученные свойства бетонов – это результат сложных коллоидно-химических и физических процессов, влияющих на фазовый состав, пористость и прочность цементного камня [59, 65].

Проведенные ранее исследования эффективности действия в цементных системах добавок аморфного микрокремнезема показали, что в реакциях гидратации и перекристаллизации клинкерных фаз портландцемента наряду с основными фазами – ГСК, гидроалюминатами и гидросульфалюминатами кальция – характерно образование СН. Гидроокись кальция, являясь важным фактором обеспечения коррозионной стойкости арматуры в железобетоне, формирует необходимую для этих целей щелочность среды на уровне pH 11,8-12,5. Как правило, количество образовавшегося СН превышает требуемое для обеспечения необходимого уровня pH, и цементный камень имеет определенный резерв СН, который может быть использован в других полезных направлениях. Одно из таких направлений реализуется применением в технологии бетона органоминеральных добавок с содержанием микрокремнезема и суперпластификатора. Такие комплексные добавки не только пластифицируют и водоредуцируют бетонную смесь, но и частично связывают в ГСК механически слабую крупнокристаллическую фазу СН, существенно упрочняя структуру цементного камня и бетона на его основе.

В Иркутской области присутствуют производства ферросплавов, отходами которых является микрокремнезем, а также такие техногенные отходы как золы терриконов и уноса (характеристики приведены во второй главе). Данные материалы в сочетании с различными суперпластификаторами могут служить комплексной добавкой в высокопрочных легких бетонах.

4.1.1 Влияние состава и количества органоминеральной добавки на свойства легкого бетона

Подбор органоминеральной добавки производился из условия максимального использования местных сырьевых материалов. В связи с чем, изначально брался чистый микрокремнезем с последующим добавлением зол терриконов и уноса. В качестве суперпластификатора брался С-3. Оптимизацию состава добавки производили путем замены микрокремнезема золами до 50%. При этом отмечено, что при замене 50% микрокремнезема золой терриконов прочность снизилась на 3%, а при том же содержание золы уноса снижение прочности достигает 10%. Так же отмечен большой скачок прочности при использовании в качестве суперпластификатора «Хидетал ГП-9» около 40% (табл. 4.1), что говорит о его высокой водоредуцирующей способности. Основываясь на выше приведенном анализ в дальнейшем для получения высокопрочного легкого бетона использовалась добавка с содержанием в одинаковых частях микрокремнезема и золы терриконов и добавлением «Хидетал ГП-9».

В работе устанавливали влияние количества органоминеральной добавки на технологические свойства бетонной смеси и физико-механические свойства легкого бетона (рис. 4.1). Бетонную смесь приготавливали на ТКВ и на ПЦ и органоминеральной добавки с золой терриконов и суперпластификатором С-3.

Оптимальное содержание органоминеральной добавки лежит в пределах 10–20%. Увеличение содержания добавки будет целесообразно для получения бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами (водостойкость, морозостойкость и др.).

Следует отметить, что при увеличении содержания органоминеральной добавки улучшались реологические свойства бетонной смеси. Этот эффект можно объяснить комплексным воздействием органоминеральной добавки: обладает хорошим водоредуцирующим действием; МК и ЗТ кроме повышения плотности бетонной смеси, увеличивает ее подвижность.

Таблица 4.1 – Влияние состава и количества органоминеральной добавки на свойства легкого бетона

№ п. п.	Содержание вяжущего, кг/м ³		Состав органоминеральной добавки, %					В/В	ОК, см	Плотность бетона, кг/м ³	Рож после 28 сут., МПа
	ПЦ	ТКВ	МК	ЗТ	ЗУ	С-3	ГП-9				
1	500	-	90	-	-	10	-	0,5	16	1510	33
2	500	-	45	45	-	10	-	0,42	15	1513	31
3	500	-	45	-	45	10	-	0,45	15	1517	27
4	500	-	45	45	-	-	10	0,36	17	1650	49
5	-	500	90	-	-	10	-	0,49	15	1504	42
6	-	500	45	45	-	10	-	0,42	16	1507	41
7	-	500	45	-	45	10	-	0,44	16	1506	38
8	-	500	45	45	-	-	10	0,34	17	1652	57

Исследования показали возможность получения высокоподвижных смесей с осадкой конуса до 25 см и прочностью легкого бетона до 45 МПа. В этом случае В/В-отношение выше и достигает 0,52. Данные бетоны могут использоваться с минимальным вибрированием в тонкостенных и сильно армированных и практически без вибрирования в малоармированных и объемных конструкциях.

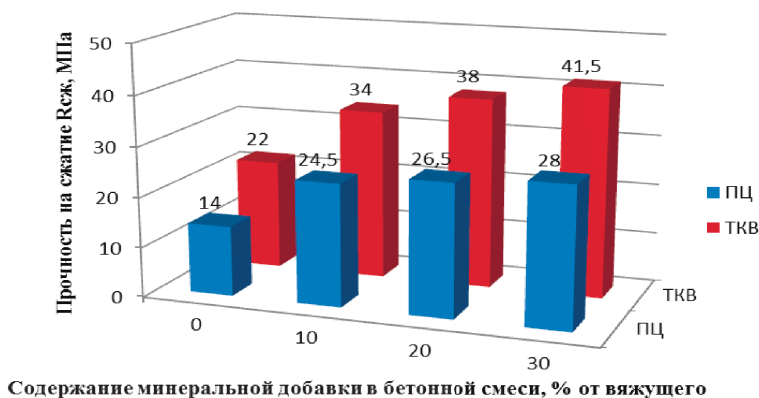


Рисунок 4.1 – Влияние количества органоминеральной добавки на прочность бетона

Высокое содержание вяжущего вещества в бетонной смеси ведет к увеличению усадочных деформаций бетонного камня. Для устранения данного эффекта определяли минимальное содержание вяжущего вещества. Влияние содержания вяжущего вещества определяли на бетонах приготовленных на основе ТКВ и портландцемента, количество органоминеральной добавки (микрокремнезем+зола террикоников+Хидетал-ГП-9) составляло во всех случаях 20% по массе от вяжущего. Установлено что оптимальное содержание вяжущего в обоих случаях составляет 500 кг/м³ (рис. 4.2). Увеличение содержания вяжущего не целесообразно, так как прирост прочности не значителен, так при расходе вяжущего 600 кг/м³ разница составляет 4%.

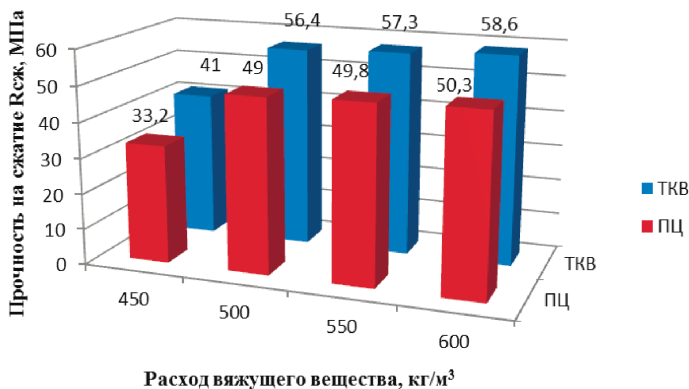
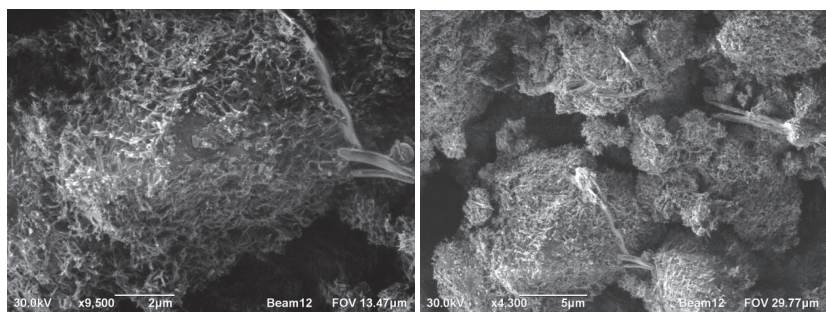


Рисунок 4.2 – Прочность бетона в зависимости от расхода вяжущего

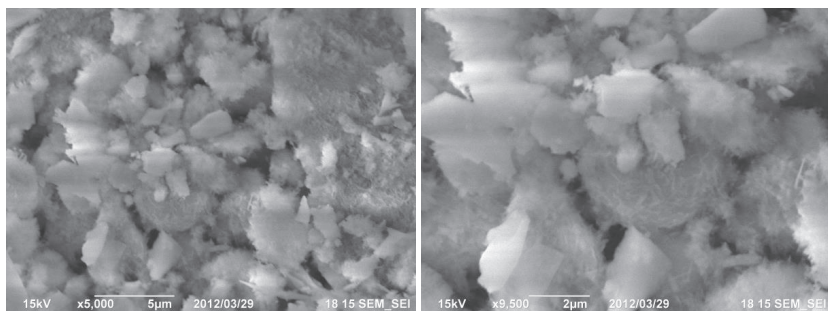
4.1.2 Анализ структуры легкого бетона

В работе установлено, что использование ЗТ в составе ТКВ и органоминеральной добавки позволяет регулировать микростроение легкого бетона (рис. 4.3).

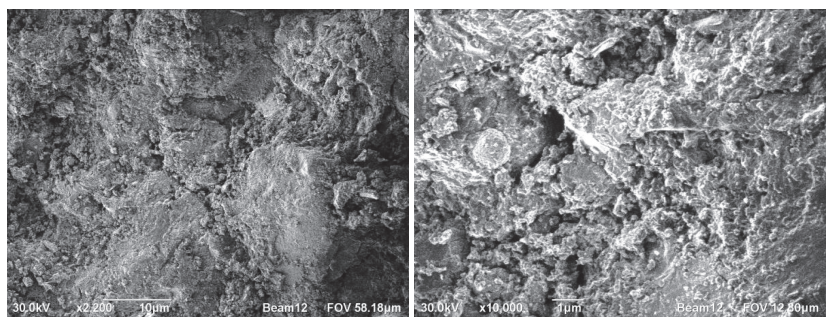
Легкий бетон на ПЦ характеризуется менее плотной структурой, хотя на поверхности зерен заполнителя и непрогидратированных зерен цемента наблюдаются гидратные новообразования, придающие прочность легкому бетону. Введение органоминеральной добавки в состав бетона, а также использование ТКВ приводят к изменению микроструктуры легкого бетона. Улучшение микроструктуры бетона обусловлено увеличением абсолютного объема новообразований и формированием более плотной и однородной структуры, модифицированной воздействием органоминеральной добавки на кристаллические новообразования с образованием более мелкодисперсной структуры, и изменением характера и величины пор. Наблюдается наличие гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в виде нитевидных кристаллов и столбчатых новообразований на непрогидратированных частицах цемента. Увеличивается плотность контактной зоны между вяжущим и заполнителем.



а



б



в

Рисунок 4.3 – Микроструктура легкого бетона при увеличении до 10 000 раз: а – бетон на ПЦ без добавок, б – бетон на ПЦ с органоминеральной добавкой, в – бетон на ТКВ с органоминеральной добавкой

4.1.3 Оптимизация составов методом математического планирования эксперимента

Для оптимизации состава высокопрочного легкого бетона в работе использовали методом математического планирования эксперимента, в частности, полным факторным экспериментом (ПФЭ) по методу Бокса-Уилсона.

Данный метод [67, 179], применим к оптимизации рецептурных составов. В данном случае устанавливали функциональную зависимость между оптимизируемым свойством – пределом прочности при сжатии образцов высокопрочного легкого бетона (Y) и входными параметрами – содержанием суперпластификатора «Хидетал-ГП-9» (X_1), в % мас. вяжущего; содержание активной минеральной добавки (X_2), в % от мас. вяжущего; и содержанием вяжущего в бетоне (X_3), в кг/м³. Показатель « Y » определяли на образцах-кубах 10х10х10 см. В качестве заполнителя использовали керамзит фракции 2,5-5 см. Водовязущее отношение бралось из условия одинаковой пластичности бетонного теста, ОК=17-19 см. Образцы твердели при нормальных условиях: температура наружного воздуха $t=20\pm 2^\circ\text{C}$, влажность 60-80%. Прочность на сжатие определяли на 28 суток. Значения интервалов варьирования факторов сведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Значения интервалов варьирования факторов

Код	Значение кода	Значение факторов		
		Содержание ГП-9 X_1	Содержание минеральной добавки X_2	Содержание вяжущего X_3
Основной уровень	0	2	20	500
Интервал варьирования	ΔX_i	0,5	5	50
Верхний уровень	+	2,5	25	550
Нижний уровень	–	1.5	15	450

Для оценки коэффициентов регрессионного уравнения, характеризующих искомую связь между X_1 , X_2 , X_3 и Y , необходимо проведение полного двухуровневого факторного эксперимента (ПФЭ) типа «ПФЭ–2³» [67, 119]. Алгебраическое уравнение для трехфакторного эксперимента имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3. \quad (4.1)$$

Для вычисления дисперсии воспроизводимости эксперимента (s_y^2) выполняют несколько параллельных опытов в нулевой точки (в центре плана). При постановке опытов в нулевой точке все факторы находятся на нулевых уровнях. По результатам исследований в центре плана вычисляют дисперсию воспроизводимости эксперимента по формуле 4.2.

$$s_y^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \left[\sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2 \right], \quad (4.2)$$

где n_0 – число параллельных экспериментов в нулевой точки, $n_0=3$;

y_u – значение параметра оптимизации в u -м опыте;

$\bar{y}$ – среднее арифметическое значение параметра оптимизации в n_0 параллельных экспериментах, $\bar{y} = (59 + 60,3 + 58,7) / 3 = 59,33$.

Получаем:

$$s_y^2 = \frac{1}{3-1} \left[(59 - 59,33)^2 + (60,3 - 59,33)^2 + (58,7 - 59,33)^2 \right] = 0,723.$$

Вычисляем коэффициенты модели. Свободный член b_0 определяем по формуле 4.3:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j. \quad (4.3)$$

Получаем:

$$b_0 = \frac{1}{8} 418,85 = 52,4.$$

Коэффициенты регрессии, характеризующие линейные эффекты, вычисляем по формуле 4.4:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j. \quad (4.4)$$

Получаем:

$$b_1 = \frac{1}{8} 23,81 = 3; \quad b_2 = \frac{1}{8} 2,75 = 0,3; \quad b_3 = \frac{1}{8} 61,79 = 7,7.$$

Коэффициенты регрессии, характеризующие эффекты взаимодействия, вычисляем по формуле 4.5:

$$b_{il} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{il} y_j, \quad (4.5)$$

где N – число экспериментов; i, l – номера факторов; j – номер строки или опыта в матрице планирования; y_i – значение параметра оптимизации в j -м опыте; x_{ij}, x_{il} – кодированные значения (± 1) факторов i и l в j -м опыте.

Получаем:

$$b_{12} = \frac{1}{8}(-18,73) = 2,3; \quad b_{13} = \frac{1}{8}(-0,57) = -0,1; \quad b_{23} = \frac{1}{8}18,37 = 2,3.$$

Далее проверяем статическую значимость коэффициентов уравнения регрессии способом сравнения абсолютной величины коэффициента с доверительным интервалом.

При проверки значимости коэффициентов для определения доверительного интервала вычисляем дисперсии коэффициентов регрессии по зависимости 4.6:

$$s^2\{b_i\} = \frac{1}{N}s_y^2; \quad (4.6)$$

где $s^2\{b_i\}$ – дисперсия i -го коэффициента регрессии.

Получаем:

$$s^2\{b_i\} = \frac{1}{8}0,723 = 0,09.$$

Из формулы 4.6 следует, что дисперсии всех коэффициентов равны. Доверительный интервал Δb_i определяем по формуле 4.7. Значение t -критерия, входящее в эту формулу, находим по таблице для принятого уровня значимости и числа степеней свободы f , которое определяется по формуле $f = n_0 - 1$.

$$\Delta b_i = \pm t_\tau s\{b_i\}; \quad (4.7)$$

где $t_\tau = 4,3$, согласно таблице;

$s\{b_i\}$ – ошибка в определении i -го коэффициента регрессии, вычисляемая по формуле 4.8:

$$s\{b_i\} = \sqrt{s^2\{b_i\}} = \sqrt{0,09} = 0,3. \quad (4.8)$$

Получаем:

$$\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 0,3 = 1,29.$$

Коэффициент регрессии значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Таким образом, определяем, что коэффициенты регрессии b_2 и b_{12} являются не значительными, а уравнение регрессии принимает вид:

$$Y = 52,4 + 3X_1 + 7,7X_3 - 2,3X_1X_2 + 2,3X_2X_3.$$

Далее производим проверку пригодности этого уравнения на адекватность. Для этого составляем таблицу 4.3.

Определяем дисперсию адекватности по формуле 4.9:

$$S_{ao}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y}_j)^2}{f} = \frac{\Delta^2}{N - (k + 1)}, \quad (4.9)$$

где $\Delta^2 = \sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y}_j)^2$ – квадрат разности между расчетными y по уточненному уравнению и значениям, полученными в результате исследования опытных образцов;

y_j – наблюдаемое значение параметра оптимизации в j -м эксперименте;

$\bar{y}_j$ – значение параметра оптимизации, вычисленное по модели для условий j -го эксперимента;

f – число степеней свободы, которое для линейной модели определяется по зависимости $f = N - (k + 1) = 3$, где k – число факторов.

Получаем:

$$S_{ad}^2 = \frac{1,46}{3} = 0,487.$$

Проверяем гипотезу адекватности модели по F -критерию, используя для определения F_p -критерия формулу 4.10:

$$F_p = \frac{S_{ao}^2}{S_y^2} = \frac{0,487}{0,723} = 0,67. \quad (4.10)$$

При $f_{ao}=3$ и $f_y=2$, $F_T=19,2$, следовательно $F_p < F_T$. Таким образом, уравнение прочности пригодно для описания исходной зависимости в исследованных пределах изменения фактор.

Таблица 4.3 – Вычисление дисперсии адекватности

№	x0	x1	x2	x3	x1x2	x1x3	x2x3	Y	Y ₂	Δ	Δ ²
1	52,4	3,0	0,0	7,7	-2,3	0,0	2,3	63,0	63,0	0,0	0,0008
2	52,4	-3,0	0,0	7,7	2,3	0,0	2,3	61,7	62,4	0,7	0,4340
3	52,4	3,0	0,0	7,7	2,3	0,0	-2,3	63,1	62,9	0,2	0,0293
4	52,4	-3,0	0,0	7,7	-2,3	0,0	-2,3	52,5	52,0	0,5	0,2665
5	52,4	3,0	0,0	-7,7	-2,3	0,0	-2,3	43,0	43,6	0,7	0,4340
6	52,4	-3,0	0,0	-7,7	2,3	0,0	-2,3	41,7	41,7	0,0	0,0008
7	52,4	3,0	0,0	-7,7	2,3	0,0	2,3	52,2	51,7	0,5	0,2665
8	52,4	-3,0	0,0	-7,7	-2,3	0,0	2,3	41,6	41,4	0,2	0,0293
b _i	52,4	3,0	0,0	7,7	-2,3	0,0	2,3	-		ΣΔ ² =	1,4612

Таблица 4.4 – Матрица натуральных значений переменных

№ п/п	План эксперимента			Взаимодействие			Натуральные значения			Прочность бетона на сжатие, МПа	R _{сж} , Y, МПа					
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁	X ₂	X ₃		X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃
1	+	+	+	+	+	+	2,5	25	550	63,04	63,04	63,04	63,04	63,04	63,04	63,04
2	-	+	+	-	-	+	1,5	25	550	62,24	-62,4	62,4	62,4	-62,4	-62,4	62,4
3	+	-	+	-	+	-	2,5	15	550	62,3	62,93	-62,93	62,93	-62,9	62,93	-62,93
4	-	-	+	+	-	-	1,5	15	550	51,5	-51,95	-51,95	51,95	51,95	-51,95	-51,95
5	+	+	-	+	-	-	2,5	25	450	43,63	43,63	43,63	-43,6	43,63	-43,63	-43,63
6	-	+	-	-	+	-	1,5	25	450	41,73	-41,73	41,73	-41,7	-41,7	41,73	-41,73
7	+	-	-	-	-	+	2,5	15	450	51,73	51,73	-51,73	-51,7	-51,7	-51,73	51,73
8	-	-	-	+	+	+	1,5	15	450	41,44	-41,44	-41,44	-41,4	41,44	41,44	41,44
9	0	0	0	0	0	0	2,0	20	500	59,0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	2,0	20	500	60,3	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	2,0	20	500	58,7	0	0	0	0	0	0
										418,85	23,81	2,75	61,79	-18,7	-0,57	18,37

4.1.4 Определение основных физико-механических характеристик легких бетонов

Был подобран наиболее эффективный состав высококачественного легкого бетона:

- тонкомолотое композиционное вяжущее с золой терриконигов – 500 кг/м³;
- органоминеральная добавка – 103,6 кг/м³, в том числе 50 кг – микрокремнезема, 50 кг – золы терриконигов, 3,6 кг – «Хидетал-ГП-9»;
- крупный заполнитель – 510 кг/м³ (керамзит фракции 2,5-5 мм);
- песок ($M_k=2,5$) – 250 кг/м³;
- вода – 180 л.

Его основные характеристики представлены в табл. 4.5.

Результаты показывают, что прочность бетона на ТКВ выше прочности бетона на ПЦ почти на 20%.

Таблица 4.5 – Основные характеристики высокопрочного легкого бетона на основе ТКВ и ПЦ

№ п.п.	Наименование показателя		Единица измерения	Бетон на основе ТКВ	Бетон на основе ПЦ
1	Прочность при сжатии	3 сут.	МПа	30,8	23,5
		28 сут.	МПа	56,5	47,2
		60 сут.	МПа	57,7	48,0
		90 сут.	МПа	58,9	48,5
2	Призменная прочность		МПа	40,6	34,5
3	Коэффициент призмной прочности		-	0,72	0,73
4	Модуль упругости		МПа	28000	27900
5	Прочность на растяжение при изгибе		МПа	2,5	2,3
6	Усадка		мм/м	0	0
7	Теплопроводность		Вт/м*С	0,34	0,34
8	Водопоглощение		%, мас.	14	15
9	Плотность бетонного камня		кг/м ³	1648	1651

4.2 Оптимизация состава безобжигового зольного заполнителя на основе золы терриконики

Учитывая, что в Иркутской области керамзит является дефицитом в виду отсутствия его производства, а также нормирования минимальной прочности легкого заполнителя при производстве конструкционного легкого бетона (не менее 5,5 МПа), согласно нормативных документов и наличия техногенных отходов, рассмотрен вопрос получения заполнителя на основе ЗТ.

Известно, что зола активно вступает во взаимодействие в условиях тепловой обработки с щелочными и щелочноземельными компонентами, образуя при этом цеолитоподобные и гидросиликатные и алюмосиликатные устойчивые соединения. В этом направлении наиболее активна система «зола – жидкое стекло». Однако анализ практического использования свидетельствуют о технологических неудобствах использования жидкого стекла вследствие схватывания бетонной смеси на рабочих частях транспортного, смесительного и формовочного оборудования. Для устранения вышеперечисленных недостатков перспективно переход на твердые силикаты натрия (силикат – глыба) как носителя щелочного активизатора и отвердевающего связующего – кремнегеля. Кроме того, применение промышленной силикат-глыбы позволяет снизить себестоимость продукции по сравнению с дорогостоящими жидкомодульными стеклами.

В связи с этим была рассмотрена возможность создания эффективных композиционных золосиликатных вяжущих, полученных путем совместного помола золы терриконики и силикат-глыбы в условиях гидромеханохимической активации в лабораторной шаровой мельнице и получения активных гранулированных заполнителей размерами 0-10 мм. Учитывалось следующее:

- совместное активирование золы и силикат-глыбы в присутствии воды в эффективных измельчителях позволит повысить растворимость силикат-глыбы и, соответственно, ускорить процессы гидратации и твердения вяжущих композиций в условиях пропаривания;

- безводный силикат натрия при взаимодействии с водой гидролизуетсся с образованием едкой щелочи и геля поликремниевой кислоты;

– золы в присутствии щелочного активатора в водной среде частично подвергаются гидролитической деструкции;

– гидромеханоактивация композиционного зольного вяжущего позволит получить активные гранулированные заполнители, твердеющие в неавтоклавных условиях.

Для получения золосиликатных композиций и пористого заполнителя были использованы следующие сырьевые материалы: зола терриконигов, безводная натриевая силикат-глыба ОАО «Салаватстекло» с кремнеземистым модулем 2,7 - 2,9.

Результаты исследований по получению золосиликатных композиций, твердевших в условиях тепловой обработки по режиму $t = 90^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1,5+6+1,5$ ч представлены на рисунках 4.4, 4.5.

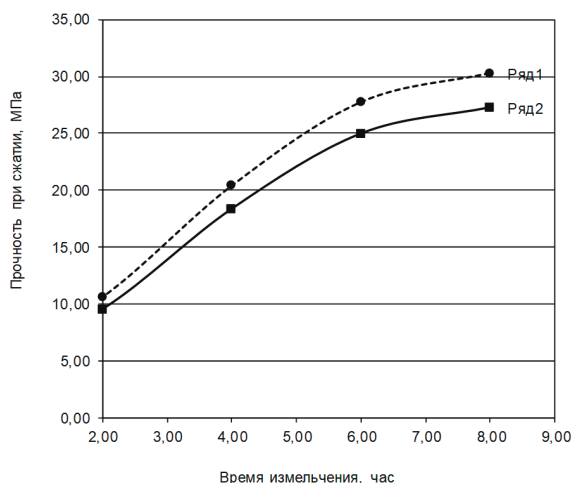
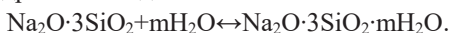


Рисунок 4.4 – Влияние времени активации на прочность золосиликатных композиций: 1 – гидромеханоактивация; 2 – сухая активация

На начальной стадии совместного измельчения силикат-глыбы и золы в присутствии воды происходит растворение силиката натрия с образованием гидратных соединений



Далее в раствор переходят образовавшиеся гидратные соединения с последующим гидролизом с образованием едкой щелочи



что в свою очередь должно способствовать протеканию гидратации и дальнейшему растворению активированных частиц кремнезема и алюмосиликатов золы терриконики с образованием гидросиликатных и гидроалюмосиликатных гелей. В условиях тепловой обработки происходит дальнейшее растворение силиката натрия и его выщелачивание с образованием едкой щелочи. В присутствии щелочи дальнейшее повышение температуры способствует более глубокому растворению с поверхности частиц золы аморфизированного кремнезема и алюмосиликатов. По мере их растворения и повышения концентрации в растворе понижается pH раствора, и происходит реакция поликонденсации с образованием геля поликремневой кислоты и алюмосиликатного геля, которые скрепляют в монолит не полностью растворившиеся частицы золы. Это способствует при тепловой обработке образованию стойких новообразований - низкоосновных гидроалюмосиликатов натрия и кальция, а также соответствующих гидросиликатов. В связи с этим, результаты исследований показывают значительную водостойкость образцов золосиликатного камня – 0,85-0,95 в зависимости от содержания силикат-глыбы.

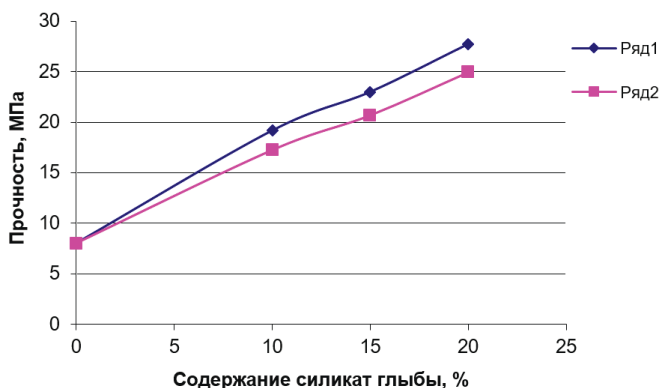


Рисунок 4.5 – Влияние содержания силикат-глыбы на прочность золосиликатных композиций.

1 – гидромеханоактивация; 2 – сухая активация

С использованием золы терриконики, силикат-глыбы и извести получен безобжиговый зольный гравий с насыпной плотностью 700–900 кг/м³, прочностью до 10–15 МПа, пористостью 60%. Разработанный

гранулированный заполнитель позволит исключить энергоемкую стадию обжига, что характерно для большинства искусственных заполнителей. Полученный безобжиговый зольный гравий вводили в бетонную смесь вместо керамзитового гравия. Получен легкий бетон на основе гранулированного заполнителя с прочностью 45–60 МПа, плотностью 1600–1800 кг/м³, общей пористостью до 60%, теплопроводностью 0,028–0,30 Вт/м·°С. Несмотря на то, что использование разработанного безобжигового зольного наполнителя с использованием золы повышает до 10% плотность бетона, тем не менее его использование улучшает теплоизоляционные свойства высокопрочного легкого бетона. Исследования показали, что теплопроводность легкого бетона с таким заполнителем в среднем на 15–20% ниже, чем при использовании керамзита. В золосодержащем гранулированном заполнителе формируются поры с уплотненными стенками и полифактурной поверхностью, которые снижают интенсивность тепловых потоков.

4.3 Технологическая схема производства высокопрочного легкого бетона на основе тонкомолотого композиционного вяжущего

На рис. 4.6 приведена принципиальная технологическая схема производства высокопрочного легкого бетона на основе тонкомолотого композиционного вяжущего.

Получение высокопрочного легкого бетона на основе тонкомолотого композиционного вяжущего предусматривает следующие технологические операции. Предварительно зола терриконигов размельчается до удельной поверхности 300–400 м²/кг и в таком виде поступает на склад, после приготавливают тонкомолотое композиционное вяжущее путем совместного помола портландцемента и золы терриконигов. Помол производится в виброистирателе. Объем загрузки и время помола должны определяться дополнительно, исходя из характеристик применяемого оборудования. Длительное хранение ТКВ на складе не предусматривается. Минеральную добавку получают путем смешивания золы терриконигов и микрокремнезема. После чего все компоненты бетонной смеси со склада попадают в бункера, при этом химические добавки (суперпластификатор, ускоритель твердения и др.) попадают в один бункер с водой затворения и там перемешиваются. Из

бункеров все компоненты через дозатор в определенной последовательности попадают в смеситель, и перемешиваются. Полученная бетонная смесь разгружается в автобетоносмесителе для транспортировки на строительную площадку. Время транспортирования бетонной смеси в автобетоносмесителе, может быть включено в технологический процесс приготовления бетона.

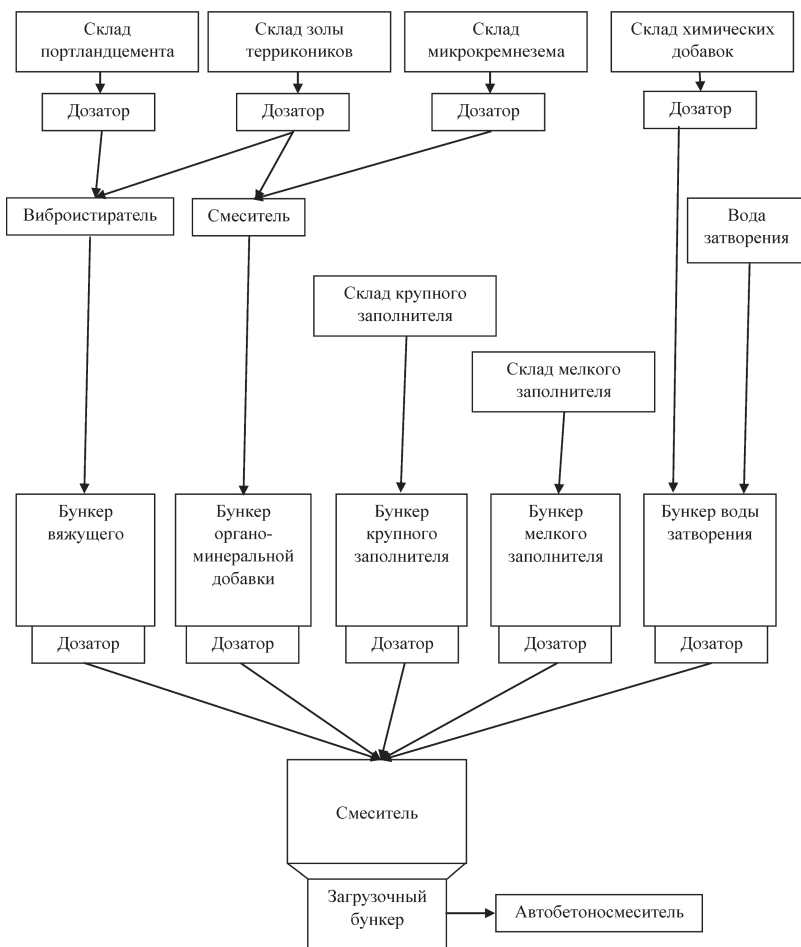


Рисунок 4.6 – Принципиальная схема производства высокопрочного легкого бетона на основе тонкомолотого многокомпонентного цемента

4.4 Выводы по главе 4

1. Разработаны принципы получения высокопрочных легких бетонов на тонкомолотых композиционных вяжущих с использованием золы террикоников.

2. Доказана возможность получения высокопрочного легкого бетона за счет оптимизации микро- и макроструктуры путем использования тонкомолотых композиционных вяжущих и органоминеральной добавки. Оптимизация микроструктуры легкого бетона позволила получить бетон с пределом прочности до 60 МПа, плотностью до 1650 кг/м³.

3. Получены высокопрочные легкие бетоны с использованием тонкомолотых композиционных вяжущих и органоминеральной добавки, включающей микрокремнезем, золу террикоников и ПАВ для строительства монолитных конструкций с пределом прочности на сжатие до 60 МПа, плотностью 1650 кг/м³, теплопроводностью до 0,34 Вт/м·°С.

4. Исследование микроструктуры образцов легкого бетона, приготовленного на тонкомолотом композиционном вяжущем с органоминеральной добавкой, показало, что в процессе совместной гидратации цемента и добавок наблюдается равномерное распределение продуктов гидратации в объеме композита. Поры и пустоты в образце легкого бетона практически отсутствуют, высокая плотность конгломерата обеспечивается за счет использования тонкомолотого композиционного вяжущего и органоминеральной добавки.

5. Получен высокопрочный легкий бетон с использованием безобжигового зольного заполнителя из золы террикоников с пределом прочности на сжатие до 60 МПа, плотностью до 1800 кг/м³, теплопроводностью до 0,30 Вт/м·°С.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

5.1 Определение стоимости бетонной смеси

Для определения стоимости бетонной смеси необходимо просчитать себестоимость проданной продукции, после чего прибавить к ней рентабельность и получить рыночную стоимость [2, 4, 12, 94].

Для расчета себестоимости бетонной смеси было принято, что на типовом бетонном заводе, производится высокопрочный легкий бетон класса В45 в течении одного года. Годовая производительность 100 000 м³.

Расчет коммерческой себестоимости бетонной смеси проводился при помощи составления калькуляции всех затрат на производство. Предварительно были просчитаны следующие показатели: зарплата основных рабочих, отчисление на социальное, страхование, содержание и эксплуатация оборудования, цеховые расходы, общепроизводственные расходы, коммерческие расходы. В таблице 5.1 приведен расчет коммерческой себестоимости высокопрочного легкого бетона.

Таблица 5.1 – Расчет рыночной стоимости 1 м³ высокопрочного легкого бетона

Статьи расходов	Норма расхода на единицу	Цена, руб.	Сумма, руб.
1. Стоимость сырьевых материалов:			
Тонкомолотое вяжущее, т	0,5	3450	1725,00
Керамзит, м ³	0,9	1685	1516,50
Песок, т	0,25	210	52,50
Минеральная добавка (МК+ГП), т	0,1	6885	688,50
Суперпластификатор, л	15	120	1800,00
Итого:			5782,20
Вспомогательные материалы			0,60
2. Электроэнергия, кВт/час	3,5	0,71	2,46
3. Зарплата основных рабочих			48,60
4. Отчисление на социальное страхование			12,63
5. Содержание и эксплуатация оборудования			103,72

Статьи расходов	Норма расхода на единицу	Цена, руб.	Сумма, руб.
6. Цеховые расходы			26,16
7. Цеховая себестоимость	5976,37		
Общепроизводственные расходы			32,33
8. Общепроизводственная себестоимость	6008,7		
Коммерческие расходы			61,72
9. Коммерческая себестоимость	6070,42		
НДС 18% от коммерческой себестоимости без учета стоимости материалов			51,88
Коммерческая себестоимость с НДС			6122,22
Рентабельность 5%			306,11
Рыночная стоимость			6428,33

Примечание: расчет произведен в ценах 2 квартала 2011 г. согласно информационному бюллетеню министерства строительства и дорожного хозяйства иркутской области. НДС на материалы не насчитывается, так как в целях налогообложения будет возмещен из бюджета.

5.2 Выбор оптимального конструктивного решения

Для определения целесообразности использования высокопрочного легкого бетона в строительных конструкциях многоэтажного монолитном домостроительстве была поставлена задача выбора оптимального конструктивного решения [136].

5.2.1 Варианты оптимизации конструктивного решения

Было принято три различных конструктивных схемы монолитного четырнадцати этажного здания с размерами в плане 19,26*24 м, расчетная схема рис. 5.1. Первая (исходная) имела тяжелый бетон класса В25 вторая высокопрочный легкий бетон класс В45 и третья высокопрочный легкий бетон класса В45 с изменением сечений конструкций. Исходные данные приведены в таблице 5.2.

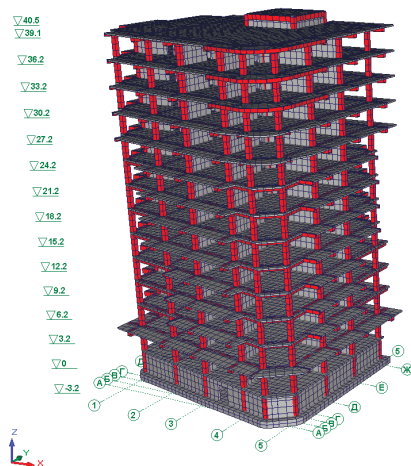


Рисунок 5.1 – Расчетная схема монолитного железобетонного каркаса

Таблица 5.2 – Параметры вариантов оптимизации конструктивного решения

Направление и параметры оптимизации	Значение параметра по вариантам		
	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
1. Материал конструкций	B25	B45	B45
- класс бетона			
2. Размеры конструкций			
- толщина плиты фундамента, см	80	80	60
- толщина диафрагм, см	18	18	16
- толщина плит перекрытий, см	18	18	16
- сечение колонны b*h, см	50*50	50*50	40*40
- сечение ригелей поперечных, см	50*60	50*60	40*60
- сечение ригелей продольных, см	50*60	50*60	40*60

Для выше перечисленных вариантов был проведен статический расчет каркаса с помощью систем автоматизированного проектирования SCAD, результатом которого стал отчет, в котором показаны напряжения в конструкциях, а также приведены площади арматуры для каждого конструктивного элемента и процент их армирования. Результаты расчета представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оценка армирования при вариантах оптимизации конструктивного решения

Вид конструкций и характеристика армирования	Значение параметра по вариантам				
	Вариант №1	Вариант №2	$\Delta, \%$	Вариант №3	$\Delta, \%$
Общий вес ж. б. конструкций, т	8752	6072	-31	5134	-42
Плита фундамента:					
–% армирования по X	0.58	0.34	-41	0,49	-16
–% армирования по Y	0.67	0.43	-36	0,73	9
– нижняя сетка: стержни по X, As, cm^2	42.5	22.2	-48	26,2	-38
– нижняя сетка: стержни по Y, As, cm^2	49.32	31.77	-36	38,91	-21
– верхняя сетка: стержни по X, As, cm^2	17.7	10.66	-40	11,16	-37
– верхняя сетка: стержни по Y, As, cm^2	25.47	12.83	-50	13,57	-47
– поперечная арматура с шагом 100 мм, Asw, cm^2	2.83	1.84	-35	2,32	-18
Диафрагмы жёсткости:					
–% армирования по X	2.45	1,92	-22	2,33	-5
–% армирования по Y	2.62	1,56	-40	1,53	-42
– горизонтальное армирование, As, cm^2	17.82	14,05	-21	14,7	-18
– вертикальное армирование, As, cm^2	19.27	11,7	-39	9,97	-48
Плиты перекрытий:					
–% армирования по X	0.96	0,81	-16	0,93	-3
–% армирования по Y	1.03	0,97	-6	1,01	-2
– нижняя сетка: стержни по X, As, cm^2	7.65	5,67	-26	5,39	-30
– нижняя сетка: стержни по Y, As, cm^2	9.05	8,35	-8	7,65	-15
– верхняя сетка: стержни по X, As, cm^2	7.8	6,85	-12	6,55	-16
– верхняя сетка: стержни по Y, As, cm^2	8.22	7,35	-11	6,62	-19
Колонны:					
– общее содержание продольной арматуры, %	2.09	1,66	-21	2,99	43
– продольная арматура, As, cm^2	57.7	43,28	-25	52,1	-10
– поперечная арматура с шагом 100 мм, Asw, cm^2	1.49	1,15	-23	0,89	-40
Ригели продольные					
– общее содержание продольной арматуры, %	1.19	1,03	-13	1,12	-6
– нижняя прод. арматура, As, cm^2	13.58	9,63	-29	12,76	-6
– верхняя прод. арматура, As, cm^2	13.53	11,68	-14	8,0	-41
– вертикал. попер. арматура, Asw, cm^2	2.11	1,54	-27	1,53	-27
Ригели поперечные					
– общее содержание поперечной арматуры, %	1.17	1,17	0	0,87	-26
– нижняя прод. арматура, As, cm^2	12.22	11,93	-2	5,73	-53
– верхняя прод. арматура, As, cm^2	11.29	11,93	6	7,39	-35
– вертикал. попер. арматура, Asw, cm^2	1.51	1,05	-30	1,24	-18

По полученным результатам было просчитано необходимое количество арматуры, и составлены локальные сметные ресурсные расчеты для каждого из вариантов, откуда брались данные для дальнейшего выбора оптимального варианта конструктивного расчета.

5.2.2 Расчет технико-экономических показателей для выбора оптимального конструктивного решения

Оценка эффективности предложенных конструктивных решений производится методом сопоставления технико-экономических показателей, приведенных в таблице 5.14. Особенностью экономической оценки конструктивных решений является расчет затрат на трех уровнях: производства. Возведения и эксплуатации конструкций. Решающим критерием для окончательного выбора варианта конструкций является показатель приведенных затрат. Алгоритм расчета показателя приведенных затрат дан на рис. 5.2. Вариант, для которого приведенные затраты минимальны, является наиболее эффективным.

Согласно формуле, приведенной в алгоритме, находим прямые затраты. Стоимость материалов и эксплуатации машин и механизмов взяты из сметного расчета. Расчет прямых затрат приведен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет прямых затрат

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Стоимость материалов	26 231 090,30	31 146 677,49	27 204 713,71
Стоимость эксплуатации машин и механизмов	3 396 205,67	2 926 705,95	2 409 318,24
Основная заработная плата	1 998 242,04	1 601 003,36	1 493 293,42
Итого ПЗ	31 625 538,01	35 674 386,80	31 107 325,37

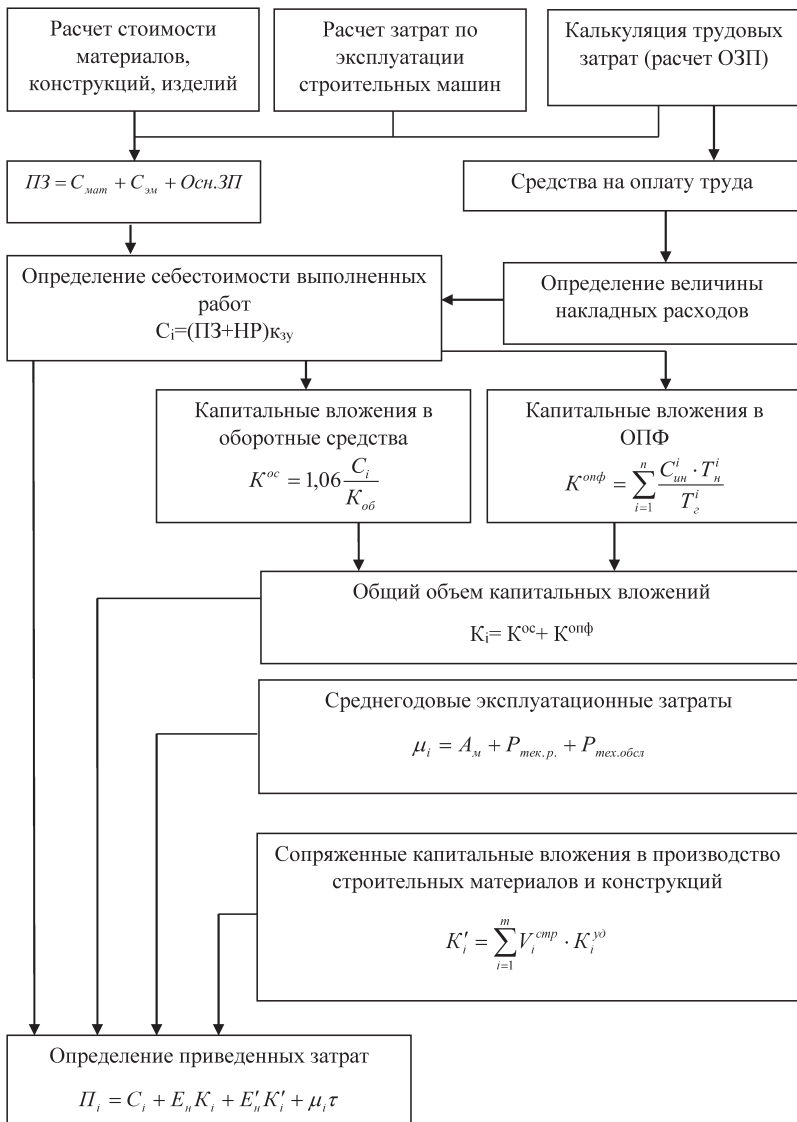


Рисунок 5.2 – Выбор оптимального варианта конструктивного решения

Данные по прямым затратам (стоимости основных материалов, стоимости машин и механизмов и заработная плата) взятые из локальной сметы приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Прямые затраты

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Стоимость материалов	26 231 090,30	31 146 677,49	27 204 713,71
Стоимость эксплуатации машин и механизмов	3 396 205,67	2 926 705,95	2 409 318,24
Основная заработная плата	1 998 242,04	1 601 003,36	1 493 293,42
Итого ПЗ	31 625 538,01	35 674 386,80	31 107 325,37

Далее определяем себестоимость выполненных работ. Величины накладных расходов взяты из локальной сметы. Результаты приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Определение себестоимости выполненных работ

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Накладные расходы	2 259 666,41	1 805 931,79	1 684 434,98
Прямые затраты	31 625 538,01	35 674 386,80	31 107 325,37
Коэффициент зимнего удорожания	1,31	1,31	1,31
Итого ПЗ	44 525 158,61	49 249 138,63	43 088 373,10

Далее следует определение капитальных вложений табл. 5.7. Расчет капитальных вложений в оборотные средства приведен в табл. 5.8. Для расчета капитальных вложения в основные производственные фонды (механизмы) взят только основной механизм – башенный кран, время работы остальных не значительно. Их рыночная стоимость взята из интернета, нормативное время работы из локальной сметы, годовое время работы из нормативов с учетом коэффициента, учитывающего регион работы. Расчеты представлены в табл. 5.9.

Таблица 5.7 – Общий объем капитальных вложений

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Капитальные вложения в оборотные средства	11 799 167,03	12 681 653,20	11 418 418,87
Капитальные вложения в ОПФ	4 618 623,48	4 618 623,48	3 785 263,16
Итого	16 417 790,51	17 300 276,68	15 203 682,03

Таблица 5.8 – Капитальные вложения в оборотные средства

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Себестоимость	44 525 158,61	49 249 138,63	43 088 373,10
Козф. оборачиваемости	4,00	4,00	4,00
Итого	11 799 167,03	12 681 653,20	11 418 418,87

Таблица 5.9 – Капитальные вложения в ОПФ

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Стоимость КБ	6 200 000,00	6 200 000,00	6 200 000,00
Время работы на объекте	1 840,00	1 840,00	1 508,00
Годовой режим работы КБ	2 470,00	2 470,00	2 470,00
Итого	4 618 623,48	4 618 623,48	3 785 263,16

Следующим этапом идет расчет среднегодовых эксплуатационных затрат таблица 5.10. По формуле, приведенной в алгоритме, определяем амортизационные отчисления по формуле: $A_m = N_a \cdot (C_i + N_{см.п.} \cdot \Phi ОТ)$, результаты представлены в таблице 5.11 и затраты на текущий ремонт таблица 5.12.

Затраты на техническое обслуживание здания, которые включают в себя: расходы на отопление и вентиляцию здания, расходы на непроизводственное водоснабжение и канализацию, санитарно-гигиеническое обслуживание, электроосвещение здания в расчет не берем, так как они являются постоянными для всех вариантов оптимизации.

Таблица 5.10 – Среднегодовые эксплуатационные затраты

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Амортизация	1 103 613,01	1 210 028,91	1 060 283,46
Затраты на текущий ремонт	1 024 078,65	1 132 730,19	991 032,58
Итого	10 638 458,28	11 713 795,47	10 256 580,18

Таблица 5.11 – Амортизационные отчисления

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Нормы амортизационных отчислений, %	2,40	2,40	2,40
Себестоимость	44 525 158,61	49 249 138,63	43 088 373,10
Основная заработная плата	1 998 242,04	1 601 003,36	1 493 293,42
Норматив сметной прибыли	0,73	0,73	0,73
Итого	1 103 613,01	1 210 028,91	1 060 283,46

Таблица 5.12 – Годовые затраты на текущий ремонт

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Стоимость элементов, руб.	44 525 158,61	49 249 138,63	43 088 373,10
Норматив затрат на текущий ремонт	0,023	0,023	0,023
Итого	1 024 078,65	1 132 730,19	991 032,58

Сопряженные капитальные вложения в производство строительных материалов в расчет не берутся, так как заводы по производству бетона не нуждаются в переоборудовании.

Завершающим этапом выбора оптимального конструктивного решения является расчет приведенных затрат, минимальный показатель которого является критерием оптимальности. В таблице 5.13 представлена калькуляция приведенных затрат с учетом дополнительных коэффициентов согласно формуле, приведенной в алгоритме.

Таблица 5.13 – Приведенные затраты

Состав затрат	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Себестоимость Выполненных работ	44 525 158,61	49 249 138,63	43 088 373,10
Общий объем капитальных вложений	16 417 790,51	17 300 276,68	15 203 682,03
Среднегодовые эксплуатационные затраты	10 638 458,28	11 713 795,47	10 256 580,18
Итого	71 581 407,40	78 263 210,78	68 548 635,31

В таблице 5.14 приведены технико-экономические показатели для выбора оптимального конструктивного решения.

Таблица 5.14 – Технико-экономические показатели по монолитному каркасу для выбора оптимального конструктивного решения

№ п.п.	Наименование показателя	Обозначение	Варианты производства работ			Обоснование стоимости
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
1	Стоимость материалов, конструкций и изделий	$C_{мат}$	26 231 090,30	31 146 677,49	27 204 713,71	Табл. 5.5
2	Стоимость эксплуатации строительных машин	$C_{эм}$	3 396 205,67	2 926 705,95	2 409 318,24	Табл. 5.5
3	Основная заработная плата	ОЗП	1 998 242,04	1 601 003,36	1 493 293,42	Табл. 5.5
4	Итого прямых затрат	ПЗ	31 625 538,01	35 674 386,80	31 107 325,37	Табл. 5.5
5	Накладные расходы	НР	2 259 666,41	1 805 931,79	1 684 434,98	Табл. 5.6
6	Себестоимость выполненных работ	C_i	44 525 158,61	49 249 138,63	43 088 373,10	Табл. 5.6
7	Капитальные вложения в ОС	$K^{ос}$	11 799 167,03	12 681 653,20	11 418 418,87	Табл. 5.7
8	Капитальные вложения в ОПФ	$K^{опф}$	4 618 623,48	4 618 623,48	3 785 263,16	Табл. 5.9
9	Общий объем капитальных вложений	K_i	16 417 790,51	17 300 276,68	15 203 682,03	Табл. 5.7
10	Амортизационные отчисления	A_m	1 103 613,01	1 210 028,91	1 060 283,46	Табл. 5.11
11	Затраты на текущий ремонт	$P_{тк.р.}$	1 024 078,65	1 132 730,19	991 032,58	Табл. 5.12
12	Среднегодовые эксплуатационные затраты	μ	10 638 458,28	11 713 795,47	10 256 580,18	Табл. 5.10
13	Приведенные затраты	Π_i	71 581 407,40	78 263 210,78	68 548 635,31	Табл. 5.13
14	Экономический эффект	$\mathcal{E}$	0	-9,5%	4,3%	расчет

Для более подробного анализа изменения приведенных затрат и определение конструкций, где наиболее экономически эффективно использование высокопрочного легкого бетона, были произведены расчеты по выбору оптимального конструктивного решения для каждой конструкции в отдельности.

Алгоритм расчета показателя приведенных затрат данный на рис. 5.2 остается тем же.

Ниже представлены таблицы с 5.15 по 5.19 с технико-экономическими показателями для выбора оптимального варианта конструктивного решения по всем конструкциям.

Таблица 5.15 – Техничко-экономические показатели по фундаментной плите для выбора оптимального конструктивного решения

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Варианты производства работ		
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	Стоимость материалов, конструкций и изделий	$C_{\text{мат}}$	2 001 742,65	2 695 584,44	2 271 786,03
2	Стоимость эксплуатации строительных машин	$C_{\text{эм}}$	268 145,43	265 254,36	164 631,19
3	Основная заработная плата	ОЗП	55 242,98	43 102,78	34 454,36
4	Итого прямых затрат	ПЗ	2 325 131,06	3 003 941,58	2 470 871,58
5	Накладные расходы	НР	62 314,08	48 619,94	38 864,52
6	Себестоимость выполненных работ	C_i	3 137 102,91	4 011 065,84	3 297 793,24
7	Капитальные вложения в ОС	$K^{\text{ос}}$	831 332,27	1 032 849,45	873 915,21
8	Капитальные вложения в ОПФ	$K^{\text{опф}}$	236 704,45	236 704,45	177 465,59
9	Общий объем капитальных вложений	K_i	1 068 036,73	1 269 553,91	1 051 380,79
10	Амортизационные отчисления	A_m	76 258,33	97 020,74	79 750,68
11	Затраты на текущий ремонт	$P_{\text{тк.р.}}$	72 153,37	92 254,51	75 849,24
12	Среднегодовые эксплуатационные затраты	μ	742 058,47	946 376,28	777 999,61
13	Приведенные затраты	Π_i	4 947 198,11	6 226 996,02	5 127 173,64
14	Экономический эффект	$\mathcal{E}$	0	-26%	-4%

Таблица 5.16 – Техничко-экономические показатели по колоннам для выбора оптимального конструктивного решения

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Варианты производства работ		
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	Стоимость материалов, конструкций и изделий	$C_{\text{мат}}$	1 690 050,03	2 146 441,45	1 772 334,43
2	Стоимость эксплуатации строительных машин	$C_{\text{эм}}$	312 342,88	282 153,74	182 869,55
3	Основная заработная плата	ОЗП	106 353,77	100 376,60	81 639,34
4	Итого прямых затрат	ПЗ	2 108 746,68	2 528 971,79	2 036 843,32
5	Накладные расходы	НР	119 967,05	113 224,80	92 089,18
6	Себестоимость выполненных работ	C_i	2 928 529,84	3 471 846,32	2 797 417,31
7	Капитальные вложения в ОС	$K^{\text{ос}}$	76 060,41	894 000,43	741 315,59
8	Капитальные вложения в ОПФ	$K^{\text{опф}}$	520 097,17	520 097,17	332 867,21
9	Общий объем капитальных вложений	K_i	1 296 157,57	1 414 097,59	1 074 182,79
10	Амортизационные отчисления	A_m	72 148,03	85 082,91	68 568,34
11	Затраты на текущий ремонт	$P_{\text{тк.р.}}$	67 356,19	79 852,47	64 340,60
12	Среднегодовые эксплуатационные затраты	μ	697 521,10	824 676,88	664 544,67
13	Приведенные затраты	P_i	4 922 208,52	5 710 620,79	4 536 144,77
14	Экономический эффект	$\mathcal{E}$	0	-16%	8%

Таблица 5.17 – Техничко-экономические показатели по ригелям для выбора оптимального конструктивного решения

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Варианты производства работ		
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	Стоимость материалов, конструкций и изделий	$C_{\text{мат}}$	5 071 393,45	7 265 076,98	5 626 029,94
2	Стоимость эксплуатации строительных машин	$C_{\text{эм}}$	1 100 302,99	998 558,97	794 654,43
3	Основная заработная плата	ОЗП	305 252,61	299 314,45	252 749,19
4	Итого прямых затрат	ПЗ	6 476 949,05	8 562 950,40	6 673 433,56
5	Накладные расходы	НР	344 324,94	337 626,70	285 101,09
6	Себестоимость выполненных работ	C_i	8 963 154,02	11 695 358,31	9 143 514,53

№ п/п	Наименование показателя	Обозна чение	Варианты производства работ		
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
7	Капитальные вложения в ОС	К ^{ос}	2 375 235,82	3 011 554,76	2 423 031,35
8	Капитальные вложения в ОПФ	К ^{опф}	1 793 958,70	1 793 958,70	1 435 161,94
9	Общий объем капитальных вложений	К _i	4 169 194,52	4 805 513,47	3 858 193,29
10	Амортизационные отчисления	А _м	220 463,72	285 932,59	223 872,51
11	Затраты на текущий ремонт	Р _{тк.р.}	206 152,54	268 993,24	210 300,83
12	Среднегодовые эксплуатационные затраты	μ	2 133 081,32	2 774 629,15	2 170 866,74
13	Приведенные затраты	Π _i	15 265 429,87	19 275 500,93	15 172 574,57
14	Экономический эффект	Э	0	-26%	0,5%

Таблица 5.18 – Техничко-экономические показатели по диафрагмам жесткости для выбора оптимального конструктивного решения

№	Наименование показателя	Обозна чение	Варианты производства работ		
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	Стоимость материалов, конструкций и изделий	С _{мат}	7 143 628,82	6 914 618,21	6 467 803,56
2	Стоимость эксплуатации строительных машин	С _{эм}	773 283,25	697 063,91	619 723,83
3	Основная заработная плата	ОЗП	755 684,52	611 314,40	595 581,83
4	Итого прямых затрат	ПЗ	8 672 596,59	8 222 996,52	7 683 109,22
5	Накладные расходы	НР	755 684,52	689 562,64	671 816,30
6	Себестоимость выполненных работ	С _i	12 388 761,38	11 711 102,74	10 978 372,13
7	Капитальные вложения в ОС	К ^{ос}	3 283 021,77	3 015 608,95	2 909 268,62
8	Капитальные вложения в ОПФ	К ^{опф}	1 252 701,21	1 252 701,21	1 112 887,45
9	Общий объем капитальных вложений	К _i	4 535 722,98	4 268 310,17	4 022 156,06
10	Амортизационные отчисления	А _м	310 569,87	291 776,69	273 915,52
11	Затраты на текущий ремонт	Р _{тк.р.}	284 941,51	269 355,36	252 502,56
12	Среднегодовые эксплуатационные затраты	μ	2 977 556,89	2 805 660,28	2 632 090,42
13	Приведенные затраты	Π _i	19 902 041,25	18 785 073,19	17 632 618,62
14	Экономический эффект	Э	0	6%	12%

Таблица 5.19 – Техничко-экономические показатели по перекрытиям для выбора оптимального конструктивного решения

№ п/п	Наименование показателя	Обозна чение	Варианты производства работ		
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	Стоимость материалов, конструкций и изделий	$C_{\text{мат}}$	10 324 275,35	12 124 956,41	11 066 759,75
2	Стоимость эксплуатации строительных машин	$C_{\text{эм}}$	921 213,18	730 598,05	647 404,18
3	Основная заработная плата	ОЗП	775 708,16	546 895,13	528 868,70
4	Итого прямых затрат	ПЗ	12 021 196,69	13 402 449,59	12 243 032,63
5	Накладные расходы	НР	880 648,19	616 897,71	596 563,89
6	Себестоимость выполненных работ	C_i	16 953 024,17	18 421 422,35	16 871 229,83
7	Капитальные вложения в ОС	$K^{\text{ос}}$	4 492 551,41	4 743 516,26	4 470 875,90
8	Капитальные вложения в ОПФ	$K^{\text{опф}}$	817 245,34	817 245,34	726 830,77
9	Общий объем капитальных вложений	K_i	5 309 796,75	5 560 761,60	5 197 706,67
10	Амортизационные отчисления	A_m	420 462,99	451 695,74	414 175,30
11	Затраты на текущий ремонт	$P_{\text{тк.р.}}$	389 919,56	423 692,71	388 038,29
12	Среднегодов эксплуатационные затраты	μ	4 051 912,72	4 376 942,27	4 011 067,91
13	Приведенные затраты	P_i	26 314 733,64	28 359 126,22	26 080 004,41
14	Экономический эффект	Ξ	0	-8%	1%

По полученным результатам построены гистограммы, отражающие сравнение приведенных затрат по монолитному каркасу в целом рис. 5.3 и по элементам каркаса в отдельности рис. 5.4

5.3 Выводы по главе 5

1. Стоимость высокопрочного легкого бетона составляет 6428,33 руб. с НДС.

2. Выполнен статический расчет конструкций из полученного легкого бетона с изменением сечений. Применение высококачественного легкого бетона в монолитном каркасе многоэтажного здания дает экономический эффект за счет изменения сечений конструкций. Экономический эффект составляет 4,3%.

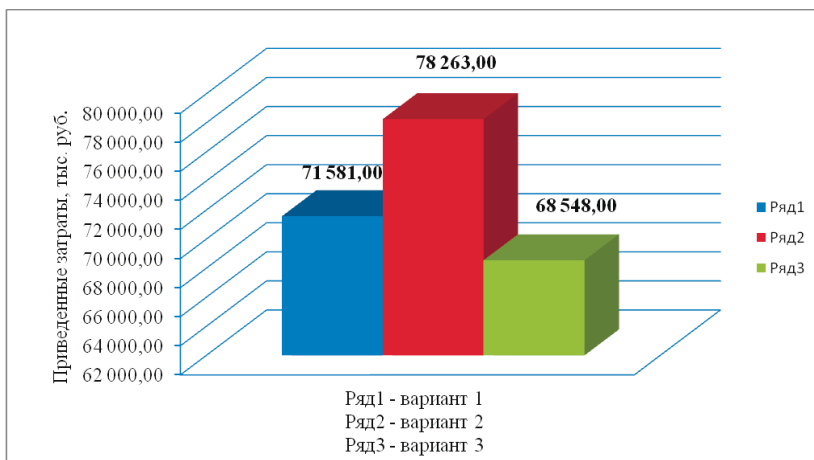


Рисунок 5.3 – Сравнение вариантов конструктивного решения для монолитного каркаса в целом

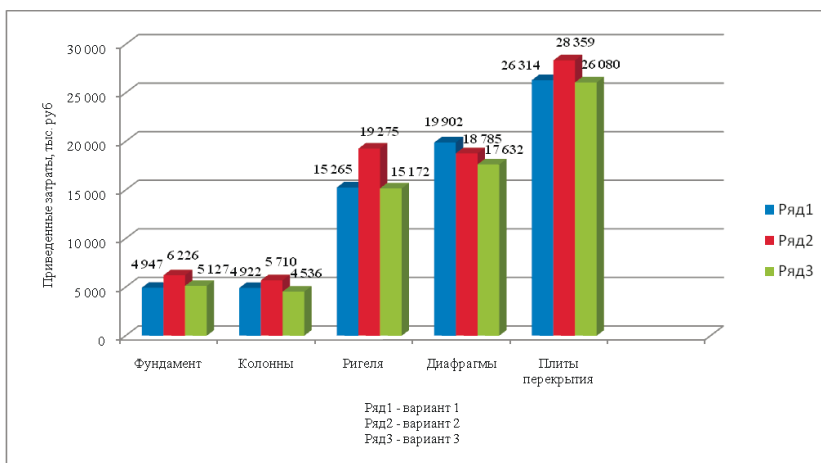


Рисунок 5.4 – Сравнение вариантов конструктивного решения для монолитного каркаса по элементам конструкций в отдельности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны принципы получения высокопрочных легких бетонов на тонкомолотых композиционных вяжущих с использованием золы террикоников.

2. Установлены закономерности влияния процессов структурообразования композиционных вяжущих, полученных путем помола портландцемента и золы террикоников, заключающиеся в интенсификации гидратации системы за счет более развитой и дефектной структуры кремнеземсодержащего компонента и суперпластификатора, что приводит к синтезу более однородной структуры матрицы с минимальным содержанием пор и микротрещин.

3. Разработаны составы тонкомолотых композиционных вяжущих на основе портландцемента, золы террикоников и пластифицирующей добавки с пределом прочности при сжатии до 73 МПа. Введение в состав вяжущих золы террикоников позволило получить экономию ПЦ до 20%.

4. Доказана возможность получения высокопрочного легкого бетона за счет оптимизации микро- и макроструктуры путем использования тонкомолотых композиционных вяжущих и органоминеральной добавки. Оптимизация микроструктуры легкого бетона позволила получить бетон с пределом прочности до 60 МПа, плотностью до 1650 кг/м³.

5. Получены высокопрочные легкие бетоны с использованием тонкомолотых композиционных вяжущих и органоминеральной добавки, включающей микрокремнезем, золу террикоников и ПАВ для строительства монолитных конструкций с пределом прочности на сжатие до 60 МПа, плотностью 1650 кг/м³, теплопроводностью до 0,34 Вт/м·°С.

6. Исследование микроструктуры образцов легкого бетона, приготовленного на тонкомолотом композиционном вяжущем с органоминеральной добавкой, показало, что в процессе совместной гидратации цемента и добавок наблюдается равномерное распределение продуктов гидратации в объеме композита. Поры и пустоты в образце легкого бетона практически отсутствуют, высокая плотность конгломерата обеспечивается за счет использования тонкомолотого композиционного вяжущего и органоминеральной добавки.

7. Выполнен статический расчет конструкций из полученного легкого бетона с изменением сечений. Применение высококачественного легкого бетона в монолитном каркасе многоэтажного здания даст экономический эффект за счет изменения сечений конструкций. Экономический эффект составляет 4,3%.

8. Получен высокопрочный легкий бетон с использованием безобжигового зольного заполнителя из золы терриконигов с пределом прочности на сжатие до 60 МПа, плотностью до 1800 кг/м³, теплопроводностью до 0,30 Вт/м·°С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 305 с.
2. Акимов В. В. Герасимова А. Г., Макарова Т. Н., Мерзляков В. Ф., Огай К. А. Экономика отрасли (строительство): учебник. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 302с.
3. Андреичев С. В., Наумов А. В. Безобжиговый искусственный заполнитель для бетонов на основе зол гидроудаления ТЭС // Строительные материалы. – 1995. – №10. – С. 9.
4. Арdziнов В. Д. Организация и оплата труда в строительстве. – СПб.: Питер, 2004. – 190 с.
5. Бабаев Ш. Т. Высокопрочные бетоны на основе вяжущих нового поколения // Промышленность сборного железобетона. – Серия 3. Выпуск 4. – М.: ВНИИЭСМ, 1990. – С.16-30.
6. Бабаев Ш. Т. Особенности гидратации многокомпонентных вяжущих низкой водопотребности. – ВНИИТИиЭ. Сер. 3. Вып. 4. – 9 с.
7. Бабков В. В., Полак А. Ф., Комохов П. Г. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент. – 1988. – №3. – С. 14-16.
8. Бабков В. В., Мохов В. Н., Капитонов С. М., Комохов П. Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. – Уфа: Уфимский полиграфкомбинат. – 2002. – 376 с.
9. Бабков В. В., Сахибгареев Р. Р., Чуйкин А. Е., Кабанец В. В. Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетонов // Строительные материалы. – 2010. – №6. – С. 44-46.
10. Баженов Ю. М. Технология бетонов. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 500 с.
11. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 238 с.
12. Банушева Н. И. Экономика строительной отрасли. – М.: Академия, 2006. – 223 с.
13. Батраков В. Г. Повышение долговечности бетона добавками кремнийорганических полимеров. – М.: Стройиздат, 1968. – 113 с.

14. Батраков В. Г., Башлыков Н. Ф., Бабаев Ш. Т. и др. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности // Бетон и железобетон. – 1988. – №11. – С. 4-6.

15. Батраков В. Г., Силина Е. С. Применение химических добавок – способ первичной защиты железобетона // Бетон и железобетон. – 1990. – №3. – С.16-17.

16. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.

17. Болотских О. Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. Часть 1 // Технологии бетонов. – 2008. – №10. – С. 28-30.

18. Болотских О. Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. Часть 2 // Технологии бетонов. – 2008. – №11. – С. 34-36.

19. Бужевич Г. А. Укрепить базу легкобетонного строительства // Сборник материалов Всесоюзного семинара работников керамзитовой промышленности. – Куйбышев, 1978. – С. 31.

20. Быстренина Е. В. Влияние параметров грануляции на свойства зольных гранул // В кн.: Исследование свойств и технологий получения эффективных строительных материалов на базе местного сырья и отходов промышленного производства. – Сб. трудов. Красноярск, 1989. – С. 61-68.

21. Вавренюк С. В., Туманов В. П., Орентлихер Л. П. Гранулированный легкий заполнитель – поробазальт // Технология бетонов. – 2008. – №6. – С. 54-55.

22. Вавренюк С. В., Кораблева Г. А. Вулканические породы Дальнего Востока как сырье для производства природных пористых заполнителей в бетоны // Технологии бетонов. – 2009. – №5. – С. 8-9.

23. Василик П. Г., Бурьянов А. Ф., Гонтарь Ю. В., Чалова А. И. Влияние супер- и гиперпластификаторов на водопотребность и прочностные характеристики затвердевшего камня на основе комплексного вяжущего // Материалы V Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». – Казань. 8-10 сентября 2010 г. – С. 47-50.

24. Васильков С. Г., Чалый Л. В. Производство аглопоритового гравия из зол ТЭЦ на Днестровском заводе // Строительные материалы. – 1985. – №10. – С. 12-13.

25. Ваучинский М. Н., Иванов А. Н. Выбор компонентов самоуплотняющихся бетонных смесей для высокопрочных бетонов // Строительные материалы. – 2009. – №9. – С. 58-60.

26. Величко Е. Г., Костина Т. П., Дыки И. В. Шлакосиликатный полистиролбетон – эффективный теплоизоляционный материал // Строительные материалы. – 2009. – №10. – С. 16-19.

27. Витюгин В. М. Исследования процесса гранулирования окатыванием с учетом свойств коксуемости дисперсий. Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. – Томск: 1975. – 42 с.

28. Вишня Д. Л. и др. Гранулирование золошлаков – метод утилизации и экологически чистого складирования отходов ТЭС // Минеральная часть топлива, шлакование, загрязнение и очистка котлов: Материалы 3 Всеросс. научно-техн. конфер. – Челябинск. 2001. Т.2. – С.142-152.

29. Вишня Д. Л., Уфимцев В. М., Капустин Ф. Л. Перспективные технологии удаления, складирования и использования золошлаков ТЭС. – Екатеринбург: изд-во ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ», 2006. – С. 156.

30. Вихрева Н. Е. Гранулированный микрокремнезем как основа керамических масс // Вестник БелГТАСМ. Научно-технический журнал. – 2003. – №5. – С. 62-64.

31. Волков Ю. С. Конструкции из легких бетонов за рубежом // Всесоюзный семинар «Эффективные конструкции из легких бетонов». – НИИЖБ. – 1980. – С. 25.

32. Волженский А. В., Попов А. Н. Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе. – М.: Стройиздат, 1970. – 93с.

33. Гамаюнов С. Н., Мисников О. С., Беляков В. А. Опытный образец заполнителя на основе торфа и сапропеля для изготовления легкого бетона // Технология и комплексная механизация торфяного производства: Сб. науч. тр. Тверь. – 1996. – С. 30-33.

34. Горин В. М., Шипулин В. И., Скрыбин М. М. Влияние керамзитового заполнителя на стойкость керамзитобетона при пожаре // Пути повышения огнестойкости строительных материалов и конструкций. М.: 1982.

35. Горин В. М., Токарева С. А., Кабанова М. К. Состояние и перспективы производства и применения керамзита и керамзитобетона в

стройкомплексе России // Строительные материалы. – 2005. – №8. – С. 26-27.

36. Горин В. М., Токарева С. А., Кабанова М. К. Эффективный керамзитобетон в России // Строительные материалы. – 2009. – №9. – С. 54-57.

37. Горин В. М., Токарева С. А., Кабанова М. К. Высокопрочный керамзит и керамдор для несущих конструкций и дорожного строительства // Строительные материалы. – 2010. – №1. – С. 9-11.

38. Горлова Ю. П. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе. Справочное пособие / под ред. Ю.П. Горлова. – М.: Стройиздат, 1987. – 304 с.

39. Гуревич Б. И., Тюкавкина В. В. Вяжущие материалы из шлаков цветной металлургии // Цветная металлургия. – 2007. – №4. – С. 10-16.

40. Гуревич Б. И., Тюкавкина В. В., Калинин А. М., Калинкина Е. В. Смешанные цементы на основе гранулированного медно-никелевого шлака, извести и гипса // Строительные материалы. – 2009. – №2. – С. 46-48.

41. Гуюмджян П. П., Мирзаев Г. М. Шлакожидкостекольное вяжущее как структурно-химический модификатор портландцемента // Строительные материалы. – 2006. – №9. – С. 17-19.

42. Долгополов Н. Н., Феднер Л. А., Суханов М. А. Некоторые вопросы развития технологии строительных материалов // Строительные материалы. – 1994. – №1. – С. 5-6.

43. Житкевич Р. К., Лазопуло С. С., Шейнфельд А. В., Ферджулян А. Г., Пригоженко О. В. Опыт применения высокопрочных модифицированных бетонов на объектах ЗАО «Моспромстрой» // Бетон и железобетон. – 2005. – №2. – С. 2-8.

44. Завадский В. Ф. Технология гранулированного безобжигового материала для легких бетонов и засыпок // Известия вузов. Строительство. – 1997. – №9. – С. 117-120.

45. Завадский В. Ф., Рыжков Ф. Н. Шлаковый гранулированный заполнитель для бетона // Архитектура и строительство: Материалы международной научно-технической конференции. – Томск, 2002. С. 13-14.

46. Звездов А. И., Фаликман В. Р. Применение легких высокопрочных бетонов во время строительства и архитектурных работ // Жилищное строительство. – 2008. – С. 2-7.

47. Зятькова Л. Р., Ченявский И. Я., Миллер С. Н. Исследование комплексного влияния химического состава доменных шлаков и технологических параметров процесса на качество изделий // Сб. научных трудов. Промышленные отходы и применение их в строительных материалах и изделиях. – Челябинск, 1986. – С. 4-10.
48. Иванов И. А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. – М.: Стройиздат, 1993. – 182 с.
49. Изотов В. С., Соколова Ю. А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Палеотип, 2006. – 243 с.
50. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А. Исследование влияния добавок гиперпластификатора на физико-механические свойства тяжелого бетона // Известия КазГАСУ. – 2009. – №2. – С. 242-245.
51. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А. Влияние добавок – ускорителей твердения на свойства тяжелого бетона // Строительные материалы. – 2010. – №3 – С. 35-37.
52. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А. Влияние некоторых гиперпластификаторов на основные свойства цементных композиций // Строительные материалы. – 2010. – №11. – С.14-17.
53. Ицкович С. М., Чумаков Л. Д., Баженов Ю. М. Технология заполнителей бетона. – М.: Высшая школа, 1991. – 272 с.
54. Кайбичева М. Н., Доманская И. К. Физико-химические особенности грануляции высококальциевых зол КАТЭК // Комплексное использование зол углей СССР в народном хозяйстве: Тезисы докладов. – Иркутск. – 1989. – С. 70–72.
55. Калашников В. И. Использование дисперсных гравелитовых пород в качестве основного структурообразующего компонента минерально-шлаковых вяжущих // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. – Пенза. – 2004. – С. 121-125.
56. Калашников В. И., Морозов М. Н., Нестеров В. Ю., Хвастунов В. Л. Минерально-шлаковые вяжущие повышенной гидрофобности // Строительные материалы. – 2005. – №7. – С. 64-67.
57. Калашников В. И., Борисов А. А., Поляков Л. Г. и др. Современные представления об использовании тонкомолотых цементов и ВНВ в бетонах // Строительные материалы. – 2007. – №7. – С. 12-13.

58. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Батраков В. Г. Комплексный модификатор марки МБ-1 // Бетон и железобетон. – 1997. – №5. – С. 38-41.

59. Каприелов С. С., Карпенко Н. И., Шейнфельд А. В., Кузнецов Е. Н. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона // Бетон и железобетон. – 2003. – №3. – С. 2-7.

60. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Киселева Ю. А., Пригоженко О. В. и др. Опыт возведения уникальных конструкций из модифицированных бетонов на строительстве комплекса «Федерация» // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №8. – С. 20-22.

61. Каприелов С. С., Травуш В. И., Карпенко Н. И., Шейнфельд А. В. и др. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити». Ч. 2. // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 9-13.

62. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С. Новые модифицированные бетоны. – М.: ООО «Типография «Парадиз», – 2010. – 258 с.

63. Капустин Ф. Л. и др. Гранулируемость высококальциевых зол ТЭС // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов: Материалы Международной научно-технической конференции – Белгород. – 2000. Ч.1. – С. 124–128.

64. Капустин Ф. Л. Структура и фазообразование в гранулированных высококальциевых золах ТЭС и получение вяжущих на их основе. Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2003. – 36 с.

65. Кардумян Г. С., Каприелов С. С. Новый органоминеральный модификатор серии МБ – Эмбэлит для производства высококачественных бетонов // Строительные материалы. – 2005. – №8. – С. 12-15.

66. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы. – Ростов на Дону: Феникс, 2007. – 221 с.

67. Кафаров В. В., Ахназарова С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. Учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1985. – 327 с.

68. Козлов Г. А., Котляр В. Д., Козлов А. В. Особенности получения эффективного пористого заполнителя из кремнистых пород Ростовской области // Строительные материалы. – 2009. – №6. – С. 88-89.

69. Корнев Н. А. Несущие конструкции из бетонов на пористых заполнителях // Всесоюзный семинар «Эффективные конструкции из легких бетонов». Москва, 1980. – С. 16.

70. Коротких Д. Н., Артамонова О. В., Чернышов Е. М. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов // Технологии бетонов. – 2009. – №9-10. – С. 86-88.

71. Кузнецова Т. В., Бурлов Т. А. Развитие и перспективы сульфоалюминатных цемента // Технологии бетонов. – 2008. – №11. – С. 54-55.

72. Кузнецова Т. В. Производство и применение сульфоалюминатных цемента // Строительные материалы. – 2010. – №3. – С. 29-32.

73. Лесовик В. С., Жерновой Ф. Е., Глаголев Е. С. Использование природного перлита в составе смешанных цемента // Строительные материалы. – 2009. – №6. – С. 84-86.

74. Липанов А. М., Тринеева В. В., Кодолов В. И., Яковлев Г. И., Крутиков В. А., Волкова Е. Г. Получение углеродных металлосодержащих наноструктур для модификации строительных композиций // Альтернативная энергетика и экология. – 2008. – №8. – С. 82-85.

75. Лиштван И. И., Терентьев А. А., Базин Е. Т., Головач А. А. Физико-химические основы технологии торфяного производства. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 232 с.

76. Лохова Н. А., Макарова И. А., Патраманская С. В. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема: учеб. пос. Братск: БрГТУ, 2002. – 163 с.

77. Маева И. С., Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Бурьнов А. Ф., Пустовгар А. П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // Строительные материалы. – 2009. – №6. – С. 4-5.

78. Макаренко С. В., Коновалов Н. П. Исследование физико-химических свойств зол ТЭЦ-9 и Новой Иркутской ТЭЦ для применения в золощелочных вяжущих // Строительные материалы. – 2011. – №6. – С. 60-62.

79. Макридин Н. И., Королев Е. В., Максимова И. Н., Овсюкова Ю. В. Прогностические параметры качество структуры бетона повышенной прочности // Строительные материалы. – 2010. – №3. – С. 99-101.

80. Малинина Л. А. Проблемы производства и применения тонкомолотых многокомпонентных цемента // Бетон и железобетон. – 1990. – №2. – С. 3–5.

81. Мисников О. С., Гамаюнов С. Н. Пустотелый заполнитель для легкого бетона на основе торфа и минерального сырья // Строительные материалы. – 2004. – №5. – С. 22–24.

82. Молчанов В. И., Селезнева О. Г., Жирнов Е. Н. Активация минералов при измельчении. – М.: Недра, 1988. – 208 с.

83. Мугор В. Ю., Вайтехович П. Е. Влияние домолы цемента на прочность бетонных изделий // Строительные материалы. – 2004. – №6. – С. 36–37.

84. Несветаев Г. В. Проектирование самоуплотняющихся бетонов // Технологии бетонов. – 2008. – №5. – С. 52–54.

85. Несветаев Г. В., Давидюк А. Н. Самоуплотняющиеся бетоны: прочность и проектирование состава // Строительные материалы. – 2009. – №5. – С. 54–55.

86. Несветаев Г. В. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести // Строительные материалы. – 2009. – №6. – С. 68–71.

87. Несветаев Г. В., Давидюк А. Н. Самоуплотняющиеся бетоны (SCC): усадка // Строительные материалы. – 2009. – №8. – С. 52–54.

88. Несветаев Г. В., Давидюк А. Н. Влияние некоторых гиперпластификаторов на пористость, влажностные деформации и морозостойкость цементного камня // Строительные материалы. – 2010. – №1. – С. 44–46.

89. Несветаев Г. В., Давидюк А. Н. Гиперпластификаторы «Melflux» для сухих строительных смесей и бетонов // Строительные материалы. – 2010. – №3. – С. 38–39.

90. Овчаренко Г. И. Зола углей КАТЭКа в строительных материалах. – Красноярск, 1991. – 214 с.

91. Онацкий С. П. Производство керамзита. – М.: Стройиздат, 1971. – 277 с.

92. Орендлихер Л. П., Ласман И. А. Безобжиговый пористый гравий для легких бетонов // Жилищное строительство. – 2001. – №3. – С. 24–25.

93. Панова В. Ф. Строительные материалы на основе отходов промышленных предприятий Кузбасса: учеб. пос. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 182 с.

94. Попов И. Н. и др. Основа технологического проектирования завода. – М.: Высшая школа, 2007. – 311 с.

95. Прокопец В. С., Галдина В. Д., Подзер Г. А. Асфальтобетоны на основе пористых заполнителей Западной и Восточной Сибири // Строительные материалы. – 2009. – №11. – С. 26–28.

96. Пустовгар А. П. Модифицированные бетоны для строительства высотных зданий. – М.: Стройиздат, 1989. – 156 с.

97. Рыбьев И. А., Чеховский Ю. М., Матязов С. М. О контактной зоне цементного камня с заполнителем в бетоне // Тез. Доклад всесоюзной конференции «Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении».

98. Рыжков Ф. Н. Гранулированный безобжиговый заполнитель для крупнопористого бетона // Труды НГАСУ. Т.5. – 2002. – №2. – С. 88–91.

99. Рыжков И. Н. Самоуплотняющийся бетон: производство, применение, результат // Технологии бетонов. – 2008. – №8. – С. 23.

100. Серебрянникова Э. Я., Чехов Е. С., Зак М. С., Поташов А. А. Технология получения искусственного пористого гранулированного наполнителя из отходов от сжигания твердого топлива // Цветная металлургия. – 1993. – №2. – С. 35.

101. Слюсарь А. А., Полуэктова В. А., Мухачева В. Д. Бетон на основе вяжущего низкой водопотребности и модификатора СБ-ФФ // Строительные материалы. – 2001. – №9. – С. 65–66.

102. Соловьева Л. Н., Ходыкин Е. И., Моспан А. И. Перспективы использования кремнеземсодержащего сырья для получения гранулированного заполнителя легких бетонов // Строительство и архитектура: Сб. науч. тр. БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2008. – №1. – С. 9-11.

103. Степанова В. Ф., Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Барыкин П. И. Влияние добавок микрокремнезема на коррозионную стойкость арматурной стали в бетоне // Бетон и железобетон. – 1993. – №5. – С. 28-30.

104. Столбоушкин А. Ю., Стороженко Г. И. Исследование процессов гранулирования шламистых железорудных отходов и

опудривания гранул глинистой фракцией для получения керамических материалов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1997. – №6. – С. 40–43.

105. Стольников В. В., Кинд В. В. Гидротехнические бетоны с добавкой золы уноса. – М.: Стройиздат, 1963.

106. Строкова В. В., Соловьева Л. Н., Мосьпан В. И., Гринев А. П. Конструкционные легкие бетоны на основе активных гранулированных заполнителей // Строительные материалы. – 2009. – №10. – С. 23–25.

107. Тацки Л. Н., Завадский В. Ф. Производство искусственных пористых заполнителей // Научно-технические достижения и передовой опыт в производстве строительных материалов. – 1990. – Вып. 3. – С. 2–16.

108. Тимашев В. В., Сычева И. И., Никонова Н. С. Структура самоармированного цементного камня // Избранные труды. Синтез и гидратация вяжущих материалов. – М.: Наука, 1986. – С. 390–400.

109. Товаров В. В. Влияние удельной поверхности компонентов на механическую прочность цементов с микрозаполнителем // Цемент. – 1989. – №3. – С. 15–16.

110. Трамбовецкий З. П. Самоуплотняющийся бетон // Технологии бетонов. – 2008. – №9. – С. 5–7.

111. Уфимцев В. М., Эллерн М. А., Юдина А. М. Результаты опытно-промышленной грануляции золы Березовского угля // Энергетическое строительство. – 1984. – №11. – С. 51–53.

112. Уфимцев В. М. и др. Изменение строительных свойств гранулированных зол КАТЭК и их влияние на окружающую среду при хранении в атмосферных условиях // Энергетическое строительство. – 1987. – №6. – С. 78–79.

113. Уфимцев В. М. и др. Самоармирование гранулированных высококальциевых зол при атмосферном хранении // Композиционные материалы: Материалы междунар. научно-техн. конфер. – Киев, 1998. – С. 30–31.

114. Уфимцев В. М., Пячев В. А. Производство вяжущих вчера, сегодня, завтра // Цемент и его применение. – 2001. – №1. – С. 15–17.

115. Уфимцев В. М. Зольный аглопоритовый гравий: развитие технологии производства и перспективы применения // Технологии бетонов. – 2008. – №10. – С. 66–67.

116. Уфимцев В. М., Владимирова Е. Б. Гранулирование золошлаков теплоэнергетики и перспективы их эффективного

применения в строительстве // Технология бетонов. – 2008. – №12. – С. 44-46.

117. Уфимцев В. М., Капустин Ф. Л., Вишня Д. Л. Расширение использования золошлаковых отходов теплоэнергетики в производстве строительных материалов // Материалы Всероссийского совещания по вопросам переработки и использования золошлаковых материалов тепловых электростанций. 10-11 июня 2008, г. Новосибирск, АГБЭ и СЭА. – С. 98-102.

118. Уфимцев В. М., Капустин Ф. Л., Пячев В. А. Попутные минеральные продукты теплоэнергетики в производстве вяжущих: новые возможности // Технологии бетонов. – 2009. – №2. – С. 24-26.

119. Ферронская А. В., Стамбулко В. И. Лабораторный практикум по курсу «Технология бетонных и железобетонных изделий»: учеб. пособие для вузов по спец. «Пр-во строит. изделий и конструкций». – М.: Высш. шк., 1988. – 223 с.

120. Хардер И. Заменители клинкера в цементной промышленности // Цемент. Известь. Гипс. – 2006. – №2. – С. 26,28-31.

121. Хардаев П. К., Убонов А. В. Смешанные вяжущие на основе вулканических пород Забайкалья // Строительные материалы. – 2007. – №7. – С. 80-81.

122. Холмберг К., Йенссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 528 с.

123. Худякова Л. И., Константинова К. К., Нархинова Б. Л. Вяжущие материалы на основе дунита // Строительные материалы. – 2000. – №8. – С. 33-34.

124. Худякова Л. И., Константинова К. К., Нархинова Б. Л. Малоэнергоёмкие вяжущие с использованием дунитов // Строительные материалы. – 2002. – №2. – С. 11-12.

125. Худякова Л. И., Константинова К. К., Нархинова Б. Л. Бетоны на основе малоцементных вяжущих с использованием дунитов // Строительные материалы. – 2004. – №6. – С. 40-41.

126. Чентимиров М. Г. Проблемы легкобетонного строительства // Всесоюзный семинар «Эффективные конструкции из легких бетонов». – Москва, 1980. – С. 2.

127. Чернышов Е. М., Коротких Д. Н. Высокотехнологичные высокопрочные бетоны: вопросы управления их структурой //

Современные проблемы строительного материаловедения и технологии: Материалы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве». Т.1. Кн. 2. – 2000. – С. 616-620.

128. Чернышов Е. М., Артамонова О. В., Коротких Д. Н. Синтез наноразмерных частиц для модифицирования структуры цементного камня и др. // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии: сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород. 2007. С. 302-305.

129. Чернышов Е. М., Коротких Д. Н. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами микрокремнезема (вопросы теории и приложений) // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2008. – №5. – С. 30-32.

130. Шаповалов Н. А., Слюсарь А. А., Косухин М. М., Мухачев О. В. Суперпластификатор СБ-5 как модификатор при получении ВНВ и бетонов на их основе // Бетон и железобетон. – 2001. – №6. – С. 2-4.

131. Шевцова Е. А., Лазько А. А., Минько Н. И. Исследование возможности уплотнения стекольной шихты, содержащей стеклобой, методом окатывания // Вестник БелГТАСМ. Научно-технический журнал. – 2003. – №5. – С. 62-64.

132. Юдина А. М., Слуцкая И. М., Хазанов И. А. Отечественный и зарубежный опыт получения легких безобжиговых зольных заполнителей для бетонов // ВНИИНТИЭПСМ. – Пром. строит. мат. – ЭИ.М. – 1987.

133. Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Крутиков В. А., Макарова И. С., Мачюлайтис Р., Фишер Х. Б., Бурьянов А. Ф. Газобетон на основе фторангидрита, модифицированный углеродными наноструктурами // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 70-72.

134. Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Бурьянов А. Ф., Кодолов В. И., Крутиков В. А., Фишер Х. Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строительные материалы. – 2009. – №3. – С. 99-102.

135. Яковлев Г. И., Первушин Г. Н., Корженко А., Бурьянов А. Ф., Пудов И. А., Лушников А. А. Модификация цементных бетонов

многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. – 2011. – №2. – С. 47-51.

136. Ямщикова И. В. Экономическое обоснование инвестиционных проектов. Учебное пособие. – Иркутск: Издательство Иркутского государственного технического университета, 2007. – 126 с.

137. Antonovic V. A., Pundiene I., Stonys R., Csnienė J., Kerienė J. Review of the Possible Applications of Nanotechnology in Refractory Concrete // Journal of Civil Engineering and Management. – 2010. – Vol. 16. – №4. – Pp. 595-602.

138. Bansal I. D. Equipment for determination of thermal conductivity of insulation materials // Journal of scientific and industrial research. – 1962. – V. D / 21. – No.11. – P. 406-413.

139. Bulgakova M. G., Kaprielov S. S. High-Strength Silica Fume Containing Gunit for Reinforced Concrete Structures and Protective Reconstruction Coatings // “Blended Cement in Construction”. The International Conference in Sheffield, UK 9-12 sep. 1991 / Proceedings, Elsevier Applied Science. – P.p. 492-506.

140. Consta-Gdoutos M. S., Metaxa Z. S., Shah S. P. Nanoimaging of highly carbon nanotube reinforced cement based materials // Seventh International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete / Design and Applications. Chennai. – 2008. – Pp. 125-131.

141. Consta-Gdoutos M. S., Metaxa Z. S., Shah S. P. Highly Dispersed Carbon Nanotube Reinforced Cement Based Materials // Cement and Concrete Research. – 2010. – Vol. 40. – Pp. 1052-1059.

142. Cwirzen A., Habermehl-Chirzen K., Penttala V. Surface decoration of carbon nanotubes and mechanical properties of cement / carbon nanotube composites // Res. – 2008. – Vol. 20. – Pp. 65-73.

143. Kardumian H., Kaprielov S. Shrinkage Controlling of Self Compacting HighStrength Concrete // 15 International Baustofftagung, Weimar, Deutschland, – 2003. – Band 2. – Pp. 513-523.

144. Li G. Y., Wang P. M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes // Carbon. – 2005. – №43. – Pp. 1239-1245.

145. Li G. Y., Wang P. M., Zhao X. Pressure-sensitive and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites // Cement and Concrete Research. – 2007. – Vol. 29. – Pp. 377-382.

146. Makar J. M., Beaudion J. J. Carbon nanotubes and their applications in the construction industry // Proceeding of the 1st International Symposium on Nanotechnology in Construction. – 2004. – Pp. – 331-341.

147. Rasaiah J. C. Statistical mechanic of strongly interacting systems: liquids and solids, in I. H. Moore; N. D. Spencer, Eds. // Encyclopedia of chemical physics and physical chemistry, vol. 1: fundamentals, Boston: Institute of physics. – 2001. – Pp. 379-476.

148. Rings K. H., Kolczyk H., Losch P. SCC: Grezen der Betonzusammensetzung // Beton. – №7–8. 2006. Pp. 357-362.

149. Sakulich A. R., Li V. S. Nanoscale characterization of engineered cementation composites // Cement and Concrete Research. – 2011. – Vol. 41. – Is. 2. – Pp. 169-175.

150. Shah S. P., Consta-Gdoutos M. S., Metaxa Z. S., Mondal P. Nanoscale Modification of Cementious Materials // Proceedings of the Third International Symposium on Nanotechnology in construction. Springer. – 2009. Pp. 125-130.

151. Yakovlev G., Karien J., Plechanova T., Krutikov V. Nanobewehrung von Schaumbeton // Beton- und Stahlbetonbau. – 2007. – Vol. 102. – Is. 2. – Pp. 120-124.

152. EG SCC European Guidelines for Self Compacting Concrete. Specification, Production and Use. – 2005. – 68p.

153. Пономарев А. Н., Юдович М. Е. Бетонная смесь // Патент на изобретение № 2355656 РФ / МПК C04B28 / 02.

154. Ухова Т. А., Тарасова Л. А. Способ получения высокопрочного ячеистого бетона // Патент на изобретение №2133722 РФ / МПК C04B38 / 10.

155. Котляр В. Д., Козлов А. В., Боднарюк А. Г., Щеголькова Е. Н., Лотошникова Е. О., Лапунова К. И., Иванюта Г. Н. Легкий бетон // Патент на изобретение №2289557 РФ / МПК C04B38 / 08.

156. Сватовская Л. Б., Соловьева В. Я., Степанова И. В., Коробов Н. В., Старчуков Д. М., Беляев П. В., Чертков М. В., Иванов А. Ю. Высокопрочный бетон // Патент на изобретение №2425814 РФ / МПК C04B28 / 04.

157. Стрид Ч., Йохонсон И., Свердман Ч., Неслунд М. Бетонная смесь для получения высокопрочного бетона различной плотности, способ ее получения, бетон и способ его получения // Патент на изобретение №2180326 РФ / МПК C04B38 / 10.

158. Беккер А. Т., Прытков И. Г., Стибло Г. К., Аликовский А. В. Бетонная смесь // Патент на изобретение №2357940 РФ / МПК C04B28 / 04.

159. Щепочкина Ю. А. Бетонная смесь // Патент на изобретение №2331601 РФ / МПК C04B28 / 02.

160. Щепочкина Ю. А. Бетонная смесь // Патент на изобретение №2318766 РФ / МПК C04B28 / 08.

161. Кондрашов Г. М., Гольдштейн Б. М., Леонченко В. А. Бетонная смесь // Патент на изобретение №2288198 РФ / МПК C04B28 / 02.

162. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Жигулев Н. Ф. Способ приготовления комплексного модификатора бетонной смеси и комплексный модификатор бетона // Патент на изобретение №2160723 РФ / МПК C04B28 / 02.

163. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможности использования золы террикоников в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцементов». Иркутск. – 2010.

164. ГОСТ 9757-90 «Гравий, щебень и песок, искусственные пористые. Технические условия».

165. ТУ 21-26 II 90 «Добавки для цемента. Активные минеральные добавки. Технические условия».

166. ТУ 5743-02595332-96 «Модификатор бетона марки МБ-01. Технические условия».

167. ТУ 5743-073-46854090-98 «Модификатор бетона МБ-01. Технические условия».

168. ТУ 5743-083-46854090-98 «Модификатор бетона МБ-С. Технические условия».

169. ТУ 5870-176-46854090-04 «Модификатор бетона Эмбилит. Технические условия».

170. ТУ 5745-009-57330160-07 «Добавка комплексная для бетонов «Хидетал-ГП-9». Технические условия».

171. Информация о работе промышленности пористых заполнителей в СССР за 1986-1990 гг. Самара, НИИКерамзит. – 1992.

172. Указания по испытанию золы ТЭС для производства аглопоритового гравия. – М.: ВНИИстром. – 1971. – 17 с.

173. Сб. проблемы повышения прочности пористых заполнителей. Тезисы докладов. НТО «Стройиндустрия», Куйбышев, – 1972. – с. 71.

Приложения

Приложение А

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ЗАО «Иркутскпромстрой»
/О. В. Рычков/
_____ 2012 г.



Технический акт о внедрении научно-технической разработки

Настоящий акт составлен представителями ЗАО «Иркутскпромстрой»: Технический директор Строкопытов Александр Владимирович, Главный технолог Мурзин Олег Владимирович, заведующим лабораторией Шлойдо Ольга Петровна и профессором кафедры «Производство строительных материалов и изделий» ГОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный технологический университет» Урхановой Л.А. о том, что в период с 12.05.2012 г. по 13.06.2011 г. на производственных площадях ЗАО «Иркутскпромстрой» была выпущена и испытана опытная партия высокопрочного легкого бетона на основе композиционных вяжущих в количестве 5 куб. м. Высокопрочный легкий бетон получали:

1. Расход сырьевых материалов на 1 куб. м бетона: тонкомолотое многокомпонентное вяжущее – 500 кг, песок $M_{кр}=2,5$ – 250 кг, керамзит фр. 2,5-5 мм – 510 кг, вода – 180 л, микрокремнезем – 50 кг, зола терриконов – 50 кг, суперпластификатор на основе поликарбоксилатов – 7,5 л.
2. Результаты испытаний следующие: прочность бетона при сжатии – 58,4 МПа, средняя плотность 1670 кг/ куб. м., коэффициент размягчения – 0,95.

3. Заключение.

Внедрение данной технологии производства высокопрочного легкого

бетона на предприятии ЗАО «Иркутскпромстрой» позволит снизить потребность строительной индустрии Иркутской области в эффективных материалах, использовать местные сырьевые материалы, получать экономический эффект при применении данного материала в несущих конструкциях.

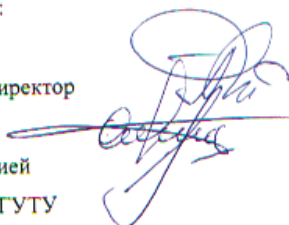
Акт подписали:

Технический директор

Гл. технолог

Зав. лабораторией

Профессор ВСГУТУ



Строкопытов А.В.

Мурзин О.В.

Шлойдо О.П.

Урханова Л.А.

Приложение Б

УТВЕРЖДАЮ:

и. о. Ректора ФГБОУ ВПО НИ ИрГТУ

д. ф-м. н. А. Д. Афанасьев

04 сентября 2013



Справка

О внедрение результатов диссертационной работы А. С. Ефременко
«Высокопрочный легкий бетон на основе тонкомолотого композиционного
вяжущего и органоминеральной добавки с применением золы террикоников»

Результаты диссертационной работы Ефременко Антона Сергеевича «Высокопрочный легкий бетон на основе тонкомолотого композиционного вяжущего и органоминеральной добавки с применением золы террикоников» внедрены в учебный процесс 2011, 2012 и 2013 учебных годов Национального исследовательского Иркутского государственного технического университета, при изучение студентами института строительства и архитектуры специальностей «Промышленное и гражданское строительство», «Проектирование зданий» дисциплины «Конструкционные и изоляционные материалы при строительстве и реконструкции при чтении лекций, проведение практических занятий и выполнение контрольных работ использована концепция подбора составов высокопрочных бетонных смесей.

Заведующий кафедрой
«Строительное производство»
НИ ИрГТУ, к. т. н. А. К. Комаров

Key -

Научное издание

Ефременко Антон Сергеевич

**Высокопрочные легкие бетоны
на основе тонкомолотых композиционных вяжущих
с использованием зол терриконигов**

Монография

Издательство «Наукоемкие технологии»

ООО «Корпорация «Интел Групп»

<http://publishing.intelgr.com>

E-mail: publishing@intelgr.com

Тел.: (812) 945-50-63

ISBN 978-5-6044036-0-0



Подписано в печать 23.12.2019.

Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем 8 печ.л. Тираж 500 экз.