



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. Ельцина

На правах рукописи

УДК 691.327.33.2 (575.2)(043.3)

Дыйканбаева Назгул Аргынбаевна

НЕАВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН ИЗ ТЕХНОГЕННОГО И ПРИРОДНОГО
СЫРЬЯ

Специальность 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук,
профессор Касымова М.Т.

Бишкек - 2018



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ.....	10
1.1 Ячеистый бетон — перспективный строительный материал.....	10
1.2 Технологические особенности получения теплоизоляционного газобетона.....	13
1.3 Сырьевые материалы для получения ячеистого бетона.....	21
1.4 Дисперсное армирование как способ улучшения эксплуатационных свойств ячеистого бетона	36
1.5 Теоретическое обоснование химических характеристик оценки качества сырьевых материалов.....	43
1.6 Физико-химические процессы протекающие при твердении неавтоклавного газобетона.....	48
Заключение по главе 1.....	50
ГЛАВА 2 СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИБОРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ.....	51
2.1 Характеристика сырьевых материалов.....	51
2.1.1 Вяжущее вещество	51
2.1.2 Наполнители.....	52
2.1.3 Газообразователь, асбестовое и стекловолокно, суперпластификатор.....	55
2.2 Методики исследований и исследовательское оборудование.....	59
2.3 Методика математического метода планирования эксперимента.....	62
Заключение по главе 2.....	65
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. ПОДБОР СОСТАВОВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА.....	66
3.1. Подбор составов газобетона, с использованием местных сырьевых материалов	66



3.2. Оптимизация составов методом экспериментально-статистического моделирования.....	74
3.3. Дисперсное армирование неавтоклавного газобетона асбестом и стекловолокном.....	82
Заключение по главе 3.....	88
ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.....	90
4.1. Влияние технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона.....	90
4.1.1 Температурный фактор в производстве газобетона.....	90
4.1.2 Влияние текучести бетонной смеси на процесс порообразования и свойства газобетона.....	99
4.1.3 Влияние продолжительности ТВО на физико-механические свойства неавтоклавного газобетона.....	103
4.2 Исследование структуры и фазового состава неавтоклавного газобетона.....	110
4.3 Технические и эксплуатационные свойства неавтоклавного газобетона (теплопроводность, морозостойкость и водопоглощение).....	118
4.4 Внедрение и технико-экономическая эффективность применения неавтоклавного газобетона	121
Заключение по главе 4.....	126
ВЫВОДЫ.....	129
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	152



ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ:

СНГ-содружество независимых государств

ВНИИ- Всесоюзный научно- исследовательский институт

АО - Акционерное общество

ПАВ- поверхностно активное вещество

КМА- Курской магнитной аномалии

ТЭЦ-Топливо-энергетический центр

ТЭС- Топливо-энергетическая станция

ЗШС- золо-шлаковая смесь

СГС -сухие газобетонные смеси

СМВ –смешанное малоклинкерное вяжущее

СБВ – смешанное бесклинкерное вяжущее

ГЦПВ- гипсоцементно-пуццолановое вяжущее

КВП -кварцитопесчаник

ВНВ- вяжущие низкой водопотребности

ПП- полипропиленовые

ОсОО-Общество с ограниченной ответственностью

ТВО-тепло-влажностная обработка

ЭСМ- экспериментально-статистическое моделирование



ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Производство ячеистых бетонов основано на множестве технологических схем их производства из природного и техногенного сырья, а также оборудования и добавок применяемых для повышения их качества.

На сегодняшний день одним из основных эффективных теплоизоляционных материалов являются газобетоны. Теория и практика производства газобетонов показывает, что отличительные признаки таких материалов формируются в зависимости от способа их производства.

Наиболее эффективными с точки зрения экономии считаются неавтоклавные газобетоны, которые могут быть сконструированы как из природного так и техногенного сырья. Преимущества неавтоклавных газобетонов: низкие значения теплопроводности, плотности, водопоглощения, повышенная стойкость к высоким температурам, хорошая обрабатываемость, высокая долговечность, экологичность.

Накопленный экспериментальный опыт показывает превосходство прочностных характеристик автоклавных газобетонов. Учитывая экономичность безавтоклавной технологии необходимо обеспечить требуемые показатели свойств газобетонов.

Успешное решение этой задачи невозможно без теоретического обобщения и дальнейшего углубления знаний о сложных процессах, обуславливающих формирование структуры и физико-механических свойств газобетонов, о их взаимосвязи с состоянием исходных материалов, составами и технологическим процессом получения изделий.

В мире существуют множество технологий производства газобетона. Несмотря на это в нашей республике этот материал не так широко применяется, как в соседних государствах. Производство и применение ячеистых бетонов хорошо развито только в Чуйской области. Развитие производства неавтоклавного газобетона во всех регионах нашей страны и



совершенствование его технологии производства является актуальной задачей отрасли строительства Кыргызстана.

Цель и задачи исследования. Цель исследований заключается в обосновании и разработке составов газобетонов и фиброгазобетонов из природного и техногенного сырья Кыргызстана, при направленном регулировании структуры и физико-механических свойств.

В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ имеющихся разработок в области исследования ячеистых бетонов с использованием природного и техногенного сырья, добавок различного назначения.
2. Разработаны составы газобетона по экспериментально-статистическим моделям.
3. Изучено влияние дисперсного армирования волокнами асбеста и стекловолокна на свойства неавтоклавного фиброгазобетона.
4. Исследована совокупность технологических факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на процессы структурообразования газобетонов.
5. Изучена микроструктура и фазовый состав газобетона. Рассчитаны коэффициенты активности ($K_{\text{акт}}$), также выполнен расчет содержания силикатной и железистой фаз, для сырьевых материалов газобетона.
6. Решены прикладные задачи по совершенствованию и интенсификации производства газобетонов, технических и технологических способов их получения с технико-экономической эффективностью.

Научная новизна полученных результатов диссертационной работы заключается в следующем:

- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность использования известняка-ракушечника, золы БТЭЦ для получения неавтоклавного газобетона;
- разработаны и исследованы новые составы газобетона по экспериментально-статистическим моделям, защищенные патентами КР;



- установлено взаимодействие основных структурообразующих элементов в различном сочетании дисперсного армирования и их взаимосвязь со свойствами фиброгазобетона;
- обосновано совокупность технологических факторов оказывающих наиболее существенное влияние на процесс структурообразования и свойства газобетона;
- теоретически обоснованы составы газобетона с учетом критериев оценки сырья по коэффициентам основности ($K_{осн}$) и коэффициенту активности ($K_{акт}$) (содержание силикатной, железистой и активных фаз).

Практическая значимость полученных результатов. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны оптимальные составы неавтоклавного газобетона на основе золы-уноса БТЭЦ и известняка-ракушечника, что позволило расширить сырьевую базу для производства газобетонов.

Выявлено, что при дисперсном армировании неавтоклавного газобетона фибрами асбеста и стекловолокна эксплуатационные свойства существенно повышаются.

Установлено, что с использованием золы-уноса БТЭЦ и отходов камнепиления из известняка-ракушечника, решается экологическая проблема - защита окружающей среды от загрязнения отходами промышленности.

Экономическая значимость полученных результатов. Расчеты показали целесообразность применения известняка-ракушечника и золы Бишкекской ТЭЦ в качестве наполнителей в производстве неавтоклавного газобетона. Экономический эффект на получение 10 тыс. м³ неавтоклавного газобетона с золой БТЭЦ и известняком-ракушечником составил до 5050 тыс. сом. Для газобетона на основе известняка-ракушечника экономический эффект на производство 10 тыс. м³ составил до 1250 тыс. сом.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- Научно-практическое обоснование производства газобетона на основе золы Бишкекской ТЭЦ и известняка-ракушечника.



-Разработанные составы газобетона методом экспериментальной статистического моделирования.

-Результаты исследований по дисперсному армированию неавтоклавного газобетона волокнами асбеста и стекловолокна.

-Результаты исследований совокупности технологических факторов оказывающих наиболее существенное влияние на процесс структурообразования и свойства газобетона. Результаты расчета коэффициента активности ($K_{акт}$), наличия силикатной и железистой фаз.

-Практическое внедрение в производственных условиях ОсОО «Зенит - М», с технико-экономическим обоснованием результатов исследования.

Личный вклад соискателя состоит в разработке оптимального состава неавтоклавного газобетона на основе золы-уноса БТЭЦ и известняка-ракушечника. Автор является организатором и исполнителем работ связанных с обработкой и выполнением экспериментальных исследований.

Обработка полученных данных, выявление закономерностей, подготовка документации для практической реализации полученных результатов, разработка основных положений, выводов и рекомендаций по научным исследованиям выполнены непосредственно автором.

Апробации результатов диссертации

Основные результаты исследований, составляющие содержание диссертации, докладывались на конференциях и семинарах: международных научно-практических конференциях ФАДИС КРСУ (г.Бишкек, 2012-2017г.г.); международной научно-практической конференции «Н. Исанов- видный государственный деятель КР» (г.Бишкек, КГУСТА им. Н. Исанова, 2013); международной научно-практической конференции «Строительные технологии, материалы и качество в строительстве» (г. Ростов-на-Дону, РГСУ, 2013); международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова (2014-2015 г.г.); международных научно-практических конференциях «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и



кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения, посвященные памяти профессора А.П.Сапожникова» (Комсомольск-на-Амуре, ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2014-2015 г.г.). Представлены на конкурсах: инновационных проектов «Ярмарка идей», организованной Кыргыз патентом (г. Бишкек, 2015); проект «Чилистен» на телеканале НТС (г. Бишкек, 2016); Патент №1893 награжден грамотой Кыргыз патента как лучшее изобретение (г. Бишкек, 2018).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях

По результатам исследований опубликовано 13 работ, в том числе 10 научных статей, получено 3 патента на изобретение КР.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 171 наименований и 3 приложений. Диссертация изложена на 172 страницах и включает 38 рисунка и 29 таблиц.



ГЛАВА 1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕЙСТЫХ БЕТОНОВ

1.1. Ячеистый бетон - перспективный строительный материал

Развитие малоэтажного и индивидуального строительства, как одного из основных направлений в работе по увеличению жилого фонда, требует разработки и организации производства эффективных строительных материалов, сочетающих в себе высокие технические и экономические показатели.

При использовании многих традиционных материалов и однородных конструкций из них, выполнить требования СНиП И-3-79** «Строительная теплотехника» к приведенному сопротивлению теплопередачи ограждающих конструкций, увеличенные по сравнению с ранее действовавшими нормативами в 3,5 раза сложно, так как толщина стен по теплотехническому расчету получается неразумно большой [1].

Применение однослойных ограждающих конструкций, выполненных из кирпича, дерева и бетонных блоков, не обеспечивает экономичность строительства, приводит к значительному утолщению стен и увеличению веса зданий [2].

С другой стороны, переход на многослойные конструкции с использованием пенополистирола, минеральной ваты и других теплоизоляционных материалов не всегда оправдан из-за того, что планируемый срок службы зданий, возводимых с их применением, значительно превышает фактический срок нормальной эксплуатации этих материалов. Расширение использования таких конструкций сдерживается также их недостаточной огнестойкостью, вредным экологическим воздействием на человека и рядом других факторов.



В сложившейся ситуации оптимальным решением проблемы повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий и снижения стоимости их возведения может стать использование для их производства теплоизоляционного ячеистого бетона [3 - 7].

Этот материал выгодно отличается своими характеристиками от многих традиционных теплоизоляционных материалов, широко представленных на строительном рынке каменной и стеклянной ватой, полистиролом и полистиролбетоном, пеноизолом, вспененным стеклом. Изделия из него хорошо адаптированы к сложным климатическим и экономическим условиям и имеют ряд важных достоинств: низкие значения теплопроводности, плотности, водопоглощения, повышенную стойкость к высоким температурам, хорошую обрабатываемость, высокую долговечность, экологичность. Ниже приведено сравнение некоторых показателей стен, изготовленных из разных материалов со стенами из пенобетона [8].

Таблица 1.1-Характеристика стен из разных материалов

№ п/п	Наименование материала	Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/м·°С	Прочность, МПа	Толщина стены, см
1	Керамзитобетон	1150...1200	0,42...0,5	5,5	60...80
2	Кирпич глиняный полнотелый	1700	0,7...0,81	15,0	120...130
3	Кирпич глиняный пустотелый	1400	0,58...0,64	10,0	80...90
4	Кирпич силикатный	1800	0,76...0,87	20,0	130-140
5	Газобетон	700 600	0,28...0,3 0,22...0,26	3,9 3,0	58 50
6	Пенобетон	700 600 500 400 300	0,28...0,3 0,22...0,26 0,15...0,19 0,14...0,15 0,11...0,13	3,5 2,7 1,9 1,1 0,7	54 42 35 30 26

Следует отметить, что из всех типов стен, ячеистобетонные являются самыми энергосберегающими; их равновесная влажность в 4 раза меньше,



чем у деревянных стен, радиоактивность в 5 раз меньше, чем у кирпичных стен, паропроницаемость в 3 раза выше, чем у дерева, в пять - чем у кирпича, в 10 - чем у железобетонных трехслойных панелей. Результаты обследования домов с конструкциями из ячеистых бетонов, прослуживших до 60 лет, показали полную сохранность этого материала и пригодность к дальнейшей эксплуатации. Это свидетельствует о том, что теплоизоляционный газобетон является эффективным строительным материалом, а развитие технологии его производства и применения в строительстве в виде стеновых изделий представляет собой большой практический интерес [4].

Дома из ячеистого бетона, от индивидуального жилья коттеджного типа [9] до многоэтажного, строятся во всех странах СНГ и Балтии. Исследования по эффективности применения ячеистого бетона представлены в работах [10-14].

Впервые технология производства термоблоков плотностью 350-400 кг/м³ и прочностью 12-25 кгс/см² с переносом отформованного массива захватом была отработана и освоена на Обуховском заводе в 1995-1996 годах [15].

Термоблоки использованы при строительстве первых «теплых» 10 этажных жилых домов в г. Киеве. В последующий период их производство освоили Житомирский и Купянский заводы (перенос массива захватом), а также Белгород-Днестровский и Черниговский заводы (перенос массива на поддоне). А полученные на этих предприятиях технологические результаты позволили ставить задачу по снижению плотности термоблоков до 300 кг/м³ а стеновых блоков до 500 кг/м³. Актуальность этой задачи связана со снижением расхода сырьевых материалов и энергии на производство изделий, с повышением их теплотехнических показателей и, соответственно, снижении затрат энергии на отопление зданий формовки-резки массивов.



Поэтому целесообразно применение широкой номенклатуры изделий ячеистого бетона для строительства жилых домов различной этажности [16-20].

С учетом изменения топливно-энергетической ситуации возросла актуальность производства и применения стеновых блоков плотностью 500 кг/м^3 и термоблоков плотностью $250\text{-}300 \text{ кг/м}^3$ [15, 16, 20, 21]. Они позволяют решать вопросы по устройству одно- и 2-3-слойных наружных стен, отвечающих нормативным требованиям по теплозащите, с их применением возможно решение задачи по созданию «термодома».

Учитывая климат Кыргызстана и необходимость дальнейшего развития промышленности строительных материалов, востребованных в ближайшем будущем для успешной реализации Национальной Программы жилищного строительства в республике, а также увеличения экспорта строительных материалов, данная отрасль республики считается наиболее привлекательной для инвестирования.

1.2. Технологические особенности получения теплоизоляционного газобетона

Ячеистый бетон — это легкий искусственный материал, полученный в результате твердения поризованной смеси, состоящей из гидравлических вяжущих веществ, тонкодисперсного кремнеземистого компонента, воды и газообразующей добавки.

В ячеистых бетонах содержится более 60% пустот; например, бетон плотностью 500 кг/м^3 содержит 75% пустот. Образование пористой (ячеистой) структуры происходит либо за счет специальных газообразующих добавок, либо за счет введения в смесь специально приготовленной пены. По этой классификации ячеистые бетоны разделяются на газобетоны и пенобетоны, при этом физико-механические и эксплуатационные показатели бетонов при



прочих равных условиях практически одинаковы. По способу гидротермальной обработки ячеистые бетоны делятся на две основные группы: бетоны автоклавного и неавтоклавного твердения (воздушное твердение или пропаривание). Качество таких бетонов значительно отличается друг от друга, потому что автоклавная обработка существенно изменяет их минералогический состав. Производство автоклавного ячеистого бетона стало развиваться примерно более 100 лет назад. В 1880 г. был выдан патент Михаэлису на запаривание в автоклаве известково-песчаной смеси в течение 9-10 часов под давлением около 0,8 МПа. Изобретение Михаэлиса имело огромное значение для развития производства автоклавных материалов, в том числе и ячеистых бетонов.

В 1889 г. патент получил Гофман (Прага), по методике которого ячеистый бетон производился на основе углекислого газа (CO_2), образующегося в результате реакции между соляной кислотой (HCl) и бикарбонатом натрия (NaHCO_3):



На основе этого патента изготовливались перегородочные плиты из газогипса. Следующий патент на получение ячеистого бетона был выдан в 1917 г. в Голландии. По этому патенту в ячеистом бетоне в качестве газообразователя применялась органическая добавка (дрожжи). Однако из-за вредного воздействия органических добавок на бетон изобретение не получило распространения.

Другие патенты для газообразования и вспучивания ячеистобетонной смеси рекомендуют использовать перекись водорода (H_2O_2) с гипохлоритом кальция (CaOCl_2). Вспучивание смеси осуществляется за счет выделения кислорода в ходе реакции:

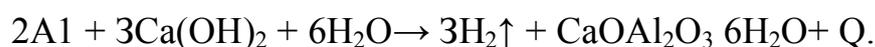




Ячеистый бетон можно получать в результате реакции разложения карбида кальция (CaC_2) в присутствии воды с выделением газа ацетилена (C_2H_2):



В 1919 г. Грош (Берлин) впервые предложил применение металлической пудры для газообразования при производстве ячеистого бетона. Металлическая пудра может быть цинковой, магниевой, алюминиевой, последняя получила очень широкое распространение. Известно, что между алюминием и гидратом окиси кальция происходит химическая реакция:



В ходе реакции в большом количестве выделяются газ (водород), тепло и происходит связывание воды, что положительно влияет (ускоряет) на загустевание и схватывание ячеистобетонной смеси. При использовании алюминиевой пудры образуются газовые поры (ячейки) с равномерной структурой. Это имеет большое значение для увеличения качества изделий и повышения их долговечности при эксплуатации зданий.

Ячеистобетонный раствор (песок, вяжущее и вода) равномерно смешивают с алюминиевой пудрой, затем приготовленный раствор, еще не содержащий газ, заливается в формы, и лишь после этого в нем начинается химическая реакция с выделением водорода. Образующиеся при этом пузырьки газа вспучивают раствор и последний распределяется вокруг пузырьков, образуя равномерную ячеистую структуру материала.

Следует отметить, что для перемешивания ячеистобетонной смеси с алюминиевой пудрой до требуемой гомогенности в отличие от пенобетона, где гомогенность возможна только при очень жидких смесях (большое количество воды затворения), можно использовать смеси с меньшим количеством воды затворения. При этом плотность и прочность ячеистобетонного каркаса между газовыми пузырьками увеличивается, что и повышает прочность и долговечность изделий.



Ячеистый бетон, широко известный в настоящее время во всем мире, запатентован в Швеции в 1923 г. изобретателем Эриксоном, которого считают основоположником современного ячеистого бетона, применяемого в строительстве. Через 15 лет появились первые армированные изделия, которые вначале применялись в странах Скандинавии. Однако далеко не все патенты были реализованы в практике производства ячеистобетонных изделий. Например, патент на образование газа для создания ячеистой структуры бетона (карбид кальция и гидрат алюминия, карбонат алюминия и карбонат натрия, кислоты и смесь кислотных солей и карбонатов, цинк и магний, метод электролиза, загустевание и твердение бетона при пониженном давлении воздуха, перемешивание смесей и формование под избыточным давлением с загустеванием, схватыванием и твердением при нормальном давлении) не нашел практического применения. За редким исключением все предложенные способы предполагают применение для газообразования неорганических веществ. В начале развития производства ячеистых бетонов смесь после приготовления заливалась в индивидуальные формы, то есть применялась так называемая «формовая технология», которая используется при изготовлении армированных изделий в странах СНГ и по сей день [22].

В 1989-х годах технология ячеистобетонных изделий имел ряд особенностей, существенно отличающих ее от технологии железобетонных изделий. К этим особенностям следует отнести, прежде всего:

- помол сырьевых материалов в специальном цехе с использованием дробильного и помольного оборудования, обеспечивающего получение сырьевой смеси заданных параметров;
- применение в качестве основного сырьевого компонента - извести, сырьевого материала с нестабильными свойствами, что предопределяет необходимость гомогенизации смеси в специальном агрегате - гомогенизаторе, где



обеспечивается не только усреднение активности смеси, но ее тонкая помола, температуры, содержания в смеси добавок и других показателей;

- формование ячеистобетонных изделий из пластичных смесей, содержащих 40-60% воды затворения;
- быстрое схватывание ячеистобетонной смеси и возможность ее разрезки туго натянутыми струнами, что значительно интенсифицирует формование изделий;
- твердение бетона происходит в результате синтеза гидратных соединений в условиях автоклавной обработки при температуре 170-180°C [23].

Особенностью современной автоклавной газобетонной технологии является необходимость тонкого помола составляющих компонентов и использование для твердения изделий специальных дорогостоящих автоклавов. Промышленностью были разработаны и освоены вибрационная, ударная литьевая технологии изготовления газобетона с мощностью заводов 40, 60 и 50 тыс. м³ в год [24].

ВНИИстромом и рядом других организаций и предприятий был предложен и внедрен вибрационный способ смешения компонентов, и формования изделий из ячеистобетонной смеси по вибрационной технологии [25].

Ячеистая структура бетона (для литьевой и ударной технологий) определяется объемом образующегося газа и реологическими свойствами раствора. При литьевой технологии процесс вспучивания смеси определяется только качеством и количеством исходных компонентов, подбор технологических параметров является пассивным управлением процессом формования. Использование динамических воздействий позволяет регулировать этот процесс с учетом изменения реологических свойств смеси. Известно, что при вязкости ячеистобетонной смеси ниже оптимальной, нарушается баланс газовой фазы, когда газообразователь не полностью используется, и происходит недостаточное вспучивание смеси, а иногда расслоение. Если вязкость выше оптимальной, процесс вспучивания изделий



замедляется, и ячеистобетонный массив не достигает заданной высоты. этом резко увеличивается давление в газовых ячейках, вызывающее в конечном итоге появление трещин в межпоровом материале и расслоение бетона. Отклонения показателя вязкости смеси от оптимального в обоих случаях приводят к нарушению микроструктуры и низкому качеству бетона. Поэтому для нормального процесса вспучивания смеси необходимо обеспечить оптимальную вязкость, например, понизить ее за счет тиксотропного разжижения смеси. Явление тиксотропии заключается в разрушении слабых коагуляционных структур динамическими воздействиями и в переводе заземленной и частично адсорбированной воды в свободное состояние. Кроме того, динамические воздействия в начале процесса гидратации разрушают коагуляционную структуру, разжижают смесь, а позднее обеспечивают уплотнение межпорового вещества, содействуют преодолению энергетического барьера между частицами и способствуют образованию кристаллизационной структуры (микроструктуры). Поэтому необходимо выбрать оптимальный способ динамических воздействий на смесь, в том числе по интенсивности, частоте и продолжительности. Исследования причин разрушения пористой структуры при формовании и динамических воздействиях на смесь во время ее вспучивания, в том числе влияния частоты, амплитуды и продолжительности динамических воздействий, показали преимущества формования с применением низкочастотных ударных воздействий. Исследования закономерностей ударного способа формования, определение структурно-механических и акустических параметров смеси, подтвердили правильность выбора нового способа формования. Технология обеспечивает оптимальную равномерную структуру бетона без расслоений и трещин [26,20,].

В АО “Бетфор”, в отличие от вибрационной или ударной технологии воздействия на газобетонную смесь на стадии вспучивания массива, применяется литьевой способ производства [27].

На предприятиях по производству ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения, например в Республике Беларусь, физико-



механические свойства бетона не уступают зарубежным аналогам, морозостойкость превосходит их. Однако внешний вид изделий иногда хуже зарубежных аналогов. В странах СНГ, как правило, используется ударная технология производства ячеистого бетона, в которой применяются смеси с низким количеством воды затворения. В 80-е годы прошлого столетия выполнен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию ударной технологии и оборудования формования ячеисто-бетонных изделий [28].

При получении пенобетона реологические и поверхностные свойства суспензии регулируются добавками пенообразующих веществ, ПАВ с разными функциональными группами, и получение вспененного массива не вызывает особых затруднений. В технологии газобетонных изделий стадия формования является весьма ответственной технологической операцией, предопределяющей формирование пористой структуры материала. В процессе вспучивания и структурообразования газобетонных смесей необходимо соблюдение принципа соответствия скоростей газовыделения и увеличения реологических свойств смеси [29].

Технология приготовления неавтоклавного ячеистого бетона по литьевой технологии имеет ряд недостатков: технически несовершенна; большой расход цемента; изделия получаются с низкой прочностью при сжатии; высокая усадка и ползучесть; большая отпускная влажность до 20 - 30 % по массе; низкая трещиностойкость по сравнению со свойствами бетона автоклавного твердения. Это послужило основанием для практического уменьшения производства неавтоклавного газобетона в промышленном масштабе и перехода к приготовлению автоклавного ячеистого бетона [30].

В процессе автоклавной обработки гидросиликаты синтезируются в кристаллическое состояние, что обеспечивает более высокие прочностные характеристики, а главное уменьшаются объемные деформации



при эксплуатации. Ячеистый бетон автоклавного твердения имеет повышенную трещиностойкость и морозостойкость, меньшую усадку, которая составляет 0,5 — 0,7 мм/м, а у неавтоклавных - 2-3 мм/м [31]. Но при автоклавной обработке в структуре бетона возникают микродефекты в несколько раз больше, чем при пропаривании, что приводит к снижению долговечности изделий и конструкций, а также технология приготовления автоклавного газобетона более сложна и дорогостоящая, по сравнению с неавтоклавным газобетоном [30].

По данным А.Д. Дикун и Т.В. Златинской [32], при обследовании автоклавного газобетона средней плотностью 1000 кг/м^3 в ограждающих конструкциях зданий на Крайнем Севере после 17 лет эксплуатации обнаружены случаи разуплотнения структуры из-за процесса карбонизации, попеременного замораживания и оттаивания, усадок и набухания. Аналогичные изменения в ячеистом бетоне после 10 лет эксплуатации зданий отмечает также Г.П. Сахаров [33].

В последнее время была разработана технология газобетонных изделий, исключая прорывы газом межпоровых перегородок, выдерживание перед автоклавной обработкой, различие коэффициентов теплового расширения [34].

Формовочная масса подается в неподогретую форму и подвергается физическому воздействию по определенному режиму. Технология позволяет исключить подогрев формовочной смеси, форм и формировать требуемую пористую структуру смеси на стадии ее вязкопластичного состояния под воздействием высоких давления и температуры паровоздушной смеси, что обеспечивает получение газобетона с прочностью на сжатие 5-6 МПа при средней плотности 1000 кг/м^3 .

Авторами [35] предлагается технология приготовления формовочной массы с температурой до 15 - 20 °С, которая подается в неподогретую форму и



без выдержки подвергается физическому воздействию по определенному режиму. В результате формовочная масса хорошо вспучивается, материал приобретает требуемую структурную прочность. При этом создаются наиболее благоприятные условия для формирования оптимальной пористой структуры ячеистого бетона, что обеспечивает ему сравнительно высокую прочность и низкую величину средней плотности. В ряде публикаций отмечается, что при оптимизации составов формовочных смесей на основе зернистых заполнителей и связующего определяющим критерием является величина удельной поверхности раздела этих фаз (S_p) [36, 37]. Возрастание S_p ведет к увеличению дисперсности заполнителя, так и его объемной доли в наполненной системе.

Б.П. Даниловым и А.А. Богдановым [38] установлено, что уплотнение ячеистой массы благоприятно влияет на снижение ползучести газобетона, а следовательно, и на повышение долговечности ячеистых конструкций. С увеличением размеров образцов удельные относительные деформации ползучести увеличиваются на 60 - 70 %. Относительная влажностная усадка уплотненного газобетона в 1,5 - 1,8 раза меньше, чем у неуплотненного, и в зависимости от кремнеземистого компонента колеблется от 0,3 до 0,5 мм/м. Общей задачей теории и практики производства является определение наиболее эффективных путей развития технологии ячеистых бетонов с разработкой новых видов и способов порообразования.

Основы теории и технологии производства ячеистых бетонов были разработаны В.А. Китайцевым (1970 г.), К.Э. Горяиновым (1972 - 82 гг.) и в дальнейшем развиты Ю.М. Баженовым, Ю.П. Горловым, А.П. Меркиным, Е.В. Гладких и другими. На современном этапе развития технологии ячеистых бетонов заслуживают внимания работы Х.С. Воробьева, А.А. Ахундова, И.Б. Удачкина, У.Х. Магдеева, Ю.П. Трифонова, В.Г. Сухова, Е.В. Силаенкова, Г.Я. Ахманицкого и других, а также исследования,



проводимые в ОАО ВНИИСтроме им. П.П. Будникова. Вопросам производства ячеистых бетонов, в том числе бетонов пониженной плотности посвящены работы [39, 22, 40].

1.3. Сырьевые материалы для получения ячеистого бетона

Получить ячеистый бетон, удовлетворяющий требованиям ГОСТ по всем прочностным и теплоизоляционным показателям можно при правильном проектировании состава бетона и приготовлении бетонной смеси. При определении состава ячеистого бетона необходимо обеспечить его заданную плотность и наибольшую прочность при минимальных расходах порообразователя и вяжущего вещества. При этом структура ячеистого бетона должна характеризоваться равномерно распределенными мелкими порами правильной изометрической формы [41].

Плотность ячеистого бетона и его пористость зависят главным образом от расхода порообразователя и степени использования его порообразующей способности. Некоторое влияние на них оказывают температура смеси и количество воды, принятое для затворения смеси [42-46].

Для получения ячеистого бетона применяют следующие материалы. Вяжущие: портландцемент, известь негашеная кальциевая, шлак доменный гранулированный, зола от сжигания горючего сланца и некоторых видов бурых углей.

Кремнеземистые компоненты: кварцевый песок или содержащие кремнезем отходы добывающей и обогатительной промышленности, зола от сжигания бурых и каменных углей.

Газообразователи: алюминиевая пудра или паста, которые применяются с добавкой ПАВ; пластифицирующие добавки, регулирующие процессы газообразования и загустения.

Расширение сырьевой базы промышленности строительных материалов за счет вовлечения в производство вторичных продуктов и отходов



промышленности имеет важное народнохозяйственное значение. В структуре себестоимости ячеистобетонных изделий на долю сырьевых материалов приходится 30-40% затрат [47]. Это обуславливает высокую эффективность использования в качестве сырья различных попутных продуктов и отходов промышленности.

Замена цемента другими вяжущими позволяет снизить стоимость сырьевых материалов на 8-10 % при использовании смешанного известково-цементного вяжущего, на 25%- известково-песчаного, на 30-50% -известково-цементно-шлакового, известково-золяного или известково-шлакового и до 80% при использовании сланцезоляного.

Применение сырьевых композиций на основе природных и техногенных стекол, гранулированных шлаков кислого и основного состава в комбинации с щелочным затворителем позволяет полностью исключить из производства цемент, повысить качество ячеистого бетона, прежде всего по показателям прочности, карбонизационной стойкости и морозостойкости, снизить себестоимость и получить ячеистые бетоны с требуемыми свойствами (кислотостойкие, жаростойкие) [48].

Исследования по применению золы Фрунзенской ТЭЦ в производстве ячеистых бетонов были проведены автором [49]. Высокодисперсные отходы обогащения железистых кварцитов в виде водной суспензии (пульпы) имеют дисперсность 1200-2500 см²/г и содержат 65-75% кремнезема, что предопределяет целесообразность применения их в качестве кремнеземистого компонента в производстве автоклавных бетонов плотной и ячеистой структуры. На основе «хвостов» обогащения железных руд КМА в промышленных условиях Старооскольского завода СМС выпущена опытная партия ячеистобетонных изделий средней плотностью 300-800 кг/м³, отвечающих по своим физико-техническим показателям нормативным требованиям. Применение в качестве кремнеземистого компонента отходов обогащения железных руд позволяет сократить энергозатраты в производстве ячеистых бетонов на 50-60 кВт ч/т [50].



Известен состав [51] ячеистого бетона с теплопроводностью $0,0832 \text{ Вт/мК}$ для изготовления звуко- и теплоизоляционных материалов в качестве песка содержит пеносиликатный песок с насыпной плотностью 100 кг/м^3 , полученный из мартеновского шлака состава, мас. %: SiO_2 - 20-25; CaO - 25-40; Al_2O_3 - 2-8; MgO - 7-15; MnO - 5-10; FeO - 12-18; Fe_2O_3 - 3-5; P_2O_5 - 0,3-0,7; Na_2O - 0,3-0,5; K_2O - 0,15-0,5; TiO_2 - 0,2-0,5; SO_3 - 0,05-0,09; С до 3 плавлением его в восстановительной среде, с последующим охлаждением силикатной части расплава термоударом, при следующем соотношении компонентов, мас. %: минеральное вяжущее 40-45, указанный песок 14-20, кальцинированная сода 0,75-1,0, алюминиевая пудра 0,07-0,1, вода остальное.

Волженский А.В. [52] показал возможность изготовления неавтоклавного ячеистого бетона на основе золощелочного вяжущего, составляющими которого являются жидкое стекло и высококальциевая зола Братской ТЭЦ – 7 при их соотношении $1 : 0,6 \dots 1 : 0,8$, средняя плотность получаемого газобетона составляет $490 - 510 \text{ кг/м}^3$.

Состав неавтоклавного ячеистого бетона на основе дисперсных зол электростанций был разработан в работе [53]. Технический результат - интенсификация твердения и повышение физико-механических характеристик изделий из неавтоклавного ячеистого бетона на основе дисперсных зол электростанций. Способ изготовления изделий из неавтоклавного ячеистого газобетона включает приготовление поризованной смеси путем интенсивного перемешивания компонентов с введением воздухововлекающей гидрофильной комплексной добавки, состоящей из поверхностно-активного вещества групп алкилсульфатов, алкилсульфонатов или алкилфенолов и суперпластификатора в виде продукта конденсации нафталинсульфоуксусной кислоты и формальдегида, взятых в соотношении от 1:1 до 1:3 мас.ч., электроразогрев смеси переменным током до $90-100^\circ\text{C}$ со скоростью $15-25^\circ\text{C/мин}$ с немедленной укладкой вспученной смеси в форму при вибрировании в течение 3-5 с и последующий изотермический прогрев при $90-100^\circ\text{C}$ в течение 3-4 ч.



В работе [54] применение дополнительно активизирующей добавки содосульфатный отход производства глинозема привело к ускорению твердения смеси, повышению прочности и получению неавтоклавного газобетона заданной плотности, в том числе и теплоизоляционного назначения. Смесь для получения неавтоклавного газобетона, содержащая цемент, кремнеземистый компонент в виде золы ТЭС или мелкого песка, строительный гипс, газообразователь, пластификатор и воду, содержит в качестве газообразователя - алюминиевую пудру или пасту и дополнительно активизирующую добавку - содосульфатный отход производства глинозема или другой продукт, в составе которого преобладает сульфат натрия.

Способ получения неавтоклавного зольного ячеистого бетона приведен в работе [55]. Способ включает приготовление пластично-вязкой сырьевой смеси, насыщение ее газовой средой, в процессе вспучивания или вспенивания, твердение при пропаривании, причем зольный наполнитель, входящий в состав сырьевой смеси, предварительно активируют путем его перемешивания с водой затворения в бетоносмесителе с частотой вращения рабочего органа 500 - 700 об/мин в течение 1 - 5 мин. Оптимальное время активации определяют по максимальной высоте осадка в отстое активированной зольной суспензии или максимальному водородному показателю pH той же суспензии. В сырьевую смесь вводят ускоритель твердения - хлористый кальций в количестве 2 - 3% от массы цемента. В результате получают прочный ячеистый бетон без помола золы и автоклавирования изделий.

Известно применение в качестве наполнителя для ячеистого бетона отходов обогащения железистых кварцитов. Однако бетон, получаемый при полной замене песка отходами обогащения, отличается повышенной средней плотностью по сравнению с бетоном, полученным на кварцевом песке. Образцы автоклавного газобетона, изготовленные с 50 % добавкой отходов обогащения от массы наполнителя, характеризовались средней плотностью 626 кг/м³ и прочностью при сжатии 4,15 МПа [56].



В работе [57] был получен состав газобетона неавтоклавного твердения, улучшенными показателями эксплуатационных свойств. Сырьевая смесь для изготовления газобетона неавтоклавного твердения включает, мас. %: портландцемент 25-34, гашеную известь 3-4, алюминиевую пудру 0,02-0,1, воду 37-42, вскрышные отходы угледобычи, измельченные до удельной поверхности 3000-3500 см²/г, 22-30, асбестовую пыль с размерами волокон 0,05-2,0 мм 10-12, полуводный гипс 0,4-0,5, в качестве пластификатора - С-3 0,13-1,2, для ускорения процессов гидратации и твердения цемента хлорид кальция 0,12-0,54. Данный состав смеси позволил уменьшить расход цементной составляющей, расширил сырьевую базу за счет утилизации многотоннажных отходов.

По данным К.К. Эскуссона [58], на заводе г. Икаалине (Финская фирма «Сипорекс») газобетоны марок D 400, D 450, D 500 изготавливают на базе местного полевошпатокварцевого песка. В качестве вяжущего используется шлакопортландцемент, смесь двух шлаков (г. Раударууки, Финляндия, и г. Окселунд, Швеция) и химические добавки – сода, борокс, дихромат натрия, стабилизатор вспучивания. Применение сложной композиции шихты, в частности двух видов шлаков, обеспечивает при малокварцевом песке (до 50 % кварца) весьма высокие показатели ячеистого бетона, например марка D 500: средняя плотность – 470 ± 15 кг/м³; прочность при сжатии более 3 МПа; прочность при изгибе 0,86 МПа и более; усадка при высыхании – 0,3 мм/м. для бетонов марок D400 и D500, в качестве газообразователя применяется алюминиевая пудра разной дисперсности.

В работе [59] были разработаны составы теплоизоляционного неавтоклавного газобетона с использованием карбонатного наполнителя из отхода дробления известняка с физико-механическими свойствами, соответствующими нормативным требованиям. Получены составы газобетонных изделий при средней плотности до 500 кг/м³ с прочностью до 1,5 МПа, что соответствует марке по плотности D500, классу по прочности B1. Использование отходов дробления известняка и снижение расхода цемента по



сравнению с аналогами способствует уменьшению себестоимости газобетона на 30%.

В работе [60] расчёт удельной экономической эффективности показал преимущества применения разработанного золо-цементного газобетона с химическими добавками (хлорид и сульфат натрия высококальциевых зол) по сравнению с классическим цементно-песчаным ячеистым материалом. Результаты эксперимента показали, что теплопроводность неавтоклавного цементно-золяного газобетона колеблется в пределах 0,13–0,16 Вт/(м·°С) в зависимости от пробы золы ТЭЦ и средней плотности бетона. Также в работе [61] при производстве ячеистых бетонов предлагается заменить шлам песчаный на шлам зольный, при этом получать дешёвый теплоизоляционный материал.

В статье [62] описаны эффективность применения вулканических горных пород в неавтоклавных ячеистых бетонах и обуславливается тем, что из 60 – 75 % кремнезема, входящего в их состав, 30 – 35 % находится в аморфном (активном) состоянии. Кроме того, мелкодисперсность таких материалов позволит исключить энергоёмкость процесса помола заполнителя.

Одним из направлений изготовления эффективных стеновых материалов является их производство из неавтоклавного ячеистого шлакощелочного бетона по литевой технологии средней плотности D 800 на основе нейтрального доменного гранулированного шлака, золы ТЭС, кварцевого песка и щелочного затворителя – жидкого стекла [63].

Авторами [64] предложена технология получения жаростойкого (до 1000°С) газобетона на основе щелочного алюмосиликатного связующего и золы-уноса, не требующая применения дефицитного сырья и высокой температуры, характерных для традиционных материалов такого класса, что значительно снижает стоимость материала в сравнении с аналогами. Разработанный материал по своим свойствам не уступает традиционным ячеистым бетонам, превосходит их по жаростойкости и имеет намного



меньшую стоимость, чем легковесные огнеупоры. Щелочное алюмосиликатное связующее - новый вид гидравлических вяжущих веществ, разработанный в Государственном научно-исследовательском институте вяжущих веществ и материалов им. В.Д. Глуховского [65]. Особенностью этого связующего является преобладание в составе новообразований неорганических полимерных структур - аналогов природных цеолитов, что предопределяет как высокую долговечность, так и высокие эксплуатационные свойства материалов на его основе - прочность, жаростойкость и др. Кроме того, данное связующее характеризуется экологической чистотой и высокой технологичностью, то есть свойства материалов на его основе можно регулировать в широких пределах.

В статье [66] описаны технологические особенности и свойства газобетона, изготовленного из декарбонизированной окисленной золы и белитосодержащего вяжущего на ее основе. Характерной особенностью использованных вяжущих является повышенное содержание ангидрита и свободной извести или одновременное присутствие свободной извести и белита. Газобетон на белитосодержащем вяжущем отвечает нормативным требованиям стандартов, включая морозостойкость, на декарбонизированной золе при прочих сходных свойствах недостаточно морозостоек. Добавка 10 – 20 % портландцемента гарантирует морозостойкость газобетона на декарбонизированной золе не ниже 35 циклов.

В работе [67] был разработан состав неавтоклавного газобетона, в котором расход цемента составил 130 кг/м^3 вместо обычных $300\text{—}400 \text{ кг/м}^3$ для бетона плотностью $600\text{—}700 \text{ кг/м}^3$, то есть в три раза меньше расхода на традиционные неавтоклавные ячеистые бетоны. Полученные ячеистые бетоны могут применяться и для монолитного домостроения, так как набор прочности происходит как в пропарочных камерах, так и в естественных условиях. Разработанные составы в настоящее время используются при производстве



мелких стеновых блоков, планируется изготовление армированных плитных изделий неавтоклавного газобетона. В качестве вяжущих использовали портландцемент М400 и тонкодисперсную негашеную известь. Роль заполнителя выполняла смесь микрокремнезема и феррошлака при различном соотношении МК:ФШ от 5:95 до 95:5. Порообразователем служила водная дисперсия алюминиевой пудры марки ПАП-1.

Теория и практика применения в технологиях получения ячеистых бетонов таких распространенных отходов, как золы и шлаки научно обоснована и широко представлена в отдельных многочисленных публикациях и монографиях [68-71].

Предлагается получение газобетона, в составе которого используется гидролизный лигнин, являющийся отходом химической переработки древесины [72-73]. Теоретической основой создания лигногазозолбетона, служит то, что в составах для его производства гидролизный лигнин выполняет роль кислотного активизатора для проявления вяжущих свойств высококальциевых зол бурых углей и органического, высокоминерализованного наполнителя, а зола – кремнеземистого компонента, вяжущего и создателя щелочной среды, необходимой для протекания реакции газообразования. Наиболее оптимальное соотношение между лигнином и золой, с позиции обеспечения необходимой среды для протекания процесса газовыделения, твердения и получения материала достаточной прочности и низкой плотности, составляет 1:3...1:5. Наиболее активно газовыделение и вспучивание лигнозолоцементных композиций протекает при повышенном расходе алюминиевой пудры и водотвердом отношении равном 0,33...0,4, при использовании горячей воды газовыделение в смеси начинается через 5...7 мин после разлива массы, а при использовании холодной воды – через 10...15 мин.

Разработаны состав и технология производства сухой золосодержащей смеси для изготовления газобетона со средней плотностью 450-500 кг/м³.



Сухая смесь содержит техногенные отходы: зола гидроудаления и текстиль-корд, полученного при переработке старых шин [74].

Завадским В.Ф., Фомичевой Г.Н., Камбалиной И.В. [75-76] впервые предложено использовать в производстве ячеистых бетонов в качестве наполнителя дисперсные попутные продукты дробления альбитофировых и диабазовых горных пород. Альбитофировые порошки и пыли, являясь отходами дробления соответствующих пород, через систему пылеулавливания поступают в отвал или запасные бункеры в мелкодисперсном виде с удельной поверхностью 2000-3500 см²/т (по прибору ПСХ-4). Альбитофировые горные породы относятся к группе кислых эффузивных пород щелочного ряда с вкраплениями и микролитами основной массы, представленными главным образом альбитом Na [AlSi₃ O₈] -75-87%; также в состав входят кварц - 6-10%, хлорит, гидрохлорит -6-7%, лейкоксен, сфен - 2-3%, карбонат - 1-2%, магнезит -1-2%. Химический состав пород, %: SiO₂ - 67,68; Al₂O₃ - 14,23; Fe₂O₃ - 5,7; TiO₂ - 7,17; R₂O- 7,38; CaO - 1,11; MgO - 0,88; H₂O - 0,31; SO₃ - 0,11; ппп -0,72. Структура пород порфировая. Таким образом, изменяя содержание ингредиентов и технологические параметры, возможно получение альбитофиригазобетона с величиной средней плотности в диапазоне 540-600 кг/м³. Предварительные расчеты показывают, что себестоимость 1 м³ ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе альбитофиров по сравнению с бетонами на кварцевом песке будет ниже. Это связано с исключением из технологии операции помола, использованием попутно добываемого сырья и меньшей температурой формовочного альбитофирицементного шлама.

В работе [77] были проведены исследования возможности использования золошлаковых смесей для получения газозолобетона для защиты трубопроводов малых и средних диаметров, формованных в виде полуцилиндров-скорлуп. В результате лабораторных исследований были подобраны составы теплоизоляционного газозолобетона на основе



портландцемента марки 400 Пикалевского завода, известково-песчаного вяжущего ОАО «Оленегорский завод силикатного кирпича» и ЗШС Апатитской ТЭЦ. В качестве порообразующей добавки использовалась алюминиевая пудра марки ПАП-1. Полученный газозолобетон при средней плотности 350-450 кг/м³ имеет коэффициент теплопроводности 0,085-0,095 Вт/(м°С). По справочным данным, температура на поверхности изоляции принимается равной: 45°С - в закрытых рабочих помещениях, 60°С - на открытом воздухе и в открытых помещениях со штукатурным раствором слоем [78]. Такие изделия являются наиболее дешевыми по сравнению с существующими аналогами, поскольку для их изготовления могут использоваться золоотходы местных ТЭС, расположенных в различных регионах России.

Неавтоклавные газобетоны средней плотностью от 400 до 900 кг/м³ получены из рабочих смесей с пылевидным отходом, активированных по оптимальным режимам. Расход портландцемента в таких композициях составляет от 208 до 365 кг/м³ в зависимости от средней плотности ячеистого бетона. Сравнение показателей прочности на сжатие полученного неавтоклавного газобетона с нормативными требованиями по ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» показало, что он отвечает нормативным требованиям и по своим прочностным показателям приближается к автоклавным ячеистым бетонам. Разработанная технология изготовления стеновых блоков из неавтоклавного газобетона с использованием пылевидных отходов с высоким содержанием глинистых частиц позволяет решить экологическую и экономическую проблемы [79].

В работе [80] для получения неавтоклавного газобетона в качестве наполнителя вместо золы был применен аморфный кремнезем. Аморфный кремнезем встречается в отходах металлургии. В результате применения аморфного кремнезема был получен качественный неавтоклавный ячеистый бетон при расходе цемента 8,5% от общего веса сухих ингредиентов (то есть



40–50 кг/м³ – как у автоклавных бетонов). При плотности бетона 700 кг/м³ возможно достижение прочности свыше 5 МПа. Достигнут более высокий коэффициент качества, по сравнению с автоклавным ячеистым бетоном (K=163). Полученный ячеистый бетон выдержал 35 циклов попеременного замораживания и оттаивания, он завердевает не только в обычной пропарочной камере, но и в естественных условиях, то есть пригоден и для монолитного домостроения.

В работе [81] были разработаны СГС на основе вторичного сырья и отходов промышленности. В качестве основы для разработки СГС приняты смешанные бесклинкерные вяжущие, содержащие в своем составе высококальциевую золу Абаканской ТЭЦ (50-65 %) и вскрышные глинистые породы (35-50 %) Изыхского угольного разреза (Республика Хакасия), а также малоклинкерное смешанное вяжущее, содержащее дополнительно добавку портландцемента в количестве 25-40 %. Полученный теплоизоляционный газобетон для заполнения каналов и полостей в кладке каменных стен может быть представлен как некий аналог безобжиговой пемзы или отвержденной минеральной пены. Благодаря совмещенному помолу основных минеральных компонентов вяжущего и газообразователя значительно упрощена технология и при равноценном расходе газообразователя, получен газобетон плотностью 170-205 кг/м³ вместо 430 кг/м³ у аналога. При этом коэффициент теплопроводности (0,079-0,082 Вт/(м°С) и предел прочности при сжатии (0,06-0,11 МПа) удовлетворяют поставленным исходным условиям. Благодаря внедрению ресурсо- и энергосберегающих технологий с использованием базы техногенного сырья полученный теплоизоляционный материал из СГС в сравнении с минераловатными плитами сопоставимой плотности (Д200) имеет более низкие цены: для СМВ - в 7,7 раза; СБВ - в 12,5 раз; ГЦПВ - в 3,8 раза, что создает предпосылки для широкого внедрения его в строительство.



С использованием шлакощелочного вяжущего и слабокислых шлаков Урала и дегидратированного диатомита получен газобетон, не требующий автоклавной обработки, равный по прочности автоклавным ячеистым бетонам ведущих фирм. Для его изготовления используются отходы промышленности и местное сырье опаловые породы, что снижает себестоимость бетона и решает экологические проблемы. Применение же шлакощелочного вяжущего на нижнетагильском шлаке позволяет получать газобетон плотностью 690 кг/м^3 и прочностью $7,1 \text{ МПа}$, пропаренный по режиму $1,5+13+1,5 \text{ ч}$ при 95°C . Также на этом шлаке получен газобетон плотностью 600 кг/м^3 и прочностью $4,2 \text{ МПа}$ при продолжительности пропаривания 8 ч . На челябинском шлаке с добавкой прокаленного молотого диатомита в количестве $8,9 \text{ мас. \%}$ получены образцы плотностью 500 кг/м^3 и прочностью при сжатии $3,8 \text{ МПа}$ при продолжительности цикла пропаривания 8 ч , и $4,2 \text{ МПа}$ — при 16-часовом цикле пропаривания. Все это позволяет считать рациональными и перспективными тенденции, направленные на развитие производства шлакощелочных ячеистых бетонов на основе техногенных отходов и местного сырья [82].

Предложены принципы проектирования теплоизоляционного газобетона с использованием композиционных вяжущих с отсевом дробления кварцитопесчаника (КВП) и мелом. Это позволило получить газобетон с улучшенной структурой и показателями качества. Разработаны составы газобетонов, позволяющие изготавливать газобетон со средней плотностью $270...300 \text{ кг/м}^3$, прочностью на сжатие $1,5...1,7 \text{ МПа}$, теплопроводностью $0,078...0,08 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ и морозостойкостью F15 с возможностью его применения в качестве теплоизоляционного материала для монолитного возведения ограждающих конструкций в энергосберегающем малоэтажном домостроении [83].

Разработан состав неавтоклавного газобетона, включающий измельченные отходы производства минеральной ваты и зол ТЭЦ-3, ТЭЦ-5.



Установлено, что композиции минераловатных отходов с высококальциевыми золами позволяют получить газобетон класса 3.5 - 10.0 при отсутствии цемента за счет взаимодействия свободного оксида кальция с активным стеклом минеральной ваты [84].

На основе местного сырья с добавкой серы и шлама производства хлористого бария предложены составы конструкционно-теплоизоляционного автоклавного газобетона плотностью 400 кг/м^3 с прочностью на сжатие не менее 2,5 МПа. При этом улучшается комплекс показателей технологических параметров подготовки сырьевых материалов газобетона и его физико-технических свойств, обеспечивается снижение расхода портландцемента до 30% [85].

Получены составы ячеистого бетона плотностью $400-500 \text{ кг/м}^3$ и сухих газобетонных смесей естественного твердения на основе ВНВ (вяжущие низкой водопотребности) с использованием отходов Курской магнитной аномалии [86].

В работе [87] разработан состав газобетона естественного твердения на барханном песке классов (марок) по прочности В1,5 (М25); В3,5 (М50) для монолитных стен малоэтажных домов.

Развито новое направление в производстве эффективных видов ячеистого бетона неавтоклавного твердения, на основе использования серы и золы-унос Экибастуза, обладающих низкой усадкой, влажностью, и теплопроводностью за счет высокой активности кислой золы-унос при ее известковой активации и упрочнения межпоровой перегородки расплавленной серой [88].

В работе [89] доказана эффективность использования низкокремнеземистых полевошпатово-кварцевых пород и кислых зол в качестве кремнеземистых заполнителей ячеистого бетона. Это обусловлено проявлением низкокремнеземистыми сырьевыми материалами повышенной алюминатной (ферритной) активности к насыщенным растворам гипса и извести с образованием гидросульфоалюминатных (ферритных) соединений, обеспечивающих повышенную растворимость исходных компонентов и



продуктов гидратации портландцемента, определенную степень пересыщения жидкой фазы твердеющей системы и необходимые условия для образования хорошо закристаллизованных форм гидросиликатов кальция.

Разработан состав фиброгазозолобетона с использованием продуктов растительных полимеров, обладающий улучшенными, по сравнению с аналогами, физико-механическими характеристиками и технико-экономическими показателями. Установлена эффективность использования продуктов растительных полимеров, в том числе волокнистых, для формирования качественной структуры и улучшения свойств ячеистых бетонов [90].

Предложены составы неавтоклавного газобетона на основе высококальциевой золы ТЭЦ с добавкой хлорида или сульфата натрия. Предложенные составы позволяют получать неавтоклавный безусадочный газобетон со стабильными собственными деформациями, получение конструкционно-теплоизоляционного газобетона с пониженными средней плотностью ($\rho = 600-700 \text{ кг/м}^3$) и коэффициентом теплопроводности ($\lambda = 0,15-0,16 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$), при соответствии всех остальных характеристик требованиям ГОСТ 21520 и 25485 [91].

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения неавтоклавного ячеистого бетона на основе стеклобоя со свойствами, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 24452-80. При исследовании основных физико-механических и деформативных свойств ячеистого бетона на основе стеклобоя неавтоклавного твердения установлено, что полученный бетон марок D600-D700 полностью отвечает требованиям ГОСТ 25485-89 и СНиП 2.03.01-89*, а по своим тепло-физическим свойствам отвечает новым нормам СНиП II-3-79* и может использоваться в ограждающих конструкциях [92].

В работе [93] исследованы газобетоны автоклавного и неавтоклавного твердения с добавкой метакаолинита, микрокремнезёма и рисовой шелухи. Введение в состав смеси ультрадисперсного высокоактивного



метакаолинита позволило уплотнить и упрочнить структуру путём связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$, формирования низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, увеличить прочность, водостойкость, предел огнестойкости, снизить влажность, водопоглощение, усадку и ползучесть газобетона.

Разработаны составы пеногазобетона на кварцевом и керамзитовом песках, а также на стеклопорошке, позволяющие получать пеногазобетон со средней плотностью $400 - 500 \text{ кг/м}^3$ и прочностью $1,2 - 1,6 \text{ МПа}$. Установлено, что замена кварцевого песка в составе пеногазобетонной смеси на керамзитовый песок в количестве 30% или стеклопорошок - 80% от общего расхода кремнеземистого компонента позволило снизить среднюю плотность до 400 кг/м^3 по сравнению с пеногазобетоном, полученном при других расходах керамзитового песка и стеклопорошка [94].

Таким образом, широкое вовлечение в производство ячеистых бетонов вторичных продуктов и отходов промышленности дает возможность расширить сырьевую базу, снизить суммарные энергозатраты на единицу продукции, исключить из производства цемент, снизить себестоимость продукции и получить ячеистые бетоны с заданными свойствами. При этом в определенной мере решаются и вопросы охраны окружающей среды.

1.4. Дисперсное армирование как способ улучшения эксплуатационных свойств ячеистого бетона

Прочность цементного камня на разрыв при изгибе существенно ниже прочности при сжатии. Дисперсное армирование бетонной матрицы позволяет в значительной степени воздействовать на основные недостатки бетона — низкую прочность при растяжении и изгибе, хрупкость, а также улучшить способность воспринимать знакопеременные (инерционные) воздействия. Дисперсное армирование с применением синтетических волокон (фибры) изменяет поведение непосредственно цементного камня как составляющей бетонной структуры, что позволяет создать необходимый запас прочности,



сохраняя целостность конструкции даже после появления волосяных трещин. Кроме того, в результате совмещения микроармирующего волокна и матрицы цементного камня образуется дополнительный комплекс свойств композита, которыми изолированные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала. Таким образом, в композитах увеличение статической прочности приводит не к снижению, а к повышению характеристик вязкости разрушения [95-97].

Авторами [98] предложено модифицировать бетонные смеси введением дисперсных армирующих добавок. В результате значительно улучшены показатели прочности при нагрузках на растяжение, обеспечено ингибирование трещин по всей структуре, что повысило долговечность и трещиностойкость бетонных изделий. Западные производители фибры рекомендуют для предотвращения трещинообразования, уменьшения усадки, повышения потребительских свойств вводить в бетонные смеси полипропиленовые волокна типа фибрина. Но ПП-волокно, наиболее распространенное и доступное, при диаметре 20мкм имеет низкую прочность и поверхностную энергию, не обеспечивающую сцепление поверхности волокна и цементного камня.

Василовская Н.Г., Енджиевская И.Г., Калугин И.Г. провели исследование дисперсного армирования цементных композиций базальтовой фиброй. Цементные композиции армировали базальтовыми волокнами длиной от 6 до 18 мм, в количестве 0,10–0,25 % от массы цемента. В результате наилучшие показатели к 28 суткам твердения имел базальтоцемент с добавкой волокна 0,2 %. Прочность на изгиб и сжатие такой композиции возросла по сравнению с неармированным цементным камнем на 100–160 % при изгибе и на 35–50 % при сжатии. Дальнейшее повышение содержания волокна в композиционном материале также приводит к образованию «ежей», приводящих к созданию неравномерной структуры композиции, в результате чего уменьшается прочность как при изгибе, так и при сжатии [98].



Проведенные исследования показали, что бетоны, упрочненные полимерными и базальтовыми волокнами, имеют высокие значения физико-механических характеристик. Армирование высокодисперсными волокнистыми наполнителями позволяет компенсировать главные недостатки обычного бетона - низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения (трещиностойкость). Применение высокодисперсных волокнистых наполнителей в цементных бетонах оказывает положительное влияние на процессы структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства бетона. Это достигается за счет улучшенной адгезии волокон к цементной матрице, сравнительно высокой прочности и модуля упругости волокон, их стойкости по отношению к щелочной среде [99-104].

Рабинович Ф.Н., Баев С.М. предлагают для повышения качества и долговечности бетонов использование различных органических и неорганических соединений в качестве специальных добавок к бетону и дисперсного армирования для увеличения прочностных, эксплуатационных свойств и долговечности бетонных изделий и конструкций. Также исследованы перспективы производства и применения дисперсно армированных бетонов различными видами фибр и текстилем [105-106].

Установлена эффективность применения полимерных фибр для дисперсного армирования бетона. При этом улучшаются такие характеристики торкрет-бетона как водопоглощение, водонепроницаемость, морозостойкость, сопротивление воздействию огня и взрыва. Небольшой модуль упругости полипропиленовых волокон (до 8000 МПа) и высокие значения предельных деформаций (10-25%) повышают вязкость армированного этими волокнами бетона и уровень работы, которую необходимо затратить для его разрушения [107].

Во многих зарубежных публикациях [108-115] отмечена положительная роль дисперсной арматуры в составе цементных бетонов. Анализ этих публикаций свидетельствует об улучшении структурных характеристик исходных материалов в результате дисперсного армирования, которое, при



оптимальном содержании фибры улучшает эксплуатационные свойства, повышает долговечность изделий и конструкций.

По инициативе ООО «Си Айрлайд» были проведены исследования, результаты которого позволяют рекомендовать дисперсное армирование неавтоклавного пенобетона синтетическими волокнами, такими, как «Си Айрлайд-ВСМ», что обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик изделий и конструкций. В жидкой минеральной среде на основе цемента присутствие волокнистого армирующего наполнителя уменьшает пластическую усадку, улучшает водоудерживающие способности, ограничивает оседание минеральных составляющих за счет создания трехмерной сети внутри минерального теста и исключает расслаиваемость смеси [116].

В работе [117] предложен способ приготовления ячеистых материалов с высокой прочностью и коэффициентом конструктивного качества с применением в составе сырьевой смеси дисперсной арматуры из полимерных и базальтовых волокон, суперпластификатора Sika ViscoCrete-3 и многослойных углеродистых нанотрубок диаметром 8-40 нм и длиной 2-50 мкм. Полимерные и базальтовые волокна-фибры способствуют на стадии перемешивания образованию реологически однородной смеси с высокой пластичностью и нераслаиваемостью. После затвердевания полученный фибробетон имеет пространственно армированную микроструктуру цементного камня, препятствующую образованию усадочных трещин. В результате прочность на сжатие увеличилась на 8,3-9%, прочность на растяжение при изгибе на 18,8-10,5%, повышение конструктивного качества при сжатии на 8,7-10,4%, на растяжение при изгибе на 19-12,9%.

Лаповская С. Д., Волошина Т. Н., Гаврилюк В. П. [118] для дисперсного армирования использовали целлюлозные волокна длиной 0,2 – 0,5 мм и 1,0 мм, полученные из восстановленного вторичного сырья природного происхождения. Целлюлозные волокна имеют прочность на разрыв свыше 500 МПа, модуль упругости не менее 35 ГПа, теплостойкость 190 °С, щелочестойкость до pH 12. При оптимальном количестве целлюлозных



волокон наблюдаются следующие эффекты: стойкость процесса поризации, отсутствие усадочных трещин и трещин напряжения, увеличение прочности фиброгазобетона на сжатие (на 15 – 35 %) и растяжение при изгибе (на 30 – 50 %), отсутствие усадки как в процессе твердения смеси, так и во время всего периода твердения, равномерность пористой структуры.

Неавтоклавные газобетоны характеризуются нестабильной ячеистой структурой, низкими эксплуатационными свойствами и большой влажностной усадкой. Одним из рациональных способов решения данной проблемы является фиброармирование газобетона волокнистыми добавками. Исследованиям этого вопроса посвящены работы Ю.В. Пухаренко, Л.В. Моргун, Н.Т.Василовской, И.Т.Енджиевской [13,14,98,99,103,104] и других ученых. Показано, что введение дисперсных волокон (синтетических, минеральных, древесных) в оптимальном количестве существенно улучшает качество ячеистых бетонов. Введение волокон снижает усадочные деформации, увеличивает прочность и трещиностойкость, а также способствует понижению проницаемости и теплопроводности неавтоклавных ячеистых бетонов. Повышение прочности ячеистых бетонов особенно значительно при воздействии растягивающих и изгибающих нагрузок. Дисперсная арматура оказывает положительное влияние на агрегатную устойчивость поризованных смесей [74].

В работе [119] показана эффективность ячеистого фибробетона неавтоклавного твердения армированного низко модульными синтетическими фибрами. Фибры представляют собой отрезки моноволокон, комплексных нитей и фибриллированных пленок, для изготовления которых в ряде случаев целесообразно использование промышленных отходов соответствующих производств. Введение таких волокон в пено- или газобетонные смеси позволяет в 2...2,5 раза увеличить прочность при изгибе, до 1,5 раз - прочность при сжатии, в 7...9 раз - ударостойкость исходного ячеистого бетона. Улучшение поровой структуры материала в результате дисперсного армирования способствует снижению водопоглощения и капиллярного подсоса, что обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик



изделий и конструкций. Так, морозостойкость ячеистого фибробетона достигает 75...100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Фибровое армирование полностью исключает появление и развитие усадочных трещин в процессе твердения и последующей эксплуатации материала.

В работе [120] при производстве газобетона в качестве дисперсной армирующей добавки применялся текстильный корд, получаемый при переработке старых автопокрышек на ООО «Экорезина» (г. Тверь), который представляет синтетические полимерные волокна длиной 5-7мм диаметром 30-60 мкм. Состав отработанного текстильного: полиэфир-60%, полиамид-37%, вискоза-3,0%. В корде присутствует резиновая крошка до 15% по массе диаметром до 1 мм, которую удаляли с помощью набора сит.

Установлено, что волластонит (метасиликат кальция) является эффективной дисперсной арматурой для ячеистого бетона. Это связано с устойчивостью волластонита к щелочной среде и повышенным температурам насыщенного пара при автоклавной обработке. В результате достигается увеличение прочности на изгиб ячеистого бетона, при плотности равной $D 700 \text{ кг/м}^3$ на 25% [88].

Многие исследователи показали эффективность применения асбестовых, целлюлозных, лавсановых и других видов волокон для формирования качественной структуры и улучшения свойств ячеистых бетонов. Было установлено, что волокна способствуют значительному упрочнению межпоровых перегородок газобетона, стабилизируют процесс поризации газобетонной смеси и повышают прочность газобетонных изделий [89,90,104,121, 122].

В работе [89] автор предлагает вводить в составы ячеистобетонных масс волокна асбеста в количестве 6 %. В результате асбест, обладая высокой адсорбционной способностью к продуктам гидратации портландцемента, активизирует химические процессы взаимодействия между компонентами ячеистобетонных масс, что приводит к повышению прочностных характеристик ячеистого бетона.



Экспериментально установлено в работе [90], что при дисперсном армировании газобетонов целлюлозными волокнами происходит изменение поровой структуры. Это изменение заключается в повышении плотности межпоровых перегородок и однородности распределения пор по объему материала.

Чужбинкиной И.Е. [123] разработаны составы ячеистого бетона дисперсно армированного муллитокремнезёмистой ватой, предназначенной для условий эксплуатации при температуре до 1150 °С. По показателю сопротивления разрушающим воздействиям фибробетон может в 15 – 20 раз превосходить бетон без добавки различных волокон. Это обеспечивает ему высокую технико-экономическую эффективность при применении в строительных конструкциях и при их ремонте.

Для устранения низкой способности к восприятию растягивающих усилий, а также пониженной трещиностойкости в работе [124] было применено дисперсное армирование волокнистыми добавками. Компонентом для дисперсного армирования являются сухие отходы асбестоцементного производства. В результате проведенных исследований было установлено, что присутствие в асбестоцементных отходах клинкерных минералов и гидроксида кальция может определять некоторые вяжущие свойства отходов. В данных отходах присутствуют волокна асбеста, проявляющие не только армирующие, но и структурообразующие свойства. Измельченный асбестоцемент можно рассматривать как кристаллическую затравку, содержащую в своем составе зародыши кристаллизации новообразований, возникшие при гидратации портландцемента. В результате предварительных исследований было установлено, что введение в состав ячеисто-бетонной смеси пониженной плотности (D150, D200) асбестоцементных отходов позволяет в 2—3 раза повысить предел прочности при изгибе.

В современном строительном материаловедении достаточно подробно изучены вопросы эффективности армирования ячеистых бетонов



неавтоклавно твердения органическими (капроновыми, полипропиленовыми, полиэтилентерефталатными) и минеральными (базальтовыми, стеклянными, асбестовыми) волокнами [125-130].

Таким образом, применение методов дисперсного армирования наиболее перспективно в области хрупких высокопористых материалов на минеральных вяжущих, например, таких как ячеистый бетон, для которого фибровое армирование целесообразно во всех случаях [131-132]. В то же время многочисленные исследования, проводимые в течение многих лет за рубежом, убедительно показывают, что и в других случаях, независимо от средней плотности матрицы и вида применяемых волокон, ударостойкость бетона в результате дисперсного армирования возрастает в несколько раз [133-134]. При этом отмечается, что степень повышения сопротивляемости ударным и другим динамическим воздействиям определенным образом зависит от геометрических характеристик используемых волокон, их количества в смеси, дисперсности минеральных компонентов в составе матрицы, а также от технологии изготовления изделий.

1.5. Теоретическое обоснование химических характеристик оценки качества сырьевых материалов

По агрегатному состоянию отходы и попутные продукты промышленности на стадии выделения их из основного технологического процесса могут представлять собой: отвердевшие зерна различного размера и плотности, жидкости и газы. Классификация попутных продуктов по агрегатному состоянию в момент их выделения из основного технологического процесса позволяет оценить возможные направления их использования. Для определения конкретных областей применения этих продуктов необходима химико-технологическая характеристика. Для оценки химической активности попутных продуктов были предложены три группы модулей [135].

В *первой группе модулей* процентное содержание суммы одних оксидов делится на процентное содержание суммы других оксидов без учета



соединений, в которых они находятся, и последовательности происходящих между ними реакций. В эту группу входят: модуль основности, модуль активности, комплексный модуль, модуль Вика, глинисто-железистый модуль, коэффициент качества и I-III-й германский модули. Наибольшее распространение получили модуль основности $M_{осн}$ и модуль активности $M_{акт}$. для оценки технологических свойств попутных продуктов по химическому составу.

Отсутствие закономерностей у модулей первой группы побудило исследователей разработать модули, рассчитанные по молекулярным соотношениям оксидов с учетом химического взаимодействия- *вторая группа модулей*. К этой группе модулей относятся модуль Тетмайера, индекс активности Лангавана, индекс М. Херона и К. Лардиниоса.

Третья группа модулей была разработана для расчета цементной шихты по химическому составу. К этой группе относятся модуль Ле-Шателье, степень насыщения Кюля, степень насыщения Юнга, коэффициент насыщения Кинда. Из этих модулей только коэффициент насыщения Кинда учитывает последовательность реакций, происходящих при обжиге сырья в производстве портландцементного клинкера. Практический опыт подтвердил корректность теоретических положений формулы Кинда, что и определило ее широкое применение в цементном производстве. Недостаток КН в том, что он учитывает только содержание CaO, исключает содержание MgO, R₂O и других оксидов и не дает визуального представления о составе силикатов кальция.

$K_{осн}$ силикатов П.И. Боженова аналогичен КН Кинда. Однако $K_{осн}$ учитывает наличие любого оксида и его место в формуле и последовательность происходящих реакций [135].

Исследования последних лет подтвердили полезность применения коэффициента основности ($K_{осн}$) П.И. Боженов [136] для характеристики гидравлической активности шлаков и других отходов промышленности, пригодных для получения вяжущих веществ:

$$K_{осн} = CaO - (0,55Al_2O_3 + 0,35 FeO + 0,35 SO_3) / 0,93 SiO_2.$$



Сырьевые материалы с $K_{осн} > 1$ обладают вяжущими свойствами, увеличивающимися с повышением значения $K_{осн}$. При $K_{осн} < 1$ материал не обладает вяжущими свойствами, является кислым и может быть использован как активная минеральная добавка.

Коэффициенты при оксидах определены из расчета образования следующих соединений на 1 % CaO: $0,93SiO_2 \rightarrow CaO \cdot SiO_2$; $0,55Al_2O_3 \rightarrow CaO \cdot Al_2O_3$; $0,35Fe_2O_3 \rightarrow 2CaO \cdot Fe_2O_3$; $0,75SO_3 \rightarrow CaSO_4$.

$K_{осн}$ учитывает не только молярные соотношения, но также и последовательность минералообразования в гидротермальных условиях. Конечная основность гидросиликатов кальция является смысловым значением приведенной характеристики. Оценку по химической характеристике $K_{осн}$ можно считать перспективным направлением в определении химической активности побочных продуктов промышленности (техногенного и полидисперсного сырья).

В условиях автоклавной обработки низкоосновные гидросиликаты кальция придают изделиям высокую прочность, поэтому необходимо их преобладание в составе цементирующей связки. Определение $K_{осн}$ исходного сырья производится по химического состава. Оптимальное значение $K_{осн}$ позволяет установить вид и количество корректирующей добавки. Следовательно, $K_{осн}$ позволяет прогнозировать свойства конечного продукта и организовать простой контроль состава сырьевой смеси на заводе.

В работе М.Т. Касымовой предложены собственные критерии оценки: коэффициента основности ($K_{осн}$), учитывающий повышенное содержание $FeO+Fe_2O_3$ и коэффициент активности ($K_{акт}$), учитывающий содержание активно влияющих оксидов на возникновение структурообразующих новообразований [137].

В работе нами использованы предложенные М.Т. Касымовой собственные критерии оценки: коэффициента основности ($K_{осн}$) и коэффициент активности ($K_{акт}$).



Таблица 1.2 - Химическая характеристика различных материалов

Характеристики	Классифицируемый материал	Примечание
Модуль основности: $M_{\text{осн}} = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	Доменные шлаки	$M \geq 1$, обладает вяжущими свойствами; $M < 1$ – шлаки кислые.
Модуль активности: $M_{\text{акт}} = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$	Доменные шлаки	Для основных шлаков $M_{\text{акт}} = 0,12 \dots 0,25$; Для кислых шлаков $M_{\text{акт}} = 0,3 \dots 0,5$.
Комплексный модуль: $\text{KM} = M_{\text{акт}} + \text{MnO} - M_{\text{осн}}$	Доменные шлаки	С увеличением комплексного модуля активность шлака падает
Модуль Вика: $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaO} + \text{MgO}$	Портландцемент	
Глинитно-железистый модуль: $M_{\text{г.ж.}} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$	Глинитно-железистые горелые породы	$M_{\text{г.ж.}} = 0,3 \dots 0,45$ – порода активная; $M_{\text{г.ж.}} > 0,45$ – порода высокоактивная
Коэффициент качества: $K = \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 + \text{MnO}$	Доменные шлаки	$K > 1,6$; $K < 1,6$; наиболее ценные с $K > 1,9$
I-й германский модуль: $\text{CaO} + \text{MgO} + 1/3 \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 + 2/3 \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 1$	Доменные шлаки	Шлак обладает наибольшей активностью, если $M_I = 1$
II-й германский модуль: $\text{CaO} + \text{MgO} + 1/3 \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 \geq 1$	Доменные шлаки	Шлак обладает наибольшей активностью, если $M_{II} \geq 1$
III-й германский модуль: $\text{CaO} + \text{CaS} + 0,5 \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 + \text{MnO} \geq 1,5$	Доменные шлаки	$M_{III} \geq 1,9$ – очень хороший шлак; $M_{III} 1,5 \dots 1,9$ – хороший шлак; $M_{III} < 1,9$ – посредственный шлак
Модуль Ле-Шателье: $\text{CaO} / 56,1 + \text{MgO} / 40,3 / \text{SiO}_2 / 60,3 + \text{Al}_2\text{O}_3 / 102,2 < 3$	Портландцемент	



Продолжение табл. 1.2

Характеристики	Классифицируемый материал	Примечание
Модуль Тетмайера: $M_{\text{осн}} = \text{CaO}/56 + \text{MgO}/40 + \text{Al}_2\text{O}_3/102 + \text{SiO}_2/60 \geq 1$	Доменные шлаки	$M \geq 1$, гидравлическая активность обеспечивается
Индекс активности Лангавана: $i = 20 + \text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,5\text{MgO} - 2\text{SiO}_2$	Доменные шлаки	$i < 12$ – шлаки среднего качества; $i = 12 \dots 16$ – шлаки хорошего качества; $i > 16$ – шлаки очень хорошего качества
Индекс М. Херона и К. Лардиниоса: $\text{CaO} + 1,4\text{MgO} + 0,5 \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$	Доменные шлаки	С увеличением индекса активность шлака возрастает
Степень насыщения Кюля: $\text{CH} = \text{CaO} / 2,8\text{SiO}_2 + 1,65 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7\text{Fe}_2\text{O}_3$	Портландцемент	CH показывает отношение весового количества находящейся в цементе извести к необходимому количеству извести для полного насыщения
Степень насыщения Юнга: $\text{CH} = \text{CaO}_{\text{общ}} - \text{CaO}_{\text{своб}} - 0,7 \text{SO}_3 / 2,8 (\text{SiO}_2_{\text{общ}} - \text{SiO}_2_{\text{своб}}) + 1,65 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{Fe}_2\text{O}_3$	Портландцемент	CH в отличие от CH Кюля учитывает свободные известь и кремнезем
Коэффициент насыщения Кинда: $\text{KH} = \text{CaO} - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{SO}_3) / 2,8\text{SiO}_2$	Портландцемент	KH учитывает последовательность происходящих реакций
Коэффициент основности Боженова П.И. $\text{K}_{\text{осн}} = \text{CaO} - (0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{FeO} + 0,35 \text{SO}_3) / 0,93 \text{SiO}_2$	Отходы химического сырья, не доведенные до спекания и расплавления	$K_{\text{осн}}$ учитывает последовательность происходящих реакций



1.6. Физико-химические процессы протекающие при твердении неавтоклавного газобетона

Исследованию химических и физических процессов протекающих при твердении цемента было посвящено много работ. Ле-Шателье создал кристаллизационную теорию твердения, в которой составные части цемента растворяются и образуют насыщенный по отношению к ним раствор. В результате пресыщения раствора продукты гидратации выпадают в виде кристаллов различной формы. Михаэлис выдвинул коллоидную теорию твердения, при которой в процессе твердения происходит образование геля, который заполняет все поры в цементном камне, с последующим его уплотнением, и дальнейшим прорастанием кристаллических образований. А.А.Байков отмечал что при твердении цемента имеют важное значение как коллоидно-химические так и кристаллохимические процессы происходящие при твердении цемента. При этом он выделили три периода: 1) период растворения, до образования насыщенного раствора; 2) период коллоидации, или схватывания, когда продукты гидратации, вследствие пересыщения раствора выделяются в виде геля, минуя растворение; 3) период кристаллизации или твердения, когда гелеобразные новообразования превращаются в кристаллический сросток [138].

Теоретические положения о процессах твердения портландцемента наиболее полно изложены советским ученым А.А.Байковым. Теория твердения по А.А.Байкову предусматривает следующий механизм сложных взаимосвязанных химических, физико-химических и физических процессов. При взаимодействии портландцемента с водой происходит растворение зерен портландцементного клинкера, затем масса приобретает коллоидное состояние и последующим этапом, соответствующим концу сроков схватывания портландцемента происходит кристаллизация цементного камня. Портландцемент содержит 4 основных клинкерных минерала C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF .



Известно, что сразу после затворения цемента водой минералы портландцементного клинкера начинают вступать в химическое взаимодействие с водой. Все процессы взаимодействия клинкерных минералов протекают одновременно. При этом эти процессы накладываются друг на друга, создавая сложную систему взаимодействия, с образованием продуктов твердения. Процессы твердения портландцемента определяются гидратацией силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция. Первым вступают в реакцию трехкальциевый силикат (Алит C_3S):

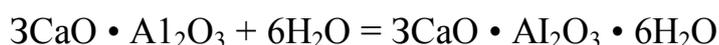


В процессе твердения портландцемента образуются различные гидросиликаты кальция, имеющие разную основность. При обычных условиях твердения образуются гидросиликаты C_2SH_2 и $CSH(B)$. Соотношение молекул CaO приходящих на одну молекулу SiO_2 определяет основность продуктов твердения портландцемента гидросиликатов кальция. Обеспечение условий твердения, подбор состава исходных материалов и другие технологические факторы, при которых образуются гидросиликаты группы $CSH(B)$, считаются предпочтительными. В этом случае образуется цементный камень высокой прочности и стойкости.

Вторым по скорости твердения минералом считается двухкальциевый силикат, который после взаимодействия с водой выделяет меньшее количество $Ca(OH)_2$. Химическое взаимодействие белита C_2S протекает по следующей реакции:



Третий по скорости гидратации минерал трехкальциевый алюминат при взаимодействии с водой образует гидроалюминат кальция:



Известно, что при производстве портландцемента для регулирования сроков схватывания портландцемента вводят 3-5 % добавки гипса от массы цемента.

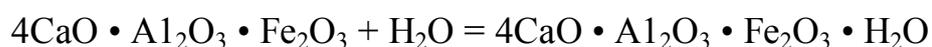


В процессе взаимодействия сульфата кальция как химически активной составляющей в начале гидратации портландцемента протекает следующая реакция:



При этом эттрингит заполняет поры цементного камня и повышает механическую прочность и стойкость.

Четвертый минерал портландцементного клинкера четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой образует гидроалюминаты и гидроферриты кальция:



Соединения, образующиеся при твердении алюмоферритов называются гидрогранатами. Природными минералами группы гранатов являются: гроссуляр $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ и андрадит $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$.

3 периода изложенные в теории твердения А.А.Байкова относятся к химическим и физическим процессам, касающимся производства ячеистобетонных смесей, в которых вяжущим веществом является портландцемент.

Заключение по главе 1.

1. Анализ научно-технической литературы показал, что исследованием газобетона занимались многие ученые. Исследователи показали его широкое применение в строительстве, как перспективного теплоизоляционного материала.
2. Анализ исследований показал эффективность применения дисперсного армирования для формирования качественной структуры и улучшения свойств ячеистых бетонов.
3. Установлено что оценка по химической характеристике Косн можно считать перспективным направлением в определении химической активности побочных продуктов промышленности (техногенного и полидисперсного сырья).



ГЛАВА 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИБОРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ

2.1. Характеристика сырьевых материалов

В работе были использованы следующие материалы: Кантский портландцемент марки М400, известняк ракушечник месторождения Сары-Таш, зола Бишкекской ТЭЦ, гидроксид натрия (NaOH), газообразователь – алюминиевая пудра, суперпластификаторы фирмы БАСФ. В этом разделе приведены их основные характеристики, определенные по стандартам Кыргызской Республики. Эти стандарты по основным показателям соответствуют или близки к аналогичным стандартам России.

Изучение сырьевых компонентов и ячеистых бетонов проводилось в лабораториях «Строительного материаловедения» и «Строительные конструкции» кафедры «Экспертизы и управления недвижимостью», а также в лаборатории «Физика твердого тела» кафедры «Физики» Кыргызско-Российского Славянского Университета имени Б. Н. Ельцина.

2.1.1. Вяжущее вещество

Вяжущими строительными веществами называют порошкообразные материалы, способные при смешивании с водой образовывать пластичную удобообрабатываемую массу, со временем затвердевающую в прочное, камневидное тело.

В качестве вяжущего в работе был использован Кантский портландцемент марки М400. Портландцемент Кантского цементного завода испытан по ГОСТ 10178-85. Минералогический состав цементного клинкера: C_3S -60%, C_2S -14%, C_3A -6,9%, C_4AF -11,9%. Химический состав портландцемента приведены в таблице 2.1.

Таблица 2. 1- Химический состав портландцемента

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Ппп	CaO _{свооб}
21,93	4,73	3,63	64,96	1,51	0,41	0,11	0,41	0,15	0,4

Для определения фазового состава Кантского цемента был выполнен рентгенофазовый анализ (Рис.2.1).

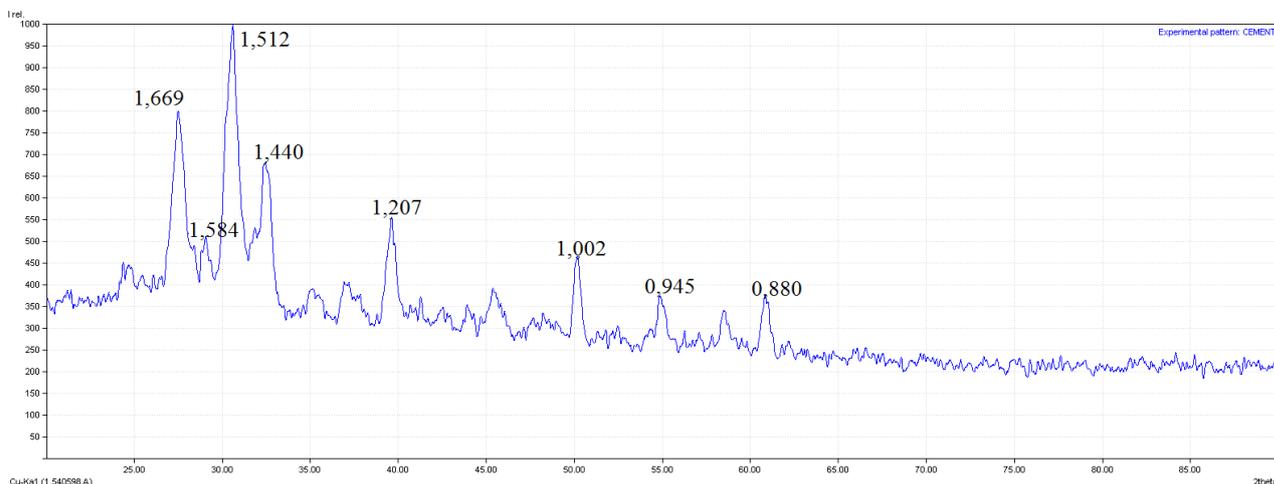


Рис 2.1. Рентгенограмма цемента

При расшифровке полученных рентгенограмм установлено, что в составе портландцемента присутствуют следующие фазы с соответствующими межплоскостными расстояниями: (d, нм= 1,669; 1,512 Å) C₃A₃ трехкальциевый алюминат; (d, нм= 1,584; 0,945 Å) C₂F железосодержащий минерал двукальциевый феррит; (d, нм=1,440 Å) γ-C₂S двухкальциевый силикат; (d, нм=1,207; 1002 Å) C₄AF железосодержащая фаза браунмиллерит; (d, нм=0,880 Å) Na₂OAl₂O₃.

Также в экспериментах использовалась известь Курментинского завода Иссык-Кульской области. Основные характеристики содержание CaO+MgO=61,96 %. Скорость гашения 6 минут, температура гашения 95°C. известь относится ко второму сорту по ГОСТ 9179-77.

2.1.2. Наполнители

В исследованиях в качестве наполнителей были использованы известняк-ракушечник, зола БТЭЦ, кремнеземистые материалы.

Известняк ракушечник. В работе в качестве наполнителей предлагаю

применять порошкообразные отходы от производства облицовочных плит из известняка ракушечника месторождения Сары-Таш (от 0,2 до 2,5 мм). Химический состав представлен в таблице 2.2.

Таблица 2. 2-Химический состав известняка-ракушечника

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MnO	P ₂ O ₅	Ппп	TiO ₂
3,93	2,56	0,45	39,57	11,46	0,11	0,03	0,47	0,05	0,06	41,26	0,05

Внешне камень имеет светло – коричневые, бежевые тона окраски, иногда с бледными желтыми пятнами. Структура раковинно-детритовая, пористая. Основным породообразующим минералом камня являются кальцит, содержание которого составляет около 91%. На долю второстепенных минералов приходится до 9% (окислы железа, марганца, кремнистые минералы). По минеральному составу, структурно–текстурным особенностям камень относится к кальцитовым известнякам.

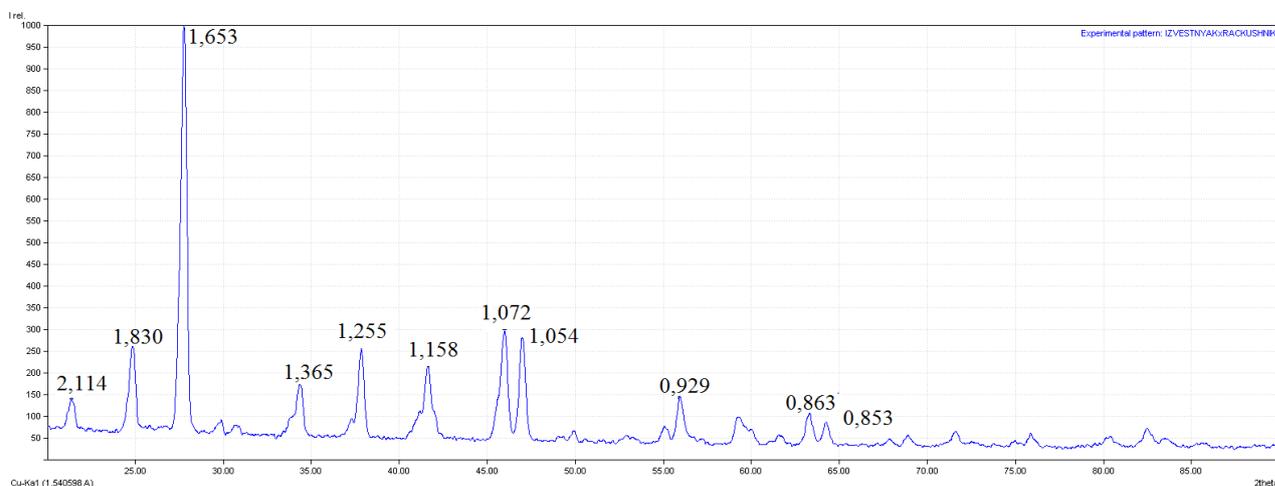


Рис 2.2. Рентгенограмма известняка-ракушечника

При расшифровке рентгенограмм (Рис.2.2) известняка-ракушечника обнаружены пики следующих фаз: (d, нм=2,114 Å) Мелилит Ca₂(Al, Mg, Si)·Si₂O₇; (d, нм=1,830 Å) несквегонит MgCO₃·3H₂O; (d, нм=1,653 Å) синхизит (Ce,La,Di)FCO₂CaCO₃; (d, нм=1,365 Å) Пирофиллит Al₂[OH]₂*(Si₄O₁₀); (d, нм=1,255 Å) сидерит FeCO₃; (d, нм=1,158; 0,929 Å) марганцовый кальцит



$(Ca,Mn)CO_3$; ($d, n_m=1,072 \text{ \AA}$) стронцианит $SrCO_3$; ($d, n_m=1,054 \text{ \AA}$) термонаит
 $Na_2CO_3 \cdot H_2O$; ($d, n_m=0,863; 0,853 \text{ \AA}$) бючлиит $3K_2CO_3 \cdot 2CaCO_3 \cdot 6H_2O$.

Зола. В строительной практике золами называют твердые очаговые остатки с частицами крупностью 0,15 мм, образующиеся при сжигании твердого топлива. Частицы большого размера относятся к шлаковому песку и щебню.

Свойства золы зависят, главным образом, от вида сжигаемого топлива, условия сжигания и способа удаления золы за пределы котельной или ТЭС. Так как зола является продуктом обжига минеральной части топлива, то состав последнего, в первую очередь, и обуславливает свойства золы.

Обычно золы классифицируют по виду и качеству топлива. По этому признаку золы подразделяются на угольные, сланцевые и торфяные. Угольные в свою очередь, подразделяются на антрацитовые, каменные и золы бурых углей. По этой классификации зола-унос Бишкекской ТЭЦ является каменно- и буроугольной, так как она получается из 60% карагандинских каменных улей и 40% местных ташкумырских бурых углей. В зависимости от вида подготовки и условий сжигания топлива различают золы пылевидного сжигания и слоевого. По этому признаку зола-унос Бишкекской ТЭЦ относится к золам пылевидного сжигания [139].

Химический и гранулометрический составы золы Бишкекской ТЭЦ приведены в таблицах. 2.3 и 2.4

Таблица 2.3- Химический состав золы-унос БТЭЦ

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Ппп	R_2O	Σ
51,57	21,87	3,70	3,09	1,24	1,47	16,54	0,52	100

Таблица 2.4- Гранулометрический состав золы-унос БТЭЦ

Остатки на ситах, %								
Номера сит, мм								
10	5	3	2	1	0,5	0,25	0,15	менее 0,15
9,78	5,81	2,53	1,69	4,06	3,57	9,63	12,29	50,63



При расшифровке полученных рентгенограмм (Рис.2.3) установлено, в составе золы Бишкекской ТЭЦ присутствуют следующие фазы с соответствующими межплоскостными расстояниями: (d , нм=2,030 Å) гематит α - $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; (d , нм=1,828 Å) мелилит $\text{Ca}_2 \cdot (\text{Al}, \text{Mg}, \text{Si}) \cdot \text{Si}_2\text{O}_7$; (d , нм=1,39 Å) четырехкальциевый алюмоферит $4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$; (d , нм= 1,028 Å) марганцовый кальцит $(\text{Ca}, \text{Mn})\text{CO}_3$; а также продукт термического разложения глины муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ (d , нм=1,219 Å).

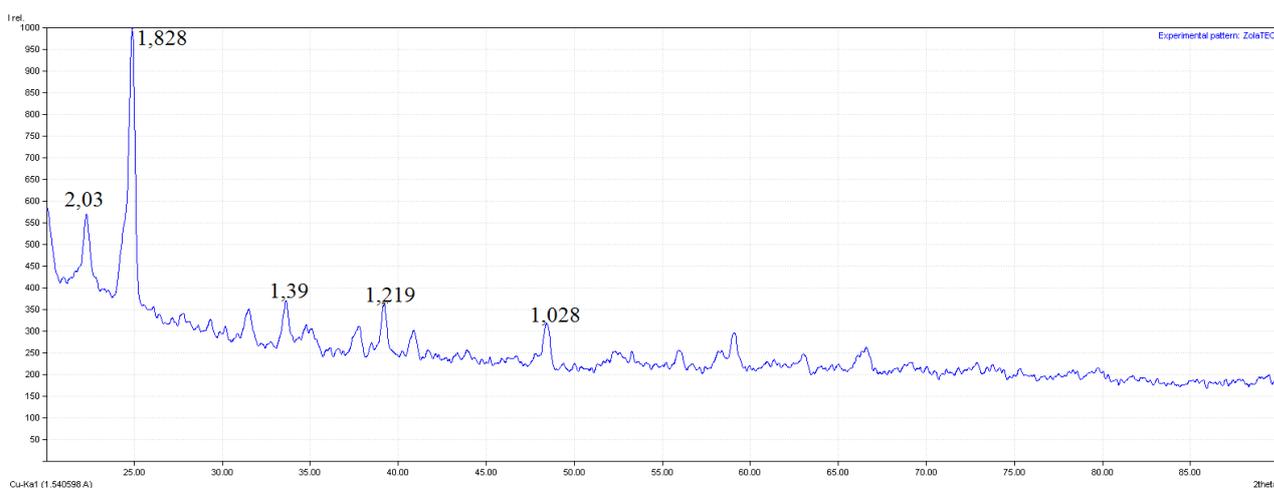


Рис 2.3. Рентгенограмма золы БТЭЦ

Кремнеземистые материалы. В работе использовался мелкий кварцевый песок Ивановского месторождения. Песок испытывали по ГОСТ 8736-93. Модуль крупности равен 1,86; насыпная плотность 1410 кг/м^3 , содержание глинистых и илистых примесей находится в пределах 3,2%, содержание гравия равно 1,75%. Модуль крупности песка немытого карьерного 2,1. Модуль крупности для средних песков колеблется от 1,5 до 2,0; модуль эффективности колеблется в пределах от 0,38 до 0,42 л/кг. Песок Ивановского месторождения относится к средним пескам и частично к крупным (в зависимости от места взятой пробы).

2.1.3 Газообразователь, асбестовое и стекловолокно, суперпластификатор



В качестве газообразователя использована алюминиевая пудра ПАП-2 соответствующая требованиям ГОСТ 5494-95 «Пудра алюминиевая. Технические условия».

Алюминиевая пудра ПАП-2 — это порошок в виде чешуек слоистой структуры. Алюминиевая пудра ПАП-2 изготавливаются из первичного алюминия путем размолла в шаровой мельнице. Все пластинки (чешуйки) ПАП-2 покрыты тонкой оксидной и жировой пленкой. Алюминиевая пудра ПАП-2 представляет собой очень маркое, пыльное и малотоксичное вещество. Пудра ПАП-2 легко мажется, имеет серебристо-серый цвет и не содержит видимые глазом инородные примеси. Лепестки пудры ПАП-2 содержат более 80% частиц до 1,0 мкм.

Для дисперсного армирования применялись- асбест марки А 5-50 и стекловолокно. Диаметр стекловолокна равен 73 мкм.

Хризотил асбест по химическому составу представляет собой водный силикат магния, теоретический состав которого отвечает формуле $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, что соответствует в массовом отношении содержанию в нем MgO — 42,4 %, SiO_2 — 44,50 %, и H_2O — 13,04 %. Как правило, в нем всегда присутствуют примеси в виде FeO и Fe_2O_3 , содержание которых редко превышает 2 %, причем часть FeO хризотила изоморфно замещает MgO , остальное же количество железа связано с механической примесью магнетита, реже хромита. Количество других примесей (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , CaO , NiO , MnO , CuO и щелочи) определяется долями процента. При наличии примесей количество MgO и SiO_2 в хризотиле оказываются обычно пониженными до 40 % и менее, колеблется также и содержание конституционной воды, то повышаясь до 14,5-15,0 %, то падая до 11,5-12,0 %. В чистом виде хризотил обладает низкой электропроводностью, что делает его высококачественным электроизоляционным материалом. К числу важных свойств относятся термические, благодаря которым хризотил обладает высокой теплостойкостью. Кроме того, хризотил нерастворим в воде, химически инертен, на него не действует солнечная радиация, озон, кислород, отсутствуют выделения



вредных газов, паров, излучений. Хризотилевоe волокно легко распушаетсe в воздушной и водной среде. Обработанный (распушённый) хризотил обладает высокой адсорбционной способностью и проявляет активную адгезию к большинству связующих и дисперсных ингредиентов благодаря большой внутренней поверхности пор между волокнами и возникновению прочных топомхимических связей. Асбест марки А 5-50 характеризуется следующими показателями качества: гарантируемый остаток на ситах 1,35 мм - 50%, посев сита 0,4 мм – 10%.

Стекловолокно представляет собой волокна или нити, изготовленные из стекла или его производных, но благодаря сложному процессу производства приобретающее в конечном итоге уникальные свойства, нехарактерные для обычного стекла: высокий уровень прочности, который превосходит прочность легированной стали. Они произведены из магнийалюмосиликатного стекла и стекла, не содержащего щелочь, обладают самыми большими показателями прочности. Устойчивость к термической обработке. Структура эпоксидного стекловолокна сохраняется даже при сильном нагревании, в условиях, когда природные волокна органического происхождения уже полностью разрушаются. Придание дополнительной прочности в составе других материалов. В этом случае стекловолокно играет роль армирующей основы. Толерантность к химически и термически агрессивным средам - кислотам, горячей воде и воздействию пара высокого давления. Лучшими показателями обладают волокна кремнеземного, кварцевого и каолинового происхождения. Звукопоглощающие свойства - шумоизолирующий эффект достигается благодаря оригинальному строению материала, в котором пространство, остающееся между волокнами, заполнено микроскопическими пузырьками воздуха. Теплоизолирующие свойства - небольшая плотность и содержание воздуха среди волокон обеспечивают удержание тепла зимой и отсутствие нагрева летом. Негорючесть и экологичность. Стекловолокно не воспламеняется, не горит и не плавится, что делает его пожаробезопасным



материалом и позволяет избежать токсичных веществ, которые выделяются при горении многих синтетических материалов.

Химический состав зависит от состава исходного сырья. В любом неорганическом стекле основным компонентом является кварцевый песок, поэтому содержание SiO_2 в стеклянных нитях варьируется от 50% до 99% в зависимости от их назначения. Кроме этого компонента в стеклянном волокне присутствуют Al_2O_3 , CaO и некоторые другие соединения. От химического состава зависят физические характеристики стекловолокна и свойства изделий из него. В частности — щелочестойкость, которая определяется содержанием **диоксида циркония** (ZrO_2) в стекле. Чем больше этого компонента, тем более щелочестойким является стекловолокно.

В качестве добавок использованы суперпластификаторы фирмы BASF-Micro air 200, Melment, Glenium.

MICRO AIR 200 - является воздухововлекающей добавкой, специально разработанной для увеличения износостойкости бетонных структур. Добавка обеспечивает получение износостойкого бетона по отношению ко льду и морозу, путем выработки ультрастабильных, маленьких, расположенных близко друг к другу воздушных систем пузырьков в структуре бетона.

Melment L10/33 - суперпластификатор на основе меламина. Значительно уменьшает количество воды, необходимое для бетона, обеспечивает его текучесть и используется для быстрого получения, высокопрочного бетона даже при низких температурах.

GLENIUM® 111 – инновационный суперпластификатор второго поколения на основе поликарбоксилатэфирной смолы. Данная добавка является частью концепта полного контроля характеристик бетонной смеси. Специально создана для производства товарного бетона: особый состав позволяет отсрочить абсорбцию воды в частицы цемента и равномерно распределить их по всему объему смеси.



Таблица 2. 5-Технические характеристики химических добавок

	MICRO AIR 200	Melment L10/33	GLENIUM® 111
Цвет	Светло-коричневый	Прозрачный	Светло-желтый
Консистенция	Жидкая	Жидкая	Жидкая
Плотность	$1,02 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$	$1,19 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$	$1,05 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$
Содержание ионов хлора	<0,01%	<0,01%	<0,01%

2.2. Методики испытаний и исследовательское оборудование

Для приготовления газобетонной смеси использовали скоростные пропеллерные мешалки со скоростью 1500 об/мин. Вначале готовится водно-алюминиевая суспензия. Непрокалённую алюминиевую пудру смешивают с нагретой водой и перемешивают в течение 2-3 мин., после чего водно-алюминиевая суспензия готова для смешивания с ее растворной частью. Далее в газобетономешалку заливается вода в количестве 70% от расчетной, предварительно подогретая, и засыпается при перемешивании необходимое количество наполнителей. По истечении минутного перемешивания к раствору наполнителей добавляют приготовленную ранее водно-алюминиевую суспензию с остатком подогретой воды и перемешивают еще 2 мин, затем добавляют необходимое количество вяжущего, после чего раствор еще перемешивают 1-2 мин.

После перемешивания газобетонная смесь заливается в формочки и течение 0,5-1 часа происходит вспучивание. В течение трех-четырех часовой выдержки срезаются «горбушки», и формы с газобетонной смесью подвергаются тепловлажностной обработке в пропарочных камерах или выдерживают в нормально-влажностных условиях в течение 28-ми суток.

Пропаривание образцов-кубов осуществлялось в лабораторной пропарочной камере по следующему режиму: подъем температуры находился в интервале 1 до 1,5 часов; изотермический прогрев - 4 - 8 ч; спуск температуры - 1,5 - 2 ч. Нормально-влажностное твердение бетона



производилось в течение 28 суток в климатической камере при 90 - 100 % относительной влажности воздуха.

Для сушки образцов после пропаривания использовали сушильный шкаф типа ВШ- 0,035 М. Для взвешивания использовали весы электронные ACS-30.

Водотвердое отношение (В/Т) для газобетона подбирается опытным путем на вискозиметре Суттарда.

Вискозиметр состоит из металлического цилиндра с внутренним диаметром 5 см и высотой 10 см и листового стекла размером сторон 30 см.

На бумагу, подкладываемую под стекло, нанесены концентрические окружности диаметром от 6 до 36 см. Перед испытанием внутренняя поверхность цилиндра и стеклянная пластина протирается влажной тканью. Цилиндр устанавливают в центре стеклянной пластины. Отмеривают необходимое количество воды (ориентировочно 40 – 60 % от веса сухих составляющих) для получения нужной текучести массы. Воду далее выливают в металлическую чашу или цилиндр. Отвешивают 300 – 400 г. сухих материалов и в течение 30 – 40 сек. высыпают в воду с одновременным быстрым перемешиванием вручную или в механическом смесителе в течение 3 – 4 минут. После этого полученную массу выливают в цилиндр и далее ножом выравнивают поверхность массы вровень с краями цилиндра. Затем цилиндр резким движением поднимают вертикально вверх, при этом масса расплывается в лепешку, диаметр которой зависит от консистенции газобетонной массы. За оптимальное В/Т принимается значение, при котором диаметр расплыва массы по литейной технологии составляет 26 – 34 см. для бетонов со средней плотностью от 400 до 700 кг/м³.

Определение средней плотности. Плотность газобетона определяли по ГОСТ 27005-86 и ГОСТ 12730.1-84,

Прочность бетона на сжатие и изгиб определяли по ГОСТ 10180-2012. Свойства газобетона устанавливаются на основании результатов испытаний контрольных образцов-кубов размеров 10x10x10 см и на образцах балочках 40x40x160мм.



Определение предела прочности при сжатии и изгибе газобетона производят на шести образцах-кубах или балочках. Образцы высушивают до постоянной массы, охлаждают, отшлифовывают опорные поверхности и испытывают на гидравлическом прессе. Испытания образцов на сжатие производят в положении, соответствующем работе изделия в конструкции. Сжимающая сила должна быть направлена перпендикулярно заливке бетонной смеси при горизонтальном формовании и параллельно или перпендикулярно – при вертикальной заливке, в зависимости от работы изделия в конструкции.

Давление на образец должно возрастать равномерно со скоростью 2-3 кг/см² в секунду до его разрушения.

Предел прочности газобетона при сжатии (МПа) вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{сж.} = \frac{P}{F}$$

P- разрушающая нагрузка, кг; F- площадь образца, см².

Предел прочности газобетона при изгибе (МПа) вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{изг.} = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

P- разрушающая нагрузка, кг; l- расстояние между опорами, b,h –размеры балки.

Определение водопоглощения образцов из газобетона. Метод основан на определении разности массы образцов до и после насыщения их водой. Высушивание до постоянной массы образцы из газобетона взвешивают и погружают в воду на 3 суток, определяя их массу через каждые сутки.

Водопоглощение образцов по истечении каждых суток $W_{погл}$ в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W_{погл} = \frac{m - m_1}{m_1} 100,$$

где m и m₁ – массы образцов соответственно насыщенного водой и сухого, г.



водопоглощение определяют как среднеарифметическое результаты определения нескольких образцов.

Рентгенофазовый анализ (РФА). Фазовый состав продуктов твердения идентифицировали по результатам рентгенофазового анализа на приборе «Дифрактометр рентгеновский ДРОН-3М». Дифрактомер позволяет проводить съемку и обработку данных при помощи ЭВМ, с использованием пакетов программ, предназначенных для автоматизации процесса съемки, обработки порошковых дифрактограмм и поликристаллических материалов.

Микроструктурные характеристики образцов неавтоклавнога газобетона исследовали на «Растровом электронном микроскопе BS-500» при рабочем увеличении от 100 до 1000 раз.

Теплопроводность определялась на приборе ИТ-МГ4 «Зонд». Метод Принцип работы прибора с цилиндрическим зондом основан на создании нестационарного теплового режима и измерения скорости изменения температуры зонда, помещенного в образец.

Измерения производились за определенный интервал времени с помощью теплового цилиндрического зонда постоянной электрической мощности нагрева по изменению его температуры. Для проведения измерений в контролируемом образце высверливалось отверстие, соответствующее длине и диаметру зонда. Нагрев проводили в течение 6 мин, фиксируя показания температуры (R_i) в момент времени (τ_i) – 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 минут.

Расчетная формула коэффициента теплопроводности имеет вид:

$$\lambda = R_0 [K + \alpha \cdot C \cdot \rho] (\ln(\tau_u/\tau_m) / 1/3 \sum \Delta R_i \cdot 10^3)$$

где R_0 – температура среды испытания в начальный момент времени (условные единицы), определяемая по показаниям прибора; K – удельная мощность нагрева зонда, зависит от начальной температуры, определяется по графику; α – коэффициент теплообмена в зоне контакта, $\text{м}^2/\text{ч}$; C – удельная теплоемкость материала, $\text{кДж}/\text{кг} \text{ } ^\circ\text{C}$; ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$. Продолжительность измерений составили не более 10 мин.



2.3 Методика математического метода планирования эксперимента

В работе использован метод планирования эксперимента, который позволил использовать математический аппарат для оптимизации составов газобетона [140-142].

Метод планирования эксперимента позволяет минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов. Если же по каким-либо причинам число испытаний уже ограничено, то методы дают оценку точности, с которой в этом случае будут получены результаты. Методы учитывают случайный характер рассеяния свойств испытываемых объектов и характеристик используемого оборудования. Они базируются на методах теории вероятности и математической статистики.

Планирование эксперимента включает ряд этапов.

1. Установление цели эксперимента (определение характеристик, свойств и т. п.) и его вида (определяющие, контрольные, сравнительные, исследовательские).

2. Уточнение условий проведения эксперимента (имеющееся или доступное оборудование, сроки работ, финансовые ресурсы, численность и кадровый состав работников и т. п.). Выбор вида испытаний (нормальные, ускоренные, сокращенные в условиях лаборатории, на стенде, полигонные, натурные или эксплуатационные).

3. Выявление и выбор входных и выходных параметров на основе сбора и анализа предварительной информации. Входные параметры (факторы) могут быть детерминированными, то есть регистрируемыми и управляемыми (зависимыми от наблюдателя), и случайными, то есть регистрируемыми, но неуправляемыми. Наряду с ними на состояние исследуемого объекта могут оказывать влияние нерегистрируемые и неуправляемые параметры, которые вносят систематическую или случайную погрешность в результаты измерений.



Это - ошибки измерительного оборудования, изменение свойств исследуемого объекта в период эксперимента, например, из-за старения материала или его износа, воздействие персонала и т. д.

4. Установление потребной точности результатов измерений (выходных параметров), области возможного изменения входных параметров, уточнение видов воздействий. Выбирается вид образцов или исследуемых объектов, учитывая степень их соответствия реальному изделию по состоянию, устройству, форме, размерам и другим характеристикам.

Точность экспериментальных данных также существенно зависит от объёма (числа) испытаний - чем испытаний больше, тем (при тех же условиях) выше достоверность результатов.

5. Составление плана и проведение эксперимента — количество и порядок испытаний, способ сбора, хранения и документирования данных.

Порядок проведения испытаний важен, если входные параметры (факторы) при исследовании одного и того же объекта в течение одного опыта принимают разные значения.

6. Статистическая обработка результатов эксперимента, построение математической модели поведения исследуемых характеристик.

7. Объяснение полученных результатов и формулирование рекомендаций по их использованию, уточнению методики проведения эксперимента.

Экспериментально-статистическое моделирование рецептуры и свойств фиброгазобетона проводилось по результатам трехфакторного эксперимента по плану ВЗ, где варьировались составляющие компоненты: цемент - X1; зола - X2; суперпластификатор - X3. Критериями оптимизации были выбраны следующие показатели свойств: плотность – γ , г/см³ (Y1); прочность на сжатие – Rсж (Y2); прочность на изгиб – Rизг (Y3), и водопоглощение W - (Y4). Количество проведенных опытов составляет 15.



Заключение по главе 2

1. Произведен подбор сырьевых материалов для проведения исследований, изучен их химический, минералогический составы, а также физико-механические и технологические свойства.
2. Проведен выбор методик исследования физико-механических свойств неавтоклавного газобетона.
3. Определена нормативная база, в соответствии с которой проводились исследования используемых сырьевых компонентов и неавтоклавного газобетона.



ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. ПОДБОР СОСТАВОВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

3.1. Подбор составов газобетона, с использованием местных сырьевых материалов

Экспериментальные исследования были направлены на получение состава неавтоклавного газобетона из сырьевых материалов Кыргызстана: песка Ивановского месторождения, золы Бишкекской ТЭЦ, Кантского портландцемента М400, алюминиевой пудры ПАП-2 и Курментинской извести. В качестве добавок использованы добавки фирмы BASF: Micro Air 200, суперпластификатор Melment L10/33, Glenium 111.

Процесс формирования ячеистой макроструктуры газобетона является важнейшим этапом его производства. Характер пористости определяет в той или иной степени большинство свойств бетона. Создание крупнопористой ячеистой структуры неавтоклавного газобетона происходит на стадии поризации растворной смеси и последующего упрочнения вспученного газобетонного массива. Порообразование вызывается алюминиевой пудрой ПАП-1. В экспериментальных составах газобетона с содержанием извести в результате взаимодействия газообразователя (алюминия) с известью выделяется водород, который вспучивает массу и делает ее пористой. Реакция газообразования протекает таким образом:



В экспериментальных составах газобетона с каустической содой процесс газообразования происходит в результате следующей химической реакции:



В результате смешивания компонентов газобетона между собой начинаются следующие химические превращения: как было сказано выше, алюминиевая пудра начинает реагировать с известью и каустической содой; клинкеры портландцемента начинают взаимодействовать с водой, образуются низкоосновные гидросиликаты кальция различного состава.



Газобетонная смесь сначала теряет подвижность, схватывается, а затем набирает прочность.

После окончания процесса перемешивания и заполнения формы растворная смесь содержит минимальное количество газа. По истечению некоторого количества времени (1-5 минут) начинается выделение водорода. В результате порообразования смесь в форме «поднимается» - начинаются процессы структурообразования. Процесс поризации можно описать следующим образом. Взаимодействие гидрата окиси кальция с алюминием приводит к образованию мельчайших газовых пузырьков, которые в дальнейшем увеличиваются в диаметре за счет повышающегося давления внутри пузыря. Процесс образования водорода продолжается. Увеличение объема пузыря продолжается до тех пор, пока давление в поре не уравновесится давлением, препятствующему его росту [138].

Поисковые эксперименты проводились на основе расчета состава газобетона, с учетом требуемых характеристик газобетона и свойств используемых материалов приведен ниже.

Подобрать газобетон марки 600 из местных сырьевых материалов. Газообразователь – алюминиевая пудра ПАП-1.

Принимаем соотношение (по весу) $1 \div 1$, тогда расход материала 1 м^3 бетона составит:

$$B = 600 \cdot 0,85 / 1 + 1 = 255 \text{ кг}$$

$$З = 255 \cdot 1 = 255 \text{ кг}$$

Допускаем, что расплыв массы по вискозиметру Суттарда равна 20 – 21 см, при $B/T = 0,48$, тогда объем пор 1 м^3 газобетона составит:

$$V_n = 1000 - 600 / 1,85 - (255 + 255) \cdot 0,85 \cdot 0,48 = 467,62$$

где, 1,85 – плотность цементного камня композиции

Теоретический расход алюминиевой пудры

$$A_m = 467,62 / 1,42 = 329,3 \text{ г}$$

Действительный расход газообразователя

$$A_0 = 1,2 \cdot 329,3 = 395,16 \text{ г}$$



Количество расхода воды

$$B = (B + 3) \cdot B / T = (255 + 255) \cdot 0,48 = 244,8$$

Смесь для газобетона изготавливалась в лабораторных условиях. Добавки вводились с водой затворения в процентном отношении от содержания цемента. Алюминиевую пудру затворяли в воде 50°C. Готовую бетонную смесь заливали в формочки размером 10×10×10 см. и 40×40×160 мм. Испытание образцов производили после 28 суток формования.

В таблице 3.1 показаны физико-механические свойства ячеистого бетона исследованных композиций.

Таблица 3.1- Составы композиций ячеистого газобетона

№ п/п	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе									γ, кг/м ³	Rсж, МПа
	Алюминиевая пудра	В/Т	Ц	Зола	Песок	Известь	Mel-ment,%	Micro Air (мл)	Glenium		
1	0,001	0,7	0,5	0,5	-	-	-	-	0,8	963	0,87
2	0,001	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	0,8	1027	1,53
3	0,001	0,3	0,5	-	0,5	-	2	-	-	1161	2,96
4	0,001	0,3	0,5	-	0,45	5	0,8	-	-	998	0,68
5	0,001	0,3	0,5	-	0,45	5	1,5	-	-	1134	1,14
6	0,001	0,3	0,5	-	0,45	5	2	-	-	1104	1,14
7	0,001	0,45	0,5	0,225	0,225	5	0,8	-	-	867	0,64
8	0,001	0,7	0,5	0,225	0,225	5	0,8	-	-	616	0,29
9	0,001	0,45	0,5	0,25	0,25	-	0,8	-	-	873	0,69
10	0,001	0,45	0,5	0,25	0,25	-	0,8	0,2	-	1178	1,95
11	0,001	0,5	0,5	0,25	0,25	-	0,8	0,2	-	1026	1,24
12	0,0008	0,49	0,5	-	0,5	-	-	-	-	1390	0,7
13	0,0008	0,36	0,5	0,5	-	-	-	-	-	620	0,4

В результате поисковых экспериментов нами были получены газобетоны с показателями плотности в пределах от 616 до 1390 кг/м³. Наименьшая плотность образцов получена в пределах до 616 кг/м³ в 8 составе (табл.3.1). Это обусловлено активностью золы и ее способностью при смешивании в тонкоизмельченном виде с воздушной известью при затворении водой затвердевать в различных условиях. Как видно из таблицы 3.1 образцы без добавки извести имеют более высокие показатели плотности. Экспериментальные результаты показали, что введение различных добавок влияет на изменение физико-механических показателей и свойств газобетона.

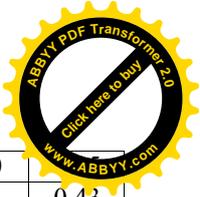


Составы без добавок имеют низкие показатели прочности на сжатие (состав 13). Применение добавки Melment приводит в 3 составе к повышению прочности до 2,96 МПа. Эффект взаимодействия добавок Melment + Micro Air дает прирост прочност до 1,95 МПа в 10 составе, с одновременным увеличением плотности равной 1178 кг/м³. Применение добавки Glenium тоже дает положительные результаты. Она позволяет уменьшить количество воды, так как Glenium является высокоэффективной водоредуцирующей пластифицирующей добавкой, бетонная смесь становится более пластичной.

В таблице 3.2 показаны результаты дальнейшего подбора состава газобетона. В этих составах кроме использованных добавок применяем кальцинированную соду Na₂CO₃, полуводный гипс, жидкое стекло и пенообразователь.

Таблица 3.2-Составы композиций ячеистого газобетона

№	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе												γ, кг/м ³	Rсж, МПа
	Алюминиевая пудра	Пен-оль	Ц	Зола	Песок	Известь	Сода	Glenium	Melment, %	ЖидСтекло %	Гипс, %	В/Т		
1	0,16	1	0,5	0.493	0.246	-	-	-	-	-	-	0,55	888	0,91
	0,16	0,1	0,5	0.249	0.249	-	-	-	-	-	-	0,55	862	1,06
	0,001	1	0,5	0.247	0.247	-	-	-	-	-	-	0,55	1021	1,97
	0,001	0,1	0,5	0.249	0.249	-	-	-	-	-	-	0,55	1100	2,63
	0,16	0,55	0,5	0.248	0.248	-	-	-	-	-	-	0,55	790	0,9
	0,001	0,55	0,5	0.248	0.248	-	-	-	-	-	-	0,55	1063	2
	0,08	1	0,5	0.247	0.247	-	-	-	-	-	-	0,55	981	2,03
	0,08	0,1	0,5	0.249	0.249	-	-	-	-	-	-	0,55	913	1.2
	0,08	0,55	0,5	0.248	0.248	-	-	-	-	-	-	0,55	919	1,35
2	0,08	-	0.3	0.244	0.244	0.20	0,01	-	-	-	-	0.95	530	0.16
	0,08	-	0.3	0.245	0.245	0.20	0.0075	-	-	-	-	0.95	751	0.29
	0,08	-	0.475	0.244	0.244	0.025	0,01	-	-	-	-	0.7	617	0.37
	0,08	-	0.475	0.245	0.245	0.025	0.0075	-	-	-	-	0.65	600	0.26
	0,08	-	0.3	0.245	0.245	0.20	0.0087	-	-	-	-	0.7	648	0.51
	0,08	-	0.475	0.245	0.245	0.025	0.0087	-	-	-	-	0.65	570	0.31
	0,08	-	0.387	0.244	0.244	0.112	0,01	-	-	-	-	0.7	551	0.2
	0,08	-	0.387	0.245	0.245	0.112	0.0075	-	-	-	-	0.7	565	0.24
	0,08	-	0.387	0.245	0.245	0.112	0.0087	-	-	-	-	0.7	648	0.31
3	0,08	-	0.3	0.24	0.24	0.20	0.0075	-	2	-	-	0.7	695	0.35
	0,08	-	0.3	0.243	0.243	0.20	0.0075	-	0.8	-	-	0.7	686	0.29
	0,08	-	0.475	0.24	0.24	0.025	0.0075	-	2	-	-	0.55	762	0.69
	0,08	-	0.475	0.243	0.243	0.025	0.0075	-	0.8	-	-	0.55	625	0.37
	0,08	-	0.3	0.242	0.242	0.20	0.0075	-	1.4	-	-	0.7	722	0.43
	0,08	-	0.475	0.242	0.242	0.025	0.0075	-	1.4	-	-	0.55	617	0.49
	0,08	-	0.387	0.24	0.24	0.112	0.0075	-	2	-	-	0.6	778	0.64
	0,08	-	0.387	0.243	0.243	0.112	0.0075	-	0.8	-	-	0.65	590	0.22



	0.08	-	0.387	0.242	0.242	0.112	0.0075	-	1.4	-	-	0.65	590	
4	0.08	-	0.6	0.179	0.179	0.05	0.0075	-	-	3	-	0.65	553	0,43
	0.08	-	0.6	0.179	0.179	0.05	0.0075	0,8	-	3	-	0.65	539	0,6
	0.08	-	0.6	0.129	0.129	0.05	0.0075	-	0,8	3	-	0.65	540	0,29
	0.08	-	0.6	0.129	0.129	0.05	0.0075	0,8	-	-	-	0.55	731	1,29
	0.08	-	0.6	0.149	0.149	0.05	0.0075	-	0,8	-	-	0.65	467	0,3
	0.08	-	0.6	0.149	0.149	0.05	0.0075	-	-	2	2	0.65	675	1,71
	0.08	-	0.6	0.104	0.104	0.05	0.0075	-	-	2	2	0.65	537	0,62

Первая серия экспериментов была направлена на получение ячеистого бетона совмещением двух способов поризации - пеногазобетона. Плотность полученных образцов находится в пределах от $\gamma=800$ до $\gamma=1100$ кг/м³. Максимальная прочность на сжатие достигает 2,63 МПа в составе №4 при максимальной плотности. Так как при совмещении двух способов поризации показатели плотности оказались высокими, дальнейшие эксперименты были направлены на ее уменьшение. В качестве порообразователя используется алюминиевая пудра. В качестве добавок использованы известь и кальцинированная сода Na₂CO₃.

В этой серии экспериментов было достигнуто уменьшение плотности до $\gamma=530$ кг/м³ за счет вышеуказанных добавок. Известь и кальцинированная сода улучшают вспучившие теста за счет химической реакции при которой происходит выделение газа. Показатели прочности являются низкими, самый максимальный показатель прочности на сжатие равен 0,51МПа в составе с добавкой извести 20 % и соды 0,87 %. Плотность образца равна 648 кг/м³. Для увеличения прочности на сжатие в последующих составах используем суперпластификатор Melment. Самым лучшим показателем в этом эксперименте является состав № 3, в котором плотность равна 672 кг/м³, а прочность на сжатие достигает значений 0,69 МПа.

В 1-3 серии экспериментов образцы сушились в обычных условиях 28 суток, и как видно из таблицы 3.2 имели не очень высокие показатели прочности. В четвертой серии экспериментов для увеличения прочности также используем суперпластификаторы- Melment, Glenium200, полуводный гипс и жидкое натриевое стекло. С целью увеличения прочности был применен другой вид твердения - тепловлажностная обработка. Образцы пропаривались при 95С⁰



по режиму: достижение необходимой температуры-2 часа; пропаривание образцов - 3 часа; спуск температуры - 2 часа. Результаты показателей прочности пропаренных образцов оказались более высокими. Самым высоким показателем прочности обладает состав с комплексной добавкой полуводного гипса 2% и жидкого натриевого стекла 2%. При плотности равной 675 кг/м^3 образцы показали прочность на сжатие равную $1,71 \text{ МПа}$. Это обусловлено быстрым схватыванием и твердением полуводного гипса и взаимодействием жидкого стекла с гидроксидом кальция с дополнительным образованием гидросиликатов кальция. В этой серии экспериментов также хороший результат показал состав №4 с суперпластификатором Glenium 111. В этом составе $R_{сж}=1,29 \text{ МПа}$ при плотности равной 731 кг/м^3 .

Полученные результаты показали, что введение различных добавок влияет на изменение физико-механических показателей свойств газобетона. Составы без добавок имеют высокую плотность и низкие прочностные показатели [144-146].

Это были пробные эксперименты по подбору состава неавтоклавного ячеистого бетона из местных материалов Кыргызстана. Таким образом, с применением в качестве наполнителей песка и золы были получены составы неавтоклавного газобетона, представленные в таблицах 3.1. и 3.2. Дальнейшие эксперименты по подбору составов неавтоклавного газобетона были продолжены с применением в качестве наполнителя порошкообразных отходов от производства облицовочных плит из известняка-ракушечника.

В таблице 3.3 показаны физико-механические свойства ячеистого бетона исследованных композиций.

Экспериментальные исследования по подбору составов газобетона с известняком-ракушечником показали, что плотность образцов колеблется в пределах от $\gamma=510$ до $\gamma=995 \text{ кг/м}^3$ (табл. 3.3). Показатели плотности без добавки гипса (состав 5, 6 и 9) сравнительно оказались низкими, так мы достигаем уменьшения плотности в пределах до $\gamma=510 \text{ кг/м}^3$ в 6 составе. Как видно из таблицы 3.3 показатели прочности на сжатие газобетона с известняком



ракушечником оказались более высокими по сравнению с другими наполнителями (песком и золой).

Таблица 3.3-Составы композиций ячеистого газобетона

№ п/п	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе											γ , г/см ³	R _{сж} , МПа
	Алюминиевая пудра	В/Т	Ц	Известь	Сода	Melment, %	гипс	Жидкое стекло	известняк	песок	зола		
1	0,08	0,65	0,55	-	0,75	-	0,05	0,02	0,372	-	-	0,989	1,2
2	0,08	0,4	0,55	-	0,75	0,8	0,05	-	0,392	-	-	0,995	2,9
3	0,08	0,65	0,45	0,1	0,75	-	0,05	0,02	0,372	-	-	0,960	0,4
4	0,08	0,4	0,45	0,1	0,75	0,8	0,05	-	0,392	-	-	0,915	1,4
5	0,08	0,38	0,5	-	0,75	0,8	-	-	0,492	-	-	0,887	2,1
6	0,08	0,6	0,6	-	0,75	0,8	-	-	0,4	-	-	0,510	0,78
7	0,08	0,6	0,5	0,15	0,75	0,8	0,04	-	-	0,31	-	0,751	1,2
8	0,08	0,65	0,45	0,1	0,75	-	0,05	0,02	-	0,18	0,181	0,631	0,7
9	0,08	0,6	0,6	-	0,75	-	-	-	0,392	-	-	0,578	0,73

При сочетании добавок Melment и гипса в составе 2 образцы имеют самый высокий показатель прочности равный 2,9 МПа, при $\gamma = 995 \text{ кг/м}^3$. Добавка Melment является пластификатором и хорошо влияет на реологические свойства бетонных смесей, что при определенном сочетании приводит к увеличению прочности. В 5 составе с добавкой Melment, при плотности равной 887 кг/м^3 , показатель прочности на сжатие достигает пределов значений 2,1 МПа. Содержание 91% CaCO₃ в составе известняка-ракушечника повышает прочность на сжатие цементных композиций. Это обусловлено их способностью сцепляться с продуктами гидратации портландцемента [147].

Таким образом, можно сделать вывод, что известняк-ракушечник является эффективным наполнителем для неавтоклавного газобетона. В дальнейшем можно совершенствовать технологию производства неавтоклавного газобетона с известняком-ракушечником.

Как показали предыдущие эксперименты известняк-ракушечник является эффективным сырьем для газобетона. В дальнейших опытах мы решили его использовать в сочетании с золой Бишкекской ТЭЦ. Зола-унос обладает более высоким значением модуля упругости, которой соответствует высокое



значение твердости вещества. Основными структурными элементами бетона являются кварц, муллит, стекло.

В таблице 3.4 представлены физико-механические свойства неавтоклавного газобетона с известняком-ракушечником и золой.

Таблица 3.4-Физико-механические свойства неавтоклавного газобетона с известняком-ракушечником и золой

№	Цемент	Зола	Мелмент	Алюминий	сода	Ракушечник	Фибры	Вода	γ , кг/м ³	Рсж (Мпа)
1	50	10	0,8	0,08	0,15	38,8	0,18	0,53	536	0,53
2	50	10	0,8	0,08	0,15	38,8	0,18	0,53	520	0,53
3	50	10	0,8	0,08	0,15	38,8	0,18	0,53	525	0,6
4	50	20	0,8	0,08	0,15	28,8	0,18	0,53	557	0,7
5	50	20	0,8	0,08	0,15	28,8	0,18	0,53	551	0,91
6	50	20	0,8	0,08	0,15	28,8	0,18	0,53	575	0,98
7	50	30	0,8	0,08	0,15	18,8	0,18	0,53	639	0,85
8	50	30	0,8	0,08	0,15	18,8	0,18	0,53	643	0,93
9	50	30	0,8	0,08	0,15	18,8	0,18	0,53	642	0,79

В результате экспериментов с золой и известняком-ракушечником были получены газобетоны с плотностью в пределах от $\gamma=520$ кг/м³ до $\gamma=643$ кг/м³. Образцы с 10% содержанием золы имеют минимальные значения плотности от 520 - 536 кг/м³, с увеличением содержания золы показатели плотности увеличиваются.

Если сравнить эксперименты с предыдущими сочетаниями наполнителей в последних составах удалось получить низкие показатели плотности образцов с более высокими показателями прочности (табл. 3.4).

Таким образом, эксперименты по подбору состава неавтоклавного газобетона показали лучшие результаты с использованием в качестве наполнителя золы Бишкекской ТЭЦ, порошкообразных отходов от производства облицовочных плит из известняка ракушечника. Зола обладает химической активностью и в присутствии воды взаимодействует с гидроксидом кальция, образуя гидратацию портландцемента. При этом образуются гидросиликаты кальция различной основности, которые в течении времени упрочняют цементный камень. Применяемый в качестве наполнителя



известняк ракушечник обладает пористой структурой, а также обладает химической активностью за счет содержания кальцита. В тонкоизмельченном виде известняк-ракушечник способствует созданию центров образования кристаллических новообразований при протекании физико-химических процессов, происходящих при гидратации портландцемента. Образование кристаллических соединений способствующих упрочнению структуры газобетона будет зависеть в каждом конкретном случае от многих факторов таких как: от сочетания компонентов входящих в состав газобетонной смеси, от химического состава применяемых вяжущего вещества и наполнителей, от технологических факторов приготовления газобетонной смеси и других факторов.

Известняк-ракушечник и зола являются эффективными наполнителями для газобетона. Зола не требует энергоемкого процесса помола, известняк-ракушечник высоко размалываемое сырье по сравнению с песком [148].

3.2. Оптимизация составов методом экспериментально-статистического моделирования

Дальнейшие исследования по получению неавтоклавногазобетона из природного и техногенного сырья Кыргызстана направлены на оптимизацию состава. То есть после определения сырьевых компонентов необходимо установить их количество для обеспечения соответствующих ГОСТу физико-механических характеристик материала. Для этого используем экспериментально-статистическое моделирование.

Экспериментально-статистическое (ЭС) моделирование рецептуры и свойств фиброгазобетона проводилось по результатам трехфакторного эксперимента по плану B_3 , где варьировались составляющие компоненты: цемент - X_1 - (50 ± 10) %; зола X_2 - (20 ± 10) %; суперпластификатор Melment X_3 - $(0,8 \pm 0,3)$. Остальное: алюминиевая пудра, каустическая сода, известняк-ракушечник, фибра из стекловолокна, вода (табл.3.5 и 3.6).



Таблица 3.5-Уровни варьирования факторов

Факторы Уровни	Цемент, % X ₁	Зола, % X ₂	Melment, % X ₃
-1	40	10	0,5
0	50	20	0,8
+1	60	30	1,1

Таблица 3.6-План и выходные значения эксперимента по В₃

№	План эксперимент а			В натуральных переменных			Результаты			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ - Цемент, %, %	X ₂ - Зола, %, %	X ₃ - Melment , %	Y ₁ - γ, г/см ³	Y ₂ -Rсж (МПа)	Y ₃ -Rизг (МПа)	Y ₄ -W, %
1	+	+	+	60	30	1,1	0,628	0,79	0,21	61,7
2	+	+	-	60	30	0,5	0,679	1,42	0,26	43,9
3	+	-	+	60	10	1,1	0,635	1,03	0,24	45,4
4	-	+	+	40	30	1,1	0,625	0,92	0,27	63,1
5	-	-	-	40	10	0,5	0,610	0,53	0,15	65,9
6	-	-	+	40	10	1,1	0,572	0,34	0,11	74,5
7	-	+	-	40	30	0,5	0,651	0,56	0,17	68,1
8	+	-	-	60	10	0,5	0,569	0,66	0,17	72,2
9	+	0	0	60	20	0,8	0,578	0,69	0,23	69,9
10	-	0	0	40	20	0,8	0,601	0,41	0,13	68,7
11	0	+	0	50	30	0,8	0,610	0,65	0,27	75,7
12	0	-	0	50	10	0,8	0,544	0,55	0,16	80,2
13	0	0	+	50	20	1,1	0,596	0,55	0,15	78,5
14	0	0	-	50	20	0,5	0,600	0,58	0,15	68,5
15	0	0	0	50	20	0,8	0,569	0,86	0,21	71,7

Критериями оптимизации были выбраны следующие показатели свойств: плотность – γ , г/см³ (Y₁); прочность на сжатие – R_{сж} (Y₂) ≥ 1,0 МПа; прочность на изгиб – R_{изг} (Y₃), МПа и водопоглощение W - (Y₄) → min.

В таблице 3.6 представлен план и выходные значения четырех основных свойств: плотности, водопоглощения, прочности на сжатие и изгиб.

По результатам эксперимента были рассчитаны коэффициенты математических моделей плотности, водопоглощения, прочности на сжатие и изгиб. С учетом ошибок эксперимента и расчета коэффициентов моделей они имеют вид (1, 2, 3, 4) ρ плотность, г/см³

$$(Y_1) - \rho = 0,573 - 0,008 x_1 + 0,006 x_1^2 + 0,003 x_1 x_2 + 0,011 x_1 x_3 + 0,032 x_2 + 0,006 x_2^2 - 0,006 x_2 x_3 \quad (1)$$



$$- 0,008 x_3 + 0,029 x_3^2$$

Анализ ЭС модели (1) показал, что фактор x_2 , в нашем случае содержание золы повышает плотность газобетона, линейный эффект при этом составляет $\epsilon_2 = 0,032$.

Линейные эффекты при x_1 и x_3 имеют отрицательное значение ($\epsilon_1 = - 0,008$; $\epsilon_3 = - 0,008$), что указывает на снижение показателя плотности газобетона в равной степени. Регулирование показателя плотности газобетона возможно снижением или повышением одного из факторов x_1 или x_3 , эффект их взаимодействия имеет наибольшее значение $\epsilon_{13} = 0,011$.

На рис. 3.1 показано как изменяется плотность газобетона при фиксированном количестве цемента ($X_1 = 40; 50; 60$ %) и при одновременном изменении содержания золы X_2 и Melment X_3 .

Так при наличии в составе цемента $X_1 = 40$ % и разных уровнях содержания золы и Melment плотность изменяется в пределах $0,56 \dots 0,64$ г/см³. Как видно из рис. 3.1 (нижняя номограмма) плотность газобетона повышается по мере увеличения содержания золы. Максимальная плотность $\gamma \geq 0,64$ г/см³ достигается при максимальном количестве золы $X_2 = 30$ % и минимальном количестве Melment $X_3 = 0,5 \dots 0,6$ %. Область минимальных значений плотности $\gamma \leq 0,58$ г/см³ находится при минимальном содержании золы $X_2 = 40 \dots 45$ % и оптимальном количестве Melment $X_3 = 0,6 \dots 1,0$ %.

При постоянном количестве цемента $X_1 = 50$ % и разных уровнях содержания золы и Melment плотность изменяется в пределах $0,54 \dots 0,64$ г/см³. Опять же повышение плотности газобетона наблюдается при увеличении количества золы X_2 от 10 до 30 %. Минимальная плотность $\gamma \leq 0,54$ г/см³ обеспечивается при минимальном количестве золы 10% и Melment в пределах $0,65 \dots 1,0$ %.

Наличие в рецептуре цемента $X_1 = 60$ % показатель плотности газобетона не изменяет и находится в пределах $\gamma = 0,56 \dots 0,64$ г/см³.

Выходной параметр имеет следующий вид (Y_1) – $\rho = f(x_2, x_3)$ при изменении количества цемента ($x_1 = -1; 0; +1$).

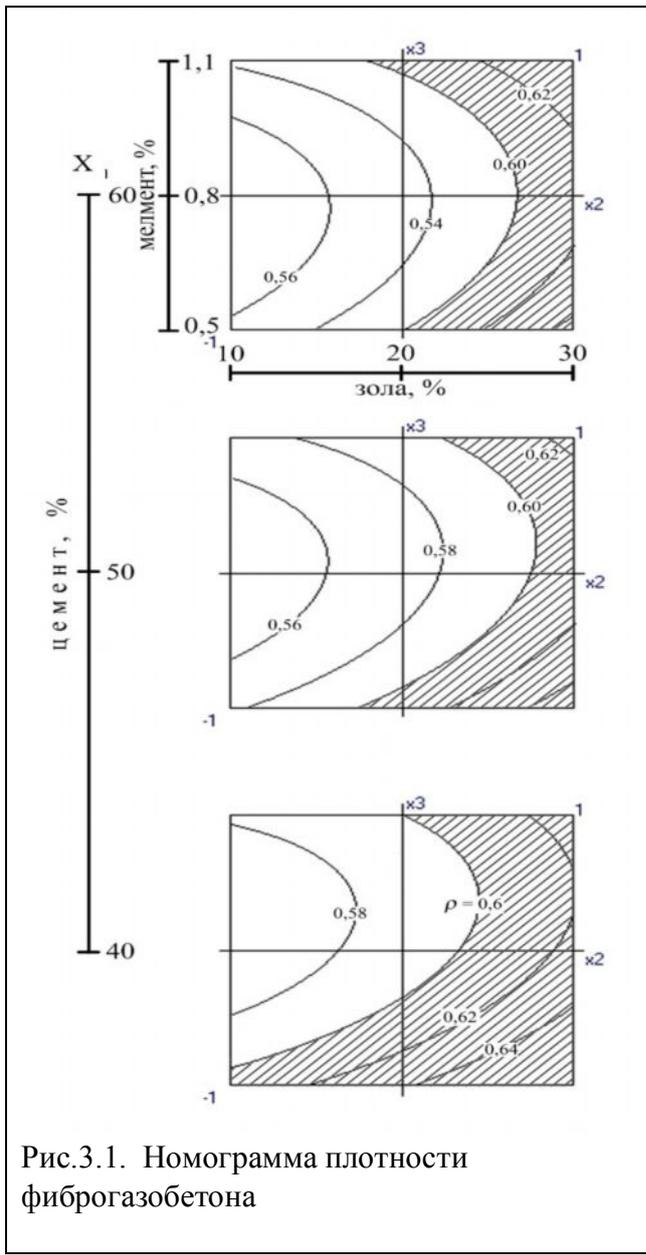


Рис.3.1. Номограмма плотности фиброгазобетона

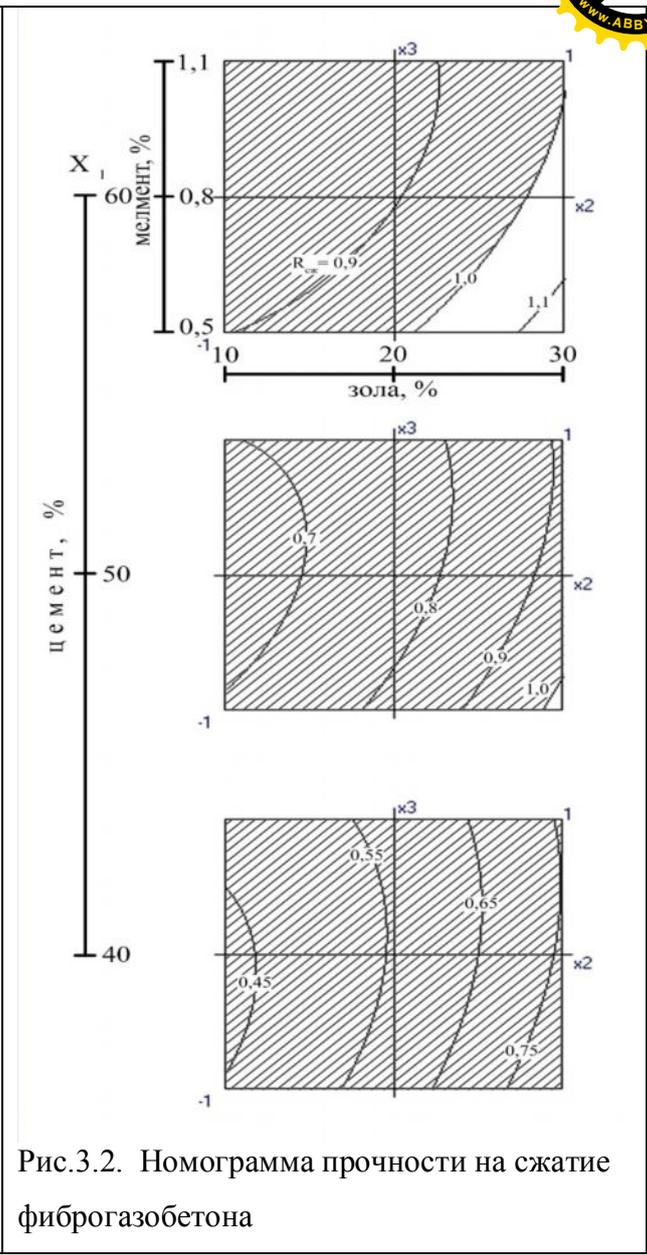


Рис.3.2. Номограмма прочности на сжатие фиброгазобетона

Уравнение прочности на сжатие (МПа) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 (Y_2) - R_{сж} = & 0,761 + 0,169 x_1 - 0,034 x_1^2 - 0,031 x_1x_2 - 0,021 x_1x_3 \\
 & + 0,134 x_2 + 0,041 x_2^2 - 0,026 x_2x_3 \\
 & - 0,033 x_3 + 0,036 x_3^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

Уравнение прочности при изгибе (МПа) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 (Y_1) - R_{изг.} = & 0,410 + 0,039 x_1 + 0,015 x_1^2 - 0,064 x_1x_2 - 0,026 x_1x_3 \\
 & + 0,118 x_2 + 0,110 x_2^2 + 0,034 x_2x_3 \\
 & + 0,019 x_3 - 0,035 x_3^2
 \end{aligned} \tag{3}$$

По экспериментально-статистическим моделям прочностных показателей газобетона (2, 3) можно отметить положительное влияние факторов x_1 и x_2 , что



видно по линейным эффектам: прочность при сжатии ($\epsilon_1 = +0,169$; $\epsilon_2 = -0,1$); прочность на изгиб ($\epsilon_1 = +0,039$; $\epsilon_2 = 0,118$).

Наиболее наглядно изменение прочности газобетона видно на рис. 3.2 и рис.3. 3.

Так при минимальном количестве цемента $X_1 = 40\%$ и золы 10% (нижняя номограмма) $R_{сж} = 0,45$ МПа и с увеличением количества золы до 30% прочность растет до $R_{сж} = 0,75$ МПа. В данном случае требования по критерию оптимизации $R_{сж} \geq 1,0$ МПа не удовлетворяются (заштрихованная область).

При постоянном количестве цемента $X_1 = 50\%$ требования по критерию оптимизации $R_{сж} \geq 1,0$ МПа для газобетона в большей степени не выполняются (заштрихованное поле). Только при максимальном содержании золы 30% и минимальном количестве Melment $0,5\%$ прочность составляет $R_{сж} = 1,0$ МПа. Для верхнего уровня золы $X_1 = 60\%$ область, удовлетворяющая требованию $R_{сж} \geq 1,0$ МПа более расширена рис. 3.2 (незаштрихованное поле) и количество золы должно быть в пределах $22...30\%$ и Melment $0,5...0,8\%$.

На рис. 3.3 можно пронаблюдать какое значение $R_{изг.}$ составляет в искомой области. Для области, где $R_{сж} \geq 1,0$ МПа прочность на изгиб будет иметь значение $R_{изг.} = 0,5...0,55$ МПа.

Зависимости имеют следующий вид:

$$(Y_2) - R_{сж.} = f(x_2, x_3) \text{ при изменении количества цемента } (x_1 = -1; 0; +1).$$

$$(Y_3) - R_{изг.} = f(x_2, x_3) \text{ при изменении количества цемента } (x_1 = -1; 0; +1)$$

По экспериментально-статистической модели (4) можно сделать предварительные выводы. Так по линейным эффектам факторов x_1, x_2, x_3 ($\epsilon_1 = -4,22$; $\epsilon_2 = -2,14$; $\epsilon_3 = -5,29$) можно отметить, что все три варьируемых фактора цемент, зола и мелмент снижают показатель водопоглощения.

Уравнение показателя водопоглощения имеет следующий вид (%):

$$(Y_4) W = 74,26 - 4,22 x_1 - 8,04 x_1^2 - 0,94 x_1 x_2 - 1,49 x_1 x_3 - 2,14 x_2 - 0,84 x_2^2 + 4,69 x_2 x_3 - 5,29 x_3 - 0,035 x_3^2 \quad (4)$$

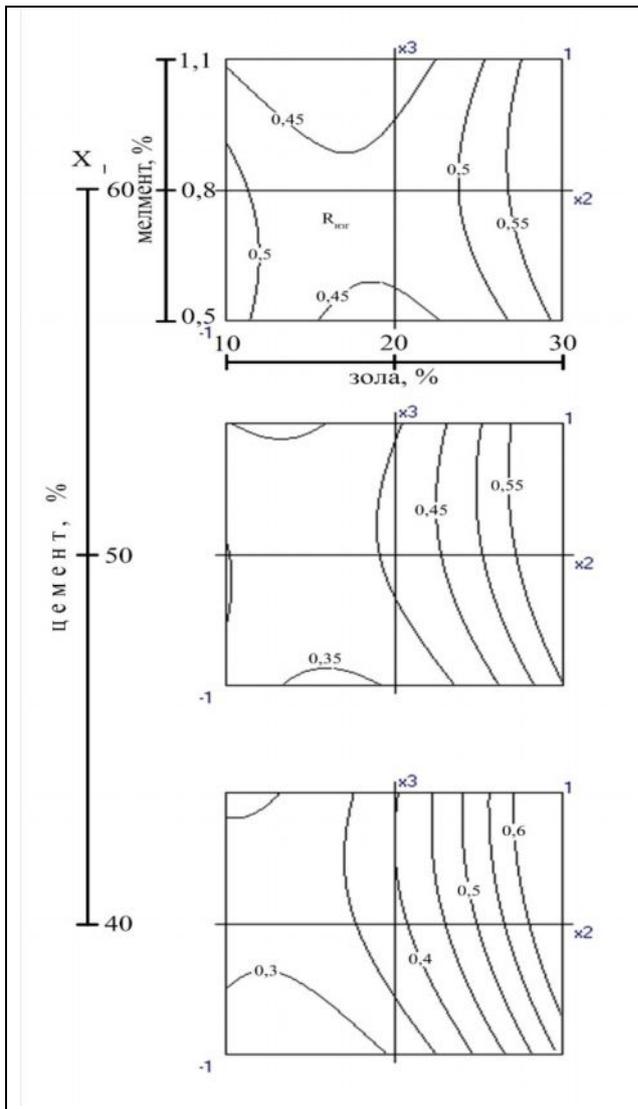


Рис.3.3. Номограмма прочности на изгиб фиброгазобетона

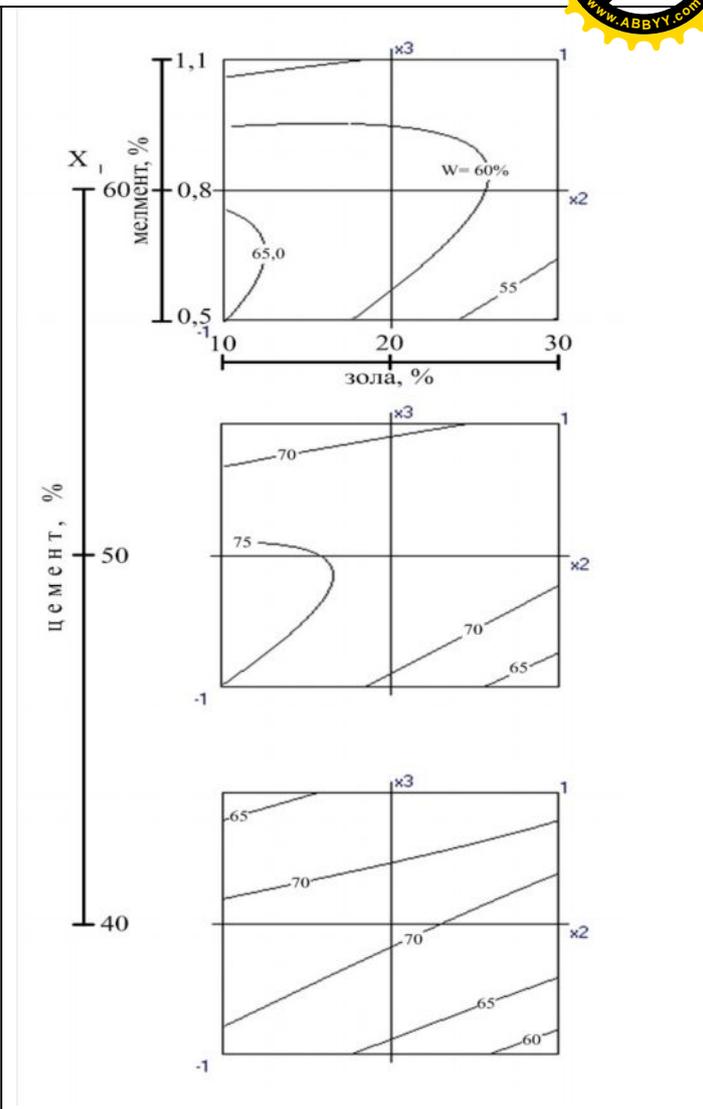


Рис.3.4. Номограмма водопоглощения фиброгазобетона

Для дальнейшего снижения водопоглощения необходимо, чтобы один из факторов x_2 или x_3 должен находиться на нижнем уровне ($\epsilon_{23} = + 4,69$). Квадратичные эффекты трех факторов указывают на наличие оптимальной зоны факторного пространства, где показатель водопоглощения имеет постоянное значение ($\epsilon_{11} = - 8,04$; $\epsilon_{22} = - 0,84$; $\epsilon_{33} = - 0,35$).

На рис. 3.4 показано, что водопоглощение газобетона на всех уровнях рецептур колеблется в пределах $W = 55...75$ %.

Например, при нижнем уровне содержания цемента $X_1 = 40$ %__минимальное водопоглощение $W = 60$ % и соответствует области, где зола $X_2 = 30$ % и Melment на нижней границе $X_3 = 0,5$ %. Дальнейшее повышение количества



Melment до определенного значения 0,9% приводит к росту водопоглощения до $W = 70\%$. В пределах $X_3 = 0,9 \dots 1,0\%$ водопоглощение стабильно и составляет 70%, и при превышении концентрации $X_3 \geq 1,1\%$ водопоглощение газобетона несколько снижается до 65%.

При содержании цемента $X_1 = 50\%$ водопоглощение газобетона стабильно высокое практически на всей области факторного пространства, x_2 , x_3 и составляет $W = 70 \dots 75\%$. При минимальном количестве Melment 0,5% и максимальном количестве золы 30% обеспечивается минимальное водопоглощение 65%.

Максимальное количество цемента в газобетоне $X_1 = 60\%$ (верхняя номограмма рис. 3.4) обеспечивает снижение водопоглощения до 55%. На номограмме показано, что при максимальном содержании золы до 30%, добавки Melment необходимо минимум 0,5% или же наоборот максимум Melment 1,1% и минимум золы 10%.

Зависимость имеет следующий вид: $(Y_4) - W = f(x_2, x_3)$ при изменении количества цемента ($x_1 = -1; 0; +1$). На рис. 3.5 и 3.6 показаны области, где при наложении номограмм прочности на сжатие, плотности и водопоглощения можно определить зону, отвечающую критериям оптимизации.

Так на рис. 3.5 показано, что область оптимальных значений газобетона по критериям $R_{сж.} \geq 1,0$ МПа и плотности $\gamma \leq 0,6$ г/см³ соответствует рецептуре при содержании цемента до 60%. А количество золы и Melment должно поддерживаться в узком диапазоне $X_2 = 21 \dots 22\%$ и $X_3 = 0,5 \dots 0,6\%$.

По рис. 3.6 можно увидеть какие значения водопоглощения приобретает газобетон при прочности на сжатие. Область оптимальных значений рецептур (не заштрихованное поле), где $R_{сж.} \geq 1,0$ МПа водопоглощение меняется между 55...60%. Минимальное водопоглощение $W \leq 55\%$ соответствует нижнему уровню где содержание Melment - $X_3 = 0,5\%$; золы в пределах $X_2 = 22 \dots 30\%$; при максимальном количестве цемента 60%.

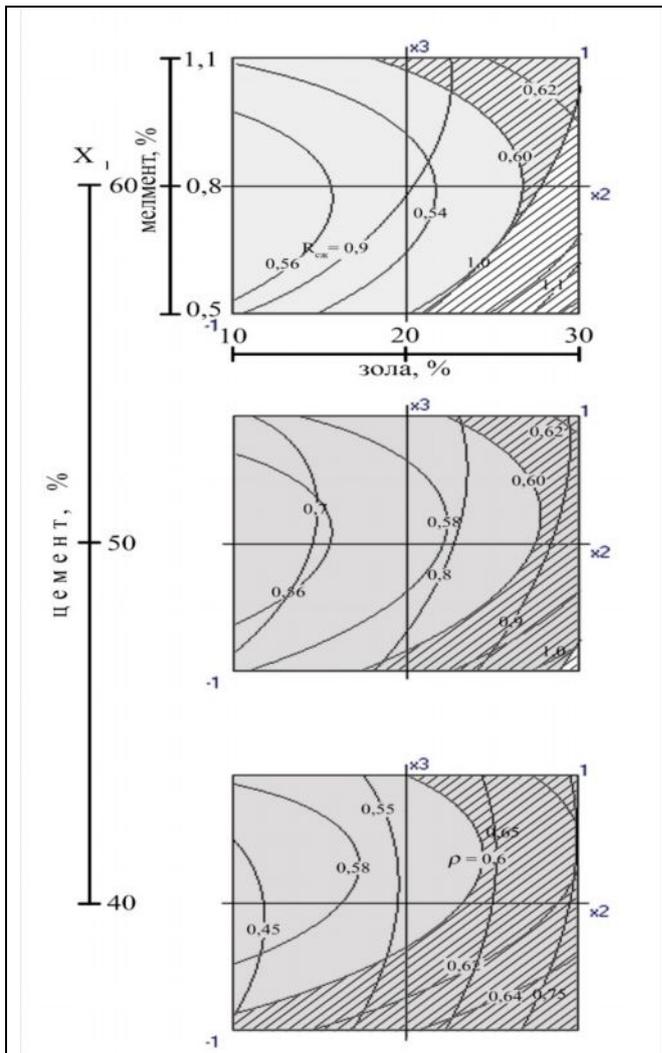


Рис.3.5. Область оптимальных значений фиброгазобетона по критериям $R_{сж}$ и плотности $\rho \leq 0,6 \text{ г/см}^2$ при содержании цемента 40; 50; 60% ($x_1 = -1; 0; +1$).

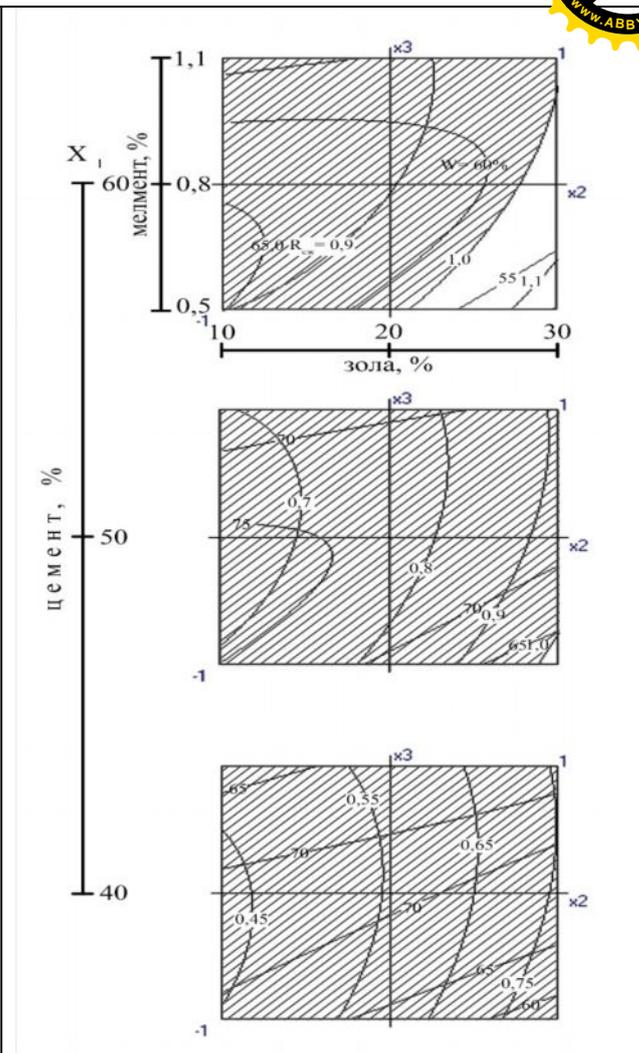


Рис.3.6. Область оптимальных значений фиброгазобетона по критериям $R_{сж}$ и водопоглощения W при содержании цемента 40; 50; 60% ($x_1 = -1; 0; +1$).

Методом математического планирования нам удалось рассчитать оптимальное соотношение компонентов (портландцемента, золы, известняка-ракушечника, Melment) в фиброгазобетонной смеси, которая содержит в составе также фибры из стекловолокна (0,1%), каустическую соду 0,1% и алюминиевую пудру 0,08%. Результаты экспериментальных исследований показали, что оптимальные из них обеспечивают высокие физико-механические свойства фиброгазобетона.

Так как фибры вводились в постоянном количестве, нам не удалось выявить их влияние на прочностные показатели фиброгазобетона. Поэтому



дальнейшие наши исследования будут направлены на подробное изучение эффективности применения дисперсного армирования газобетона [149].

3.3. Дисперсное армирование неавтоклавного газобетона асбестом и стекловолокном

Основной задачей этих исследований является повышение прочностных характеристик неавтоклавного газобетона за счет введения фибр. Как уже сказано в первой главе дисперсное армирование является способом увеличения прочности ячеистого бетона.

Для дисперсного армирования в приведенных экспериментах для неавтоклавного газобетона используем стекловолокно диаметром 73 мкм и асбестовое волокно.

Составы композиций ячеистого газобетона, %: цемент 50, известняк-ракушечник 43,32-49,32, алюминиевая пудра 0,08, каустическая сода 0,05-0,1, суперпластификатор-0,8 от цемента, В/Т-0,3-0,33.

В таблице 3.7 показаны физико-механические свойства ячеистого бетона исследованных составов.

Таблица 3.7- Физико-механические свойства ячеистого бетона исследованных составов

№	Асбест, %	γ , г/см ³	Ризг., МПа	Р сж., МПа	№	Стекло-но, %	γ , г/см ³	Ризг., МПа	Р сж., МПа
1	2	0,752	1,74	3,13	12	0,1	0,88	1,86	3,3
2	2	0,747	1,68	2,72	13	0,1	0,875	2,46	3,15
3	2	0,737	1,6	3,06	14	0,1	0,892	2,48	2,65
4	4	0,749	1,79	2,65	15	0,2	0,755	1,59	2,65
5	4	0,742	1,59	3,45	16	0,2	0,759	1,32	2,21
6	4	0,752	1,64	3,29	17	0,2	0,74	1,35	2,52
7	6	0,722	1,51	2,61	18	0,3	0,745	1,46	2,88
8	6	0,716	1,58	3	19	0,3	0,741	1,66	3,68
9	6	0,729	1,74	2,82	20	0,3	0,722	1,68	2,96
10	-	0,735	0,9	2,04	21	-	0,776	1,33	2,71
11	-	0,73	1,28	1,51	22	-	0,787	1,43	2,81

Как видно из рисунка 3.7 добавка асбестового волокна оказывает положительное влияние на физико-механические свойства газобетона.

Увеличение количества асбеста ведет к уменьшению показателя плотности, увеличению прочности на сжатие и изгиб.

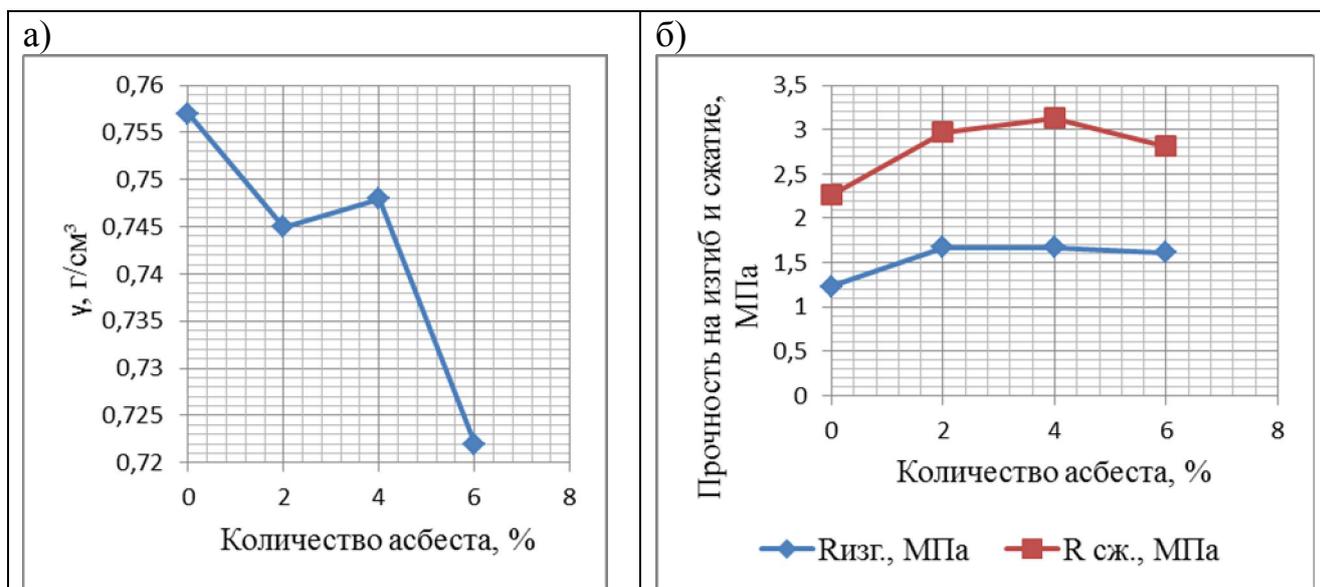


Рис 3.7. Зависимость свойств фиброгазобетона от содержания асбестового волокна:

а) средней плотности; б) прочности на изгиб и сжатие

Так при введении 2% асбеста минимальная плотность достигает значений 0,737 г/см³, прочность на изгиб равна 1,6 МПа и прочность на сжатие 3,06 МПа. При 6% добавке асбеста минимальная плотность равна 0,716 г/см³, а прочность на изгиб равна 1,58 МПа и прочность на сжатие 3 МПа. Увеличение прочностных показателей связано с большой адсорбционной способностью асбеста в смеси с портландцементом. Поскольку волокна асбеста являются продуктом природного происхождения, при смачивании водой асбест адсорбирует, то есть хорошо удерживает на своей поверхности продукты гидратации цемента, связывающие волокна асбеста, поэтому газобетон является тонкоармированным. Физико-химические процессы гидратации портландцемента протекают по принципу образования вокруг и на поверхности асбестовых волокон центров кристаллизации продуктов гидратации портландцементного клинкера.

Газобетоны со стекловолокном также имеют более высокие прочностные показатели по сравнению с образцами без фибр (рис.3.8). Средняя плотность

находится в пределах от $\gamma = 0,722 \text{ г/см}^3$ до $\gamma = 0,892 \text{ г/см}^3$. В данном случае увеличение количества фибр ведет к уменьшению плотности и увеличению прочностных показателей (рис.3.8).

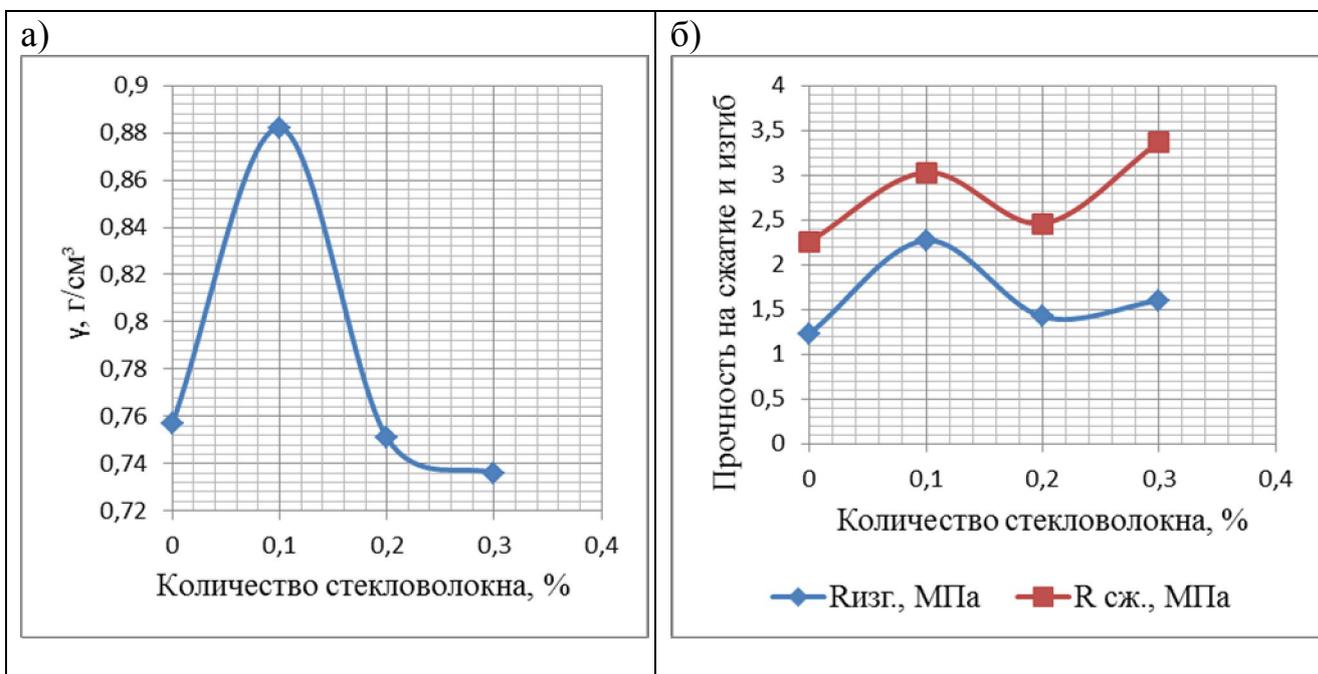


Рис 3.8. Зависимость свойств фиброгазобетона от содержания стекловолокна: а) средней плотности; б) прочности на изгиб и сжатие

Таким образом, следует отметить, что физико-химические процессы структурообразования газобетона, с использованием стекловолокна отличаются от процессов структурообразования газобетона с использованием асбеста. Продукты новообразований в такой газобетонной массе будут накапливаться вокруг стекловолокна. В зависимости от расположения волокон в массиве газобетона, образовавшиеся продукты гидратации будут накапливаться вокруг этого армирующего каркаса. В период схватывания и твердения минералов портландцементного клинкера, происходит упрочнение структуры газобетона. Из рис. 3.8 видно, что плотность газобетона с 0,1% добавки стекловолокна сначала увеличивается до $0,892 \text{ г/см}^3$. При последующем введении волокон до 0,2% плотность достигает пределов значений равных $0,750 \text{ г/см}^3$. При добавлении 0,3% стекловолокна плотность газобетона равна $0,722 \text{ г/см}^3$.



Самый высокий показатель прочности на сжатие имеет образец с 0,1% стекловолокна, при этом $\gamma = 0,741 \text{ г/см}^3$ и $R_{сж.} = 3,68 \text{ МПа}$. Образец газобетона при 0,2 % стекловолокна, с почти такой же плотностью равной $0,740 \text{ г/см}^3$ показывает более низкие результаты. Прочность на изгиб равен $1,35 \text{ МПа}$ и $R_{сж.} = 2,52 \text{ МПа}$. При 0,1% добавке фибр стекловолокна лучший результат по прочности на сжатие равен $2,65 \text{ МПа}$, $R_{изг.} = 2,48 \text{ МПа}$. Таким образом, увеличение количества фибр стекловолокна приводит к увеличению прочностных характеристик. В данном случае максимальное количество добавки фибр стекловолокна составил 0,3%. Эксперименты показали, что дальнейшее увеличение количества фибр стекловолокна приводит к разрушению равномерной пористой структуры. Большое количество фибр в структуре газобетона образуют комочки, которые в свою очередь оседая внизу образуют плотную структуру. Получается газобетон с двумя слоистыми структурами – нижней плотной и пористой.

В этой серии экспериментов были использованы фибры стекловолокна длиной 1см. Для установления оптимальной длины фибр для дисперсного армирования неавтоклавного газобетона проведены эксперименты с различными длинами фибр.

В таблице 3.8 представлены результаты исследования физико-механических свойств фиброгазобетона при различной длине фибр стекловолокна.

Таблица 3.8 -Физико-механические свойства фиброгазобетона

№	Стекл-но, %	Длина, см	γ , г/см ³	Rизг., МПа	R сж., МПа
1	0,1	0,5	0,595	0,79	2,12
2	0,1	0,5	0,607	0,76	2,10
3	0,1	0,5	0,593	0,71	2,45
4	0,1	2	0,590	0,74	1,64
5	0,1	2	0,591	0,79	1,72
6	0,1	2	0,590	0,75	1,68
7	0,1	3	0,562	0,67	1,40
8	0,1	3	0,570	0,66	1,50
9	0,1	3	0,579	0,71	1,40

В результате экспериментов с различными длинами фибр (стекловолокна) были получены фиброгазобетоны с плотностью в пределах от $\gamma = 0,562 \text{ г/см}^3$ до $\gamma = 0,607 \text{ г/см}^3$. Как показывают результаты (рис.3.9) с увеличением длины фибр плотность уменьшается.

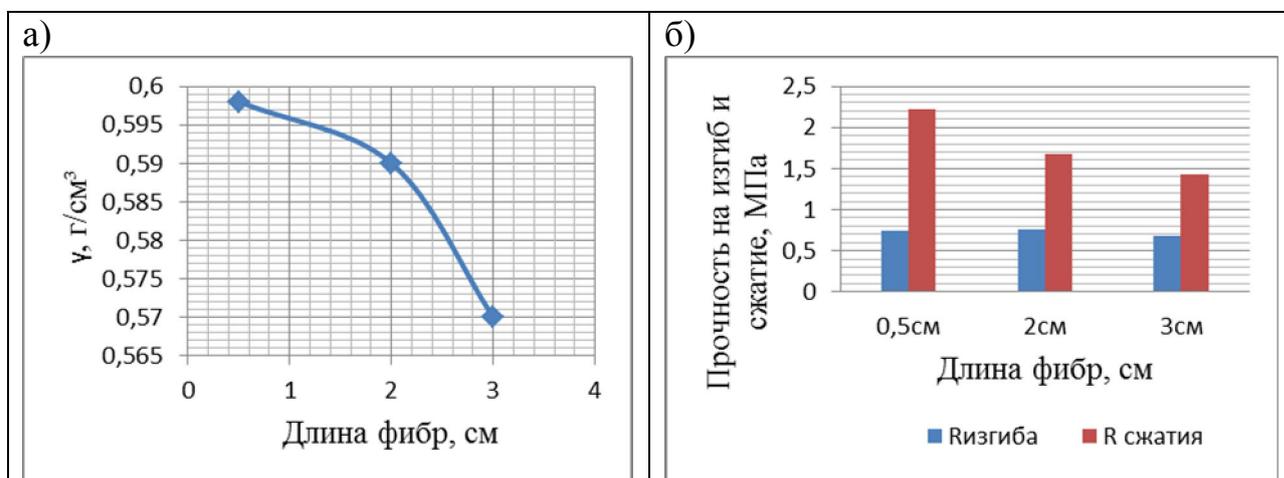


Рис 3.9. Зависимость свойств фиброгазобетона от длины стекловолокна:
 а) средней плотности; б) прочности на изгиб и сжатие

Это обусловлено более равномерным распределением армирующего каркаса по всему объему газобетонной смеси при минимальной длине волокон. В результате в период твердения минералов портландцементного клинкера продукты гидратации будут накапливаться вокруг этого армирующего каркаса. Происходит упрочнение структуры газобетона по всему объему. При длине фибр равной 2-3 см образцы газобетона имеют показатели плотности ниже, чем при длине фибр равной 0,5 см. Более низкие показатели плотности обусловлены неравномерным распределением фибр при длине 2-3 см. При такой длине стекловолокна упрочнение структуры газобетона происходит лишь в некоторых участках. Фибры оседают на нижних участках газобетонной смеси, создавая плотную структуру. На верхних неармированных участках газобетонной смеси процесс вспучивания происходит интенсивнее, в результате получаются легкие газобетоны с неравномерной пористой структурой.

По прочностным показателям самые лучшие результаты у образцов с минимальной длиной волокон равной 0,5 см. Прочность на сжатие выше почти



в 1,4 раза по сравнению с образцами при длине волокон 2- 3см. Такой прирост прочности образцов объясняется более равномерным распределением волокон без комкования.

Таким образом, эксперименты показали эффективность дисперсного армирования газобетона. С использованием асбестового и стекловолокна нам удалось повысить прочностные характеристики неавтоклавного газобетона. Выявили необходимое количество фибр и их влияние на плотность. Установлено, что прочность фиброгазобетона существенно зависит не только от процентного содержания фибры, но и от длины фибр. Самой оптимальной длиной фибр является длина 0,5 см, так как при этой длине они распределяются равномерно по всему объему газобетона.

Структурообразование газобетона зависит не только от исходных компонентов сырьевой смеси, но также от технологических факторов приготовления газобетонной смеси, а также от характера пористости, размеров пор, а также их распределения после затвердевания, что оказывает существенное влияние на физико-механические свойства газобетона. На рис.3.10 показаны снимки микроструктуры исследованных дисперсно-армированных составов газобетона на основе известняка-ракушечника (табл. 3.7).

В составах газобетона на основе известняка-ракушечника с 2% и 4% добавки асбеста максимальный диаметр пор равен 1,5 мм, кроме того преобладают поры размером 1мм и менее. В третьем составе газобетона с 6% асбеста поры равномерные диаметр равен 1мм и менее.

В дисперсно-армированных образцах газобетона с 0,1% стекловолокна также преобладают мелкие поры диаметром 1мм и менее, максимальный размер пор равен 2мм. Образцы газобетона с 0,2% добавкой стекловолокна имеют максимальный диаметр пор равный 2мм, остальные поры размером 1-1,5мм. В шестом составе газобетона с 0,3% стекловолокна образцы имеют максимальный диаметр пор равный 1,5мм, но преобладают мелкие поры размером 1-1,5мм. Представленные дисперсно-армированные составы

газобетона на основе известняка-ракушечника имеют почти однородную структуру, без явления расслаивания газобетонной массы. Поры имеют правильную сферическую форму и являются закрытыми. В объеме бетона поры распределены равномерно, что положительно влияет на его физико-механические свойства.

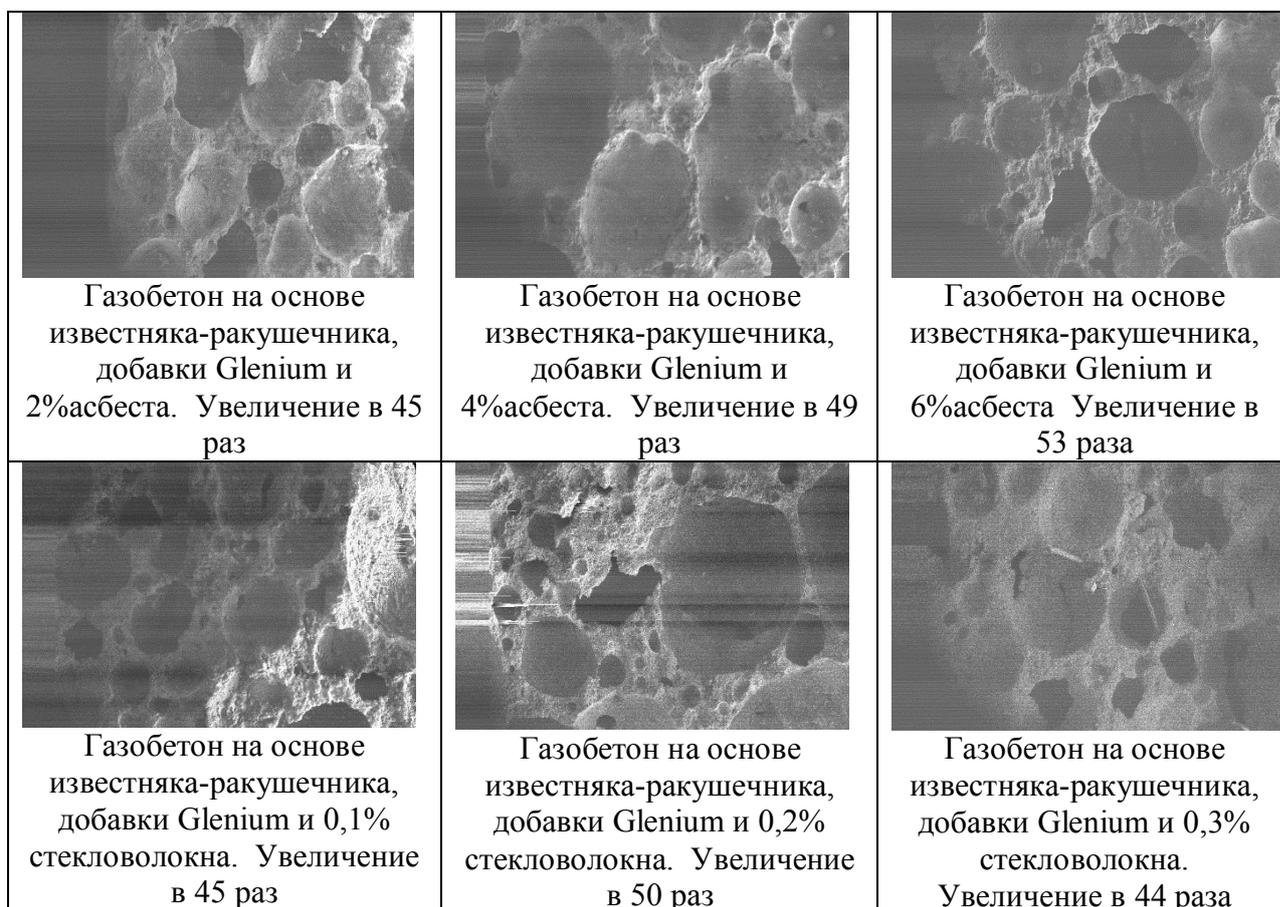


Рис.3.10. Микроструктура дисперсно- армированных образцов неавтоклавного газобетона на основе известняка-ракушечника

Исследования макроструктуры показали, что газобетон с наполнителем известняк-ракушечник имеет макроструктуру с равномерно распределенными порами одинаковой сферической формы и плотной межпоровой перегородкой [150].

Заключение по главе 3

1.Проведены эксперименты по подбору состава неавтоклавного газобетона из местного природного и техногенного сырья. В результате экспериментов были



подобраны эффективные наполнители для неавтоклавного газобетона. Установлено влияние различных добавок на их свойства.

2. По экспериментально-статистическим моделям выполнена оптимизация рецептуры и свойств газобетона из местных сырьевых материалов. В результате, для обеспечения требуемых физико-механических свойств, золы в составе газобетона должно быть в пределах 22....30% и Melment 0,5....0,8%. Установлено, что дальнейшее повышение количества добавки не улучшает прочностные показатели газобетона и приводит к росту водопоглощения.

3. Проведены исследования по дисперсному армированию неавтоклавного газобетона фибрами асбеста и стекловолокна. Установлено что увеличение количества фибр ведет к уменьшению показателя плотности и увеличению прочности на сжатие и изгиб. Так при 6% асбеста минимальная плотность равна $0,716 \text{ г/см}^3$, прочность на изгиб равна 1,58 МПа и прочность на сжатие 3 МПа. Самый высокий показатель прочности на сжатие имеет образец с 0,3% фибр стекловолокна, $\gamma = 0,741 \text{ г/см}^3$, $R_{сж} = 3,68 \text{ МПа}$. Также установлена оптимальная длина фибр стекловолокна для дисперсного армирования газобетона равная 0,5 см.

4. Проведен анализ микроструктуры дисперсно-армированных газобетонов. Определен характер пористости и размеры диаметра пор газобетонов. Максимальный диаметр равен 1,5 - 2 мм, преобладают поры размером 1мм и менее. Установлено, что образцы газобетона на основе известняка-ракушечника имеют равномерную пористую структуру с закрытыми сферическими порами.



ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА. ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

4.1. Влияние технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона

На процесс структурообразования и свойства газобетона оказывают множество технологических факторов. Рациональные значения этих факторов позволяют значительно повысить качество газобетона неавтоклавного твердения. На данном этапе работы исследования направлены на решение этой задачи.

Объектами исследований были такие технологические факторы, как температура воды затворения, текучесть бетонной смеси и продолжительность ТВО.

4.1.1. Температурный фактор в технологии производства газобетона

Температура смеси оказывает существенное влияние на формирование пористой структуры газобетона. С повышением температуры бетонной смеси процесс вспучивания ускоряется. При этом процесс газообразования может протекать более интенсивно, чем бетонная смесь достигнет необходимой пластической прочности. Пузырьки газа прорываются наружу, тем самым в первый промежуток времени, вспучивая смесь, после чего из-за более медленного нарастания вязкопластичных свойств смеси происходит ее осадка.

Нами проведены исследования, направленные на изучение влияния температуры воды затворения на физико-механические свойства неавтоклавного фиброгазобетона. Для проведения исследований были изготовлены образцы балочки размерами 40 × 40 × 160 мм. Температура воды варьировалась в интервалах 20 °С, 40 °С, 60 °С.

В таблицах 4.1 и 4.2 показаны физико-механические свойства исследованных фиброгазобетонов.

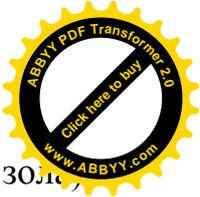


Таблица 4.1-Составы композиций фиброгазобетона (наполнитель песок, зола)

№ п/п	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе												
	t °С	Алюминиевая пудра	В/Т	Ц	Известь	Сода	гипс	Жидкое стекло	песок	зола	Расплав, см	γ , г/см ³	Rсж, Мпа
1	20	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	27	0,647	1
2	20	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	27	0,604	0,9
3	20	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	27	0,587	-
4	40	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,630	0,8
5	40	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,622	0,9
6	40	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,606	-
7	60	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,683	1,1
8	60	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,680	1,1
9	60	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,664	-

В результате экспериментов установлено влияние температуры воды затворения на водопотребность бетонной смеси. При повышении температуры водопотребность уменьшается, раствор получается более пластичной. Если при температуре 20°С расплав по вискозиметру Суттарда равен 27см, то при 60° С -равен 29см.

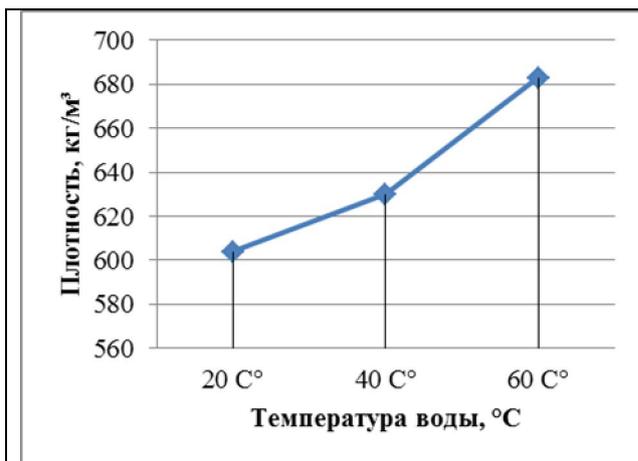


Рис 4.1. Зависимость средней плотности фиброгазобетона (наполнитель песок, зола) от температуры воды

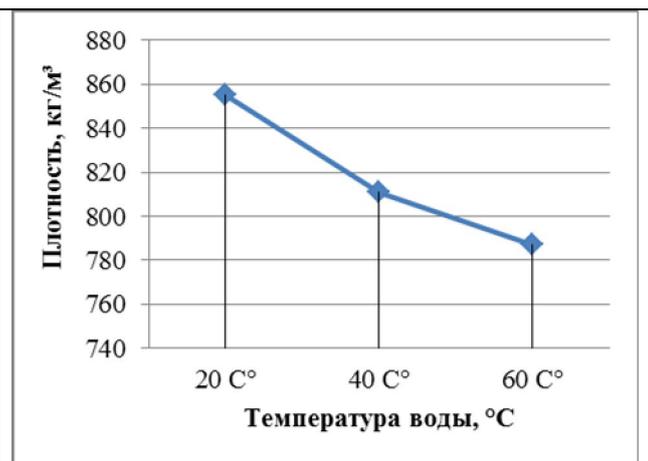


Рис 4.2. Зависимость средней плотности фиброгазобетона (наполнитель известняк ракушечник) от температуры воды



Как видно из рис. 4.1 в составах фиброгазобетона с песком и золой показатель средней плотности меняется в зависимости от температуры. С увеличением температуры воды затворения плотность бетона увеличивается. При температуре 20°C получены плотности в пределах $\gamma = 0,587 \text{ г/см}^3$ до $\gamma = 0,647 \text{ г/см}^3$. При максимальной температуре воды затворения 60°C плотность увеличивается до $0,683 \text{ г/см}^3$. Согласно опытным данным (см. рис. 4.1), оптимальной температурой для вспучивания газобетонной массы на основе песком и золы является температура 20°C. При данном температурном режиме поризация смеси происходит равномерно. С повышением температуры до 40-60°C процесс вспучивания протекает более интенсивно, в ячеистой макроструктуре наблюдается слияние мелких пор в более крупные. Высокая температура воды затворения также ускоряет процесс гидратации и связывания вяжущего, способствующей разрушению выделяющимся водородом уже сформировавшейся и начинающей твердеть макроструктуры.

В составах с известняком ракушечником с повышением температуры воды затворения водопотребность также уменьшается. При температуре воды равной 20°C расплыв на вискозиметре Сутгарда равен 24см, а при 60° равен 27см.

Таблица 4.2 - Составы композиций фиброгазобетона (наполнитель известняк ракушечник)

№ п/п	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе									
	t °C	Алюминиевая пудра	В/Т	Ц	известняк	Сода	Mel-ment, %	Расплыв, см	$\gamma \text{ г/см}^3$	Рсж, Мпа
1	20	0,08	0,40	0,5	0,49	0,75	0,8	24	0,874	2,1
2	20	0,08	0,40	0,5	0,49	0,75	0,8	24	0,855	2
3	40	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	25	0,811	1,6
4	40	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	25	0,818	1,62
5	60	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	27	0,787	1,2
6	60	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	27	0,782	1,1

Из графика (рис 4.2.) можно сделать вывод, что в данном составе высокая температура воды также оказывает каталитическое действие на процесс газообразования. С увеличением температуры воды затворения плотность



уменьшается. При 20°C получаем значения плотностей в пределах $\gamma = 0,874$ г/см³ до $\gamma = 0,874$ г/см³. При максимальной температуре воды затворения плотность уменьшается до 0,782 г/см³. Согласно опытным данным (см. рис.4.2), оптимальной температурой для вспучивания газобетонной массы на основе известняка-ракушечника и добавки Melment является температура 60°C. При данном температурном режиме достигается активный уровень поризации смеси. В составах с известняком-ракушечником процесс вспучивания газобетонной смеси происходит менее интенсивно, чем в составах с золой и песком. Поэтому увеличение температуры воды затворения не приводит к осадке газобетона.

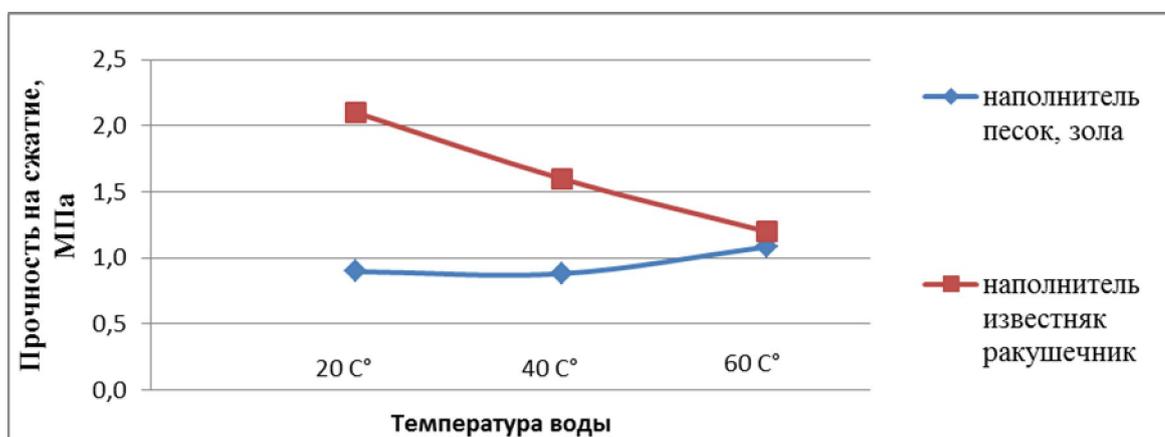


Рис 4. 3. Зависимость прочности фиброгазобетона от температуры воды затворения

Прочность в исследуемых составах также меняется при различных температурах воды затворения (рис.4.3). В первом составе с песком и золой с увеличением температуры воды прочность на сжатие уменьшается с одновременным уменьшением плотности. Максимальная прочность на сжатие равна 1,1 МПа при $\gamma=0,680$ г/см³ и $\gamma=0,683$ г/см³. Во втором составе с известняком ракушечником и добавкой Melment прочность и плотность возрастает с уменьшением температуры воды затворения. Максимальная прочность на сжатие равна 2,1 МПа при плотности 0,874г/см³.

Эксперименты показали влияние температуры воды затворения на физико-механические свойства вышеприведенных составов ячеистого бетона. В результате было установлено, что для получения легкого фиброгазобетона с золой и песком оптимальная температура воды затворения должна быть в



пределах 20°C. Для фиброгазобетона с известняком ракушечником и добавкой Melment вода должна иметь температуру выше 40°C, так как в данном составе необходимый процесс газообразования достигается только при высокой температуре воды затворения [151].

Оптимальную температуру смеси устанавливали экспериментальным путем и для следующих составов газобетона, представленных в таблице 4.3.

Таблица 4.3-Составы композиций газобетона

№	Цемент	Зола	Ракушечник	Алюминий	сода	Glenium	Melment	фибры	Асбест
1	50	30	19,74	0,08	0,11	-	0,5	0,1	-
2	50	30	19,78	0,1	0,1	0,8	-	-	-
3	50	-	49,32	0,08	0,1	0,8	-	-	3

Физико-механические свойства исследованных композиций газобетона представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4- Физико-механические свойства газобетона

№	Расплав, см.	γ , г/см ³	Ризг., МПа	Р сж., МПа	Расплав, см.	γ , г/см ³	Ризг., МПа	Р сж., МПа
	20 °С				60°С			
1	27,5	0,719	0,93	3,65	22	0,756	1,35	2,55
	27,5	0,714	1,13	2,88	22	0,724	1,29	2,12
	27,5	0,720	1,25	2,51	22	0,727	0,99	3,73
2	31	0,674	1,35	4,00	28,5	0,725	1,67	4,49
	31	0,658	1,56	2,89	28,5	0,701	1,61	2,88
	31	0,673	0,88	2,93	28,5	0,701	1,36	2,98
3	28	0,737	1,42	2,97	32,5	0,754	1,04	4,58
	28	0,745	1,33	2,48	32,5	0,794	1,33	4,43
	28	0,749	1,78	3,10	32,5	0,763	1,25	4,42

В приведенных составах (табл. 4.3) проведены исследования влияния на физико-механические свойства неавтоклавного газобетона максимальной (60°C) и минимальной (20°C) температур воды затворения. Определяли влияние температуры на водопотребность бетонной смеси, среднюю плотность и предел прочности при изгибе и сжатии.

Влияние температуры воды на пластичность газобетонной смеси представлены на рис. 4.4.

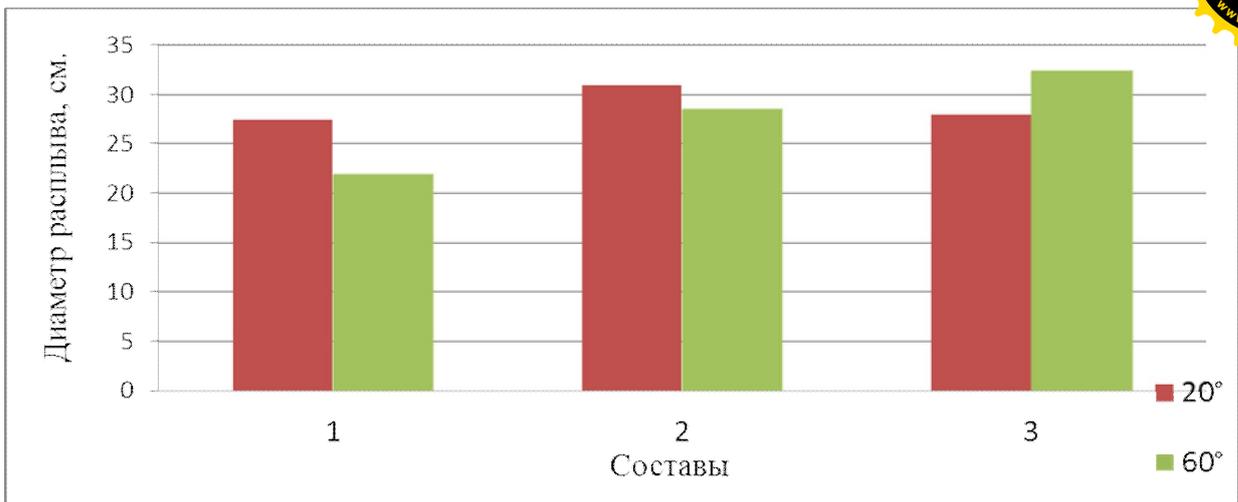
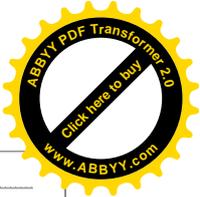


Рис.4.4. Диаметр расплыва бетонной смеси по вискозиметру Суттарда

На графике показаны диаметры расплыва смесей по вискозиметру Суттарда. В 1-2 составах газобетона на основе золы и известняка-ракушечника (табл.4.3) по сравнению с предыдущими составами (табл.4.1, 4.2) с увеличением температуры воды затворения бетонная смесь ведет себя по-другому. При температуре 60°C водопотребность смеси увеличивается и диаметр расплыва на приборе Суттарда уменьшается в сравнении с температурой 20°C. Высокая температура воды затворения бетонной смеси увеличивает скорость образования продуктов гидратации цементного клинкера, так как из-за повышения температуры увеличивается концентрация $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В то же время горячая вода в отличие от холодной имеет свойство глубоко входить в «частицы» цемента и наполнителей. Поэтому для газобетонной смеси на основе дисперсных наполнителей как зола и известняк-ракушечник при температуре 60°C может потребоваться большее количество воды. Увеличение водотвердого соотношения приводит к снижению прочности и увеличению сроков твердения неавтоклавнога газобетона.

В третьем составе с известняком-ракушечником и добавкой Glenium повышение температуры воды ведет к увеличению диаметра расплыва, если при 20°C он составлял 28 см., то при 60°C составил 32,5см. То есть бетонная смесь становится пластичной.



Влияние температуры воды затворения на среднюю плотность газобетона показана на рис 4.5.

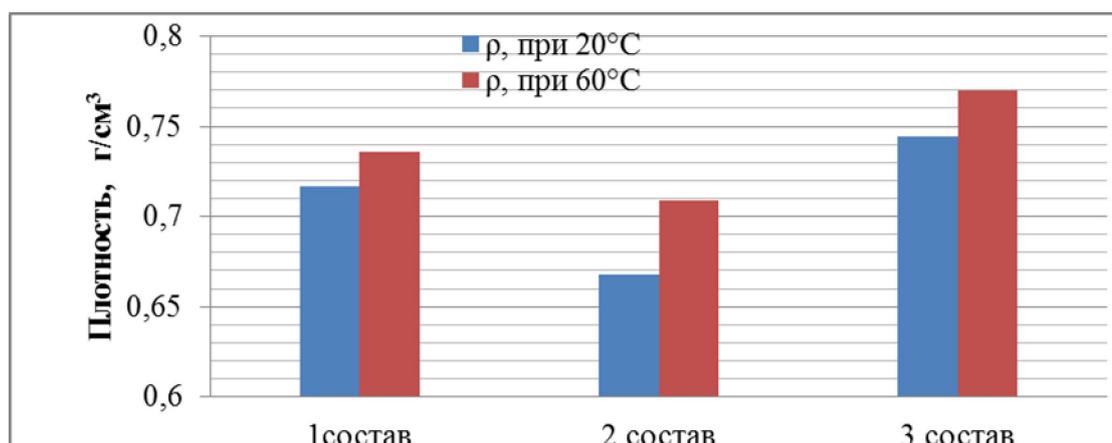


Рис.4.5. Зависимость плотности газобетона от температуры воды затворения

Как видно из рис.4.5 показатели средней плотности газобетона при максимальной температуре воды затворения выше, чем при температуре воды 20°C. Для первого состава газобетона на основе золы, известняка-ракушечника и добавки Melment плотность при $t=20^{\circ}\text{C}$ находится в пределах 0,714-720 г/см³. При $t=60^{\circ}\text{C}$ плотность находится в пределах 0,724-756 г/см³. Для газобетона на основе золы, известняка-ракушечника и добавки Glenium наименьшая плотность при $t=20^{\circ}\text{C}$ равна $\gamma = 0,658$ г/см³ и $\gamma = 0,701$ г/см³ при $t=60^{\circ}\text{C}$. В третьем составе газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium также плотность при $t=20^{\circ}\text{C}$ ниже чем при максимальной температуре и находится в пределах 0,737-749 г/см³. При $t=60^{\circ}\text{C}$ показатели плотности образцов газобетона находятся в пределах 0,754-794 г/см³. Как было уже сказано в образцах газобетона на основе золы и известняка-ракушечника (1-2 состав) максимальная температура воды затворения увеличивает водопотребность бетонной смеси, это в свою очередь приводит к повышению показателя плотности. Согласно опытным данным (рис. 4.5) оптимальной температурой для вспучивания газобетонной массы на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium (состав 3) является температура 20° С. При данном температурном режиме поризация смеси происходит равномерно. С повышением температуры до 60°C процесс газообразования протекает более



интенсивно, приводящей к слиянию мелких пор в более крупные в ячейке макроструктуре бетона. В результате из-за разрушения уже сформировавшейся и начинающей твердеть макроструктуры средняя плотность увеличивается.

По показателю предела прочности при изгибе в образцах газобетона на основе золы и известняка-ракушечника (1 и 2 состав) максимальные результаты получены при температуре воды затворения равной 60°C, так как эти образцы имеют более высокие показатели плотности, чем образцы газобетона, полученные при температуре воды затворения равной $t=20^\circ\text{C}$ (рис. 4.6).

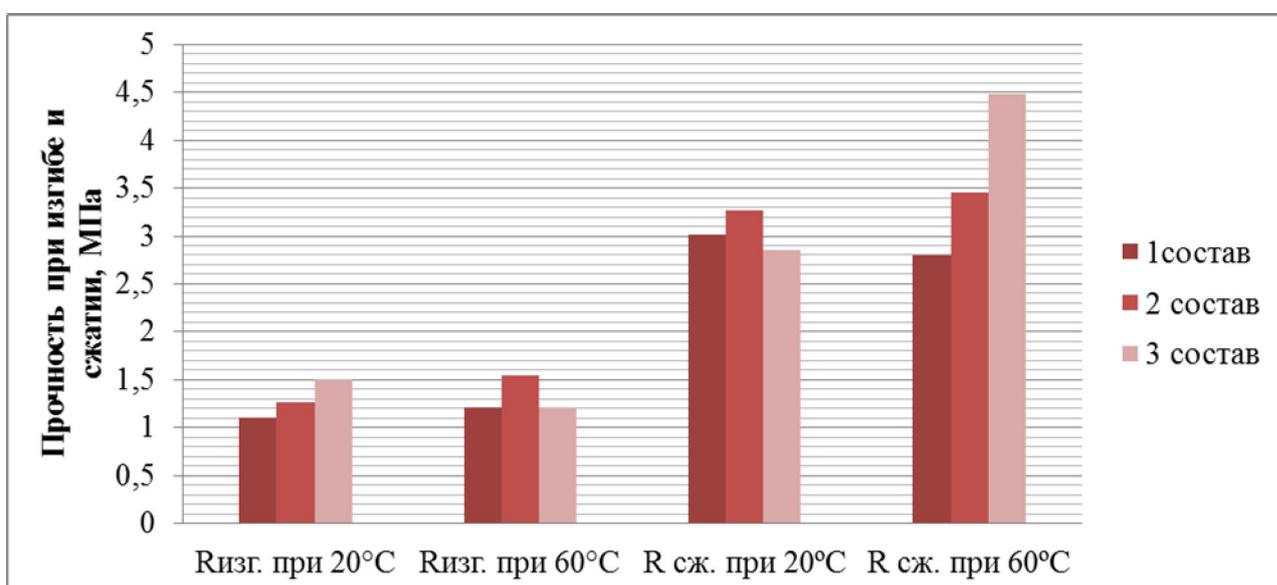


Рис.4.6. Зависимость прочности газобетона от температуры воды затворения

Так максимальные показатели предела прочности при изгибе для образцов первого состава равны 1,35 МПа при плотности $0,756 \text{ г/см}^3$, для второго состава газобетона $R_{\text{изг}} = 1,67 \text{ МПа}$ при плотности образцов равной $0,725 \text{ г/см}^3$. В образцах газобетона с известняком-ракушечником и добавкой Glenium (3 состав) предел прочности при изгибе при $t=20^\circ\text{C}$ больше чем при $t=60^\circ\text{C}$. Для минимальной температуры $R_{\text{изг}} = 1,78 \text{ МПа}$ при плотности $0,749 \text{ г/см}^3$, $R_{\text{изг}} = 1,33 \text{ МПа}$ для плотности $0,794 \text{ г/см}^3$ при максимальной температуре. В данном составе неавтоклавного газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium повышение температуры воды затворения приводит к снижению предела прочности при изгибе.



Предел прочности при сжатии для образцов неавтоклавного газобетона на основе золы, известняка-ракушечника и добавки Melment (1 состав) имеют лучшие результаты при температуре воды затворения равной $t=20^{\circ}\text{C}$. При плотности $0,719 \text{ г/см}^3$ $R_{\text{сж}} = 3,65 \text{ МПа}$, а для температуры $t=60^{\circ}\text{C}$ максимальный показатель $R_{\text{сж}} = 3,73 \text{ МПа}$ при плотности $0,727 \text{ г/см}^3$. Во 2 и 3 составах газобетона предел прочности при сжатии при температуре воды затворения равной $t=60^{\circ}\text{C}$ выше чем при $t=20^{\circ}\text{C}$. Это объясняется более высокими показателями плотности образцов при температуре воды затворения $t=60^{\circ}\text{C}$. В составе газобетона на основе золы, известняка-ракушечника и добавки Glenium (2 состав) при 20°C образцы имеют почти одинаковые показатели предела прочности при сжатии по сравнению с газобетоном при $t=60^{\circ}\text{C}$ при разных показателях плотности. При плотности минимальной температуры $\gamma = 0,658 \text{ г/см}^3$ $R_{\text{сж}} = 2,89 \text{ МПа}$, а для максимальной температуры $R_{\text{сж}} = 2,88 \text{ МПа}$ при $\gamma = 0,701 \text{ г/см}^3$. Во втором составе газобетона повышение температуры воды затворения ведет к снижению предела прочности при сжатии.

Максимальный показатель предела прочности при сжатии для образцов неавтоклавного газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium (3 состав) равен $4,58 \text{ МПа}$ при $\gamma = 0,754 \text{ г/см}^3$ для температуры 60°C . Для минимальной температуры 20°C максимальный предел прочности на сжатие равен $3,1 \text{ МПа}$ при $\gamma = 0,749 \text{ г/см}^3$. В данном составе прирост прочности при температуре 60°C может быть обусловлен ускорением процесса гидратации портландцементного клинкера при высокой температуре.

Таким образом, установлена оптимальная температура воды затворения для приведенных составов (табл. 4.3.) неавтоклавного газобетона. Эксперименты показали неэффективность повышения температуры воды затворения, так как оно приводит к увеличению скорости газообразования в бетонной смеси. При 20°C образцы газобетона имели показатели плотности ниже чем при 60°C , в которых происходит осадка бетона из-за скорости вспучивания. Для всех трех составов неавтоклавного газобетона на основе золы и известняка-ракушечника оптимальной температурой воды для



затворения является температура равная 20°C. Разогрев воды треск дополнительных затрат, поэтому с экономической точки зрения минимальная температура является очень эффективной.

4.1.2. Влияние текучести бетонной смеси на процесс порообразования и свойства газобетона

На процесс структурообразования пористой структуры в ячеистых бетонах влияет ряд факторов, одним из которых является текучесть бетонной смеси. С увеличением количества воды снижается вязкость смеси, что приводит к уменьшению ее газодерживающей способности и увеличению сроков схватывания. Результатом уменьшения количества воды может являться возрастание вязкости смеси. При этом вязкость бетонной смеси может возрасти настолько, что усилие развиваемое газом (водородом) будет ниже значений вязкопластичных свойств смеси, в результате чего в массе не происходит вспучивания (изменения первоначального объема). Все это приводит к увеличению средней плотности газобетона. Поэтому необходимо установить зависимость текучести растворной смеси от водотвердого отношения и изучить ее влияние на среднюю плотность неавтоклавного газобетона [76].

Для установления влияния текучести газобетонной смеси на процесс порообразования готовились оптимальные составы газобетона с использованием следующих видов мелких наполнителей: зола, известняк-ракушечник (табл.4.3).

В данном эксперименте на основании предыдущих результатов для изготовления газобетонных изделий использовали не подогретую воду температурой $t=20^{\circ}\text{C}$. Результаты исследования текучести газобетонной смеси представлены в таблице 4.5

Таблица 4.5-Физико-механические свойства газобетона

№	В/Т	Расплав (см)	γ , кг/м ³	В/Т	Расплав (см)	γ , кг/м ³	В/Т	Расплав (см)	γ , кг/м ³
1а	0,54	27,5	719	0,56	25	745	0,58	27	726
1б	0,54	27,5	714	0,56	25	731	0,58	27	721
1в	0,54	27,5	720	0,56	25	723	0,58	27	719
2а	0,433	31	674	0,45	33	718	0,47	37	701
2б	0,433	31	658	0,45	33	719	0,47	37	727
2в	0,433	31	673	0,45	33	732	0,47	37	727
3а	0,325	28	737	0,34	32	779	0,36	38	766
3б	0,325	28	745	0,34	32	781	0,36	38	780
3в	0,325	28	749	0,34	32	798	0,36	38	796

При водотвердом отношении равном 0,54; 0,56; 0,58 диаметр расплава смеси по вискозиметру Суттарду для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment (1 состав табл.4.3) составил соответственно 27,5; 25; 27 см. В данном составе неавтоклавнога газобетона увеличение количества воды не приводит к увеличению текучести, то есть диаметр расплава смеси по вискозиметру Суттарду не увеличивается. Это может быть обусловлен применяемой добавкой Melment, которая уменьшает количество воды, необходимое для бетона и обеспечивает его текучесть. Добавка Melment в данном составе газобетона при увеличении водотвердого отношения до 0,56-0,58 перестает работать, как водоредуцирующая добавка. С увеличением количества воды газобетонная смесь становится менее пластичной (рис. 4.7).

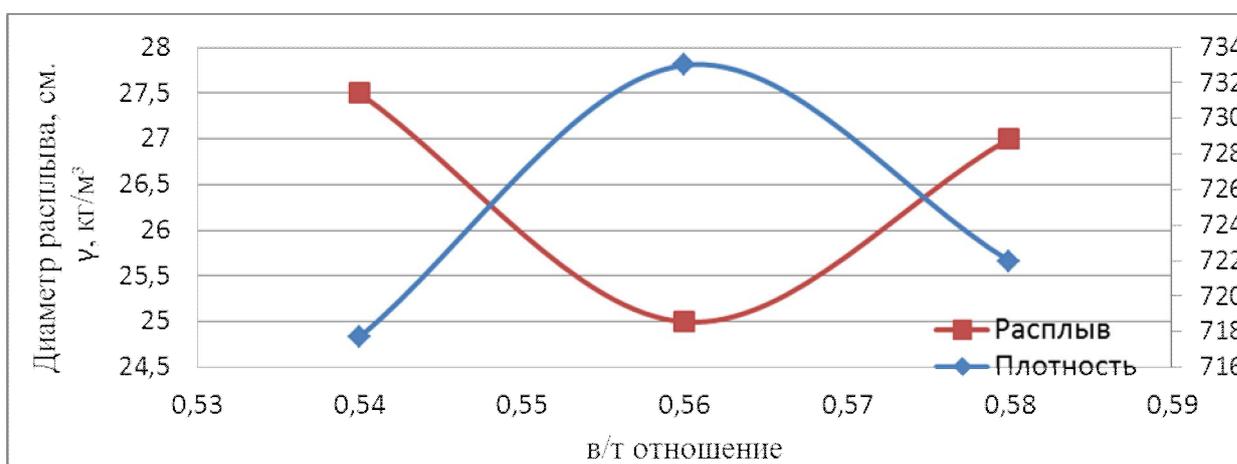


Рис.4.7. Зависимость плотности и расплава газобетонной смеси на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment от В/Т отношения



Таким образом, при водотвердом отношении равной 0,56-газобетонная смесь на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment может иметь высокие начальные значения вязкости и пластической прочности, которые препятствуют росту объема газовой фазы в системе. Как следствие, объем смеси увеличивается неравномерно, что вызывает формирование газобетонного массива с дефектной макроструктурой и снижение эксплуатационных свойств газобетона в целом. Оптимальным водотвердым отношением для данного состава неавтоклавного газобетона является значение в пределах 0,54. С увеличением количества воды плотность газобетона увеличивается (рис.4.7). Наименьшая средняя плотность равная 714 кг/м^3 достигается при $V/T=0,54$, которому соответствует диаметр расплыва смеси 27,5 см.

Для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium (2 состав табл.4.3) при водотвердом отношении- 0,43; 0,45; 0,47 диаметр расплыва смеси соответственно равен 31; 33; 37 см. Образцы газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium имели диаметр расплыва равный 28; 32; 38 см соответственно при водотвердом отношении - 0,325; 0,34; 0,36. В составах неавтоклавного газобетона с добавкой Glenium увеличение количества воды приводит к увеличению текучести газобетонной смеси, то есть начальные значения вязкости и пластической прочности газобетонной смеси снижаются. В бетонной смеси происходит разрушение перегородок и слияние пор при газообразовании (рис.4.8, 4.9).

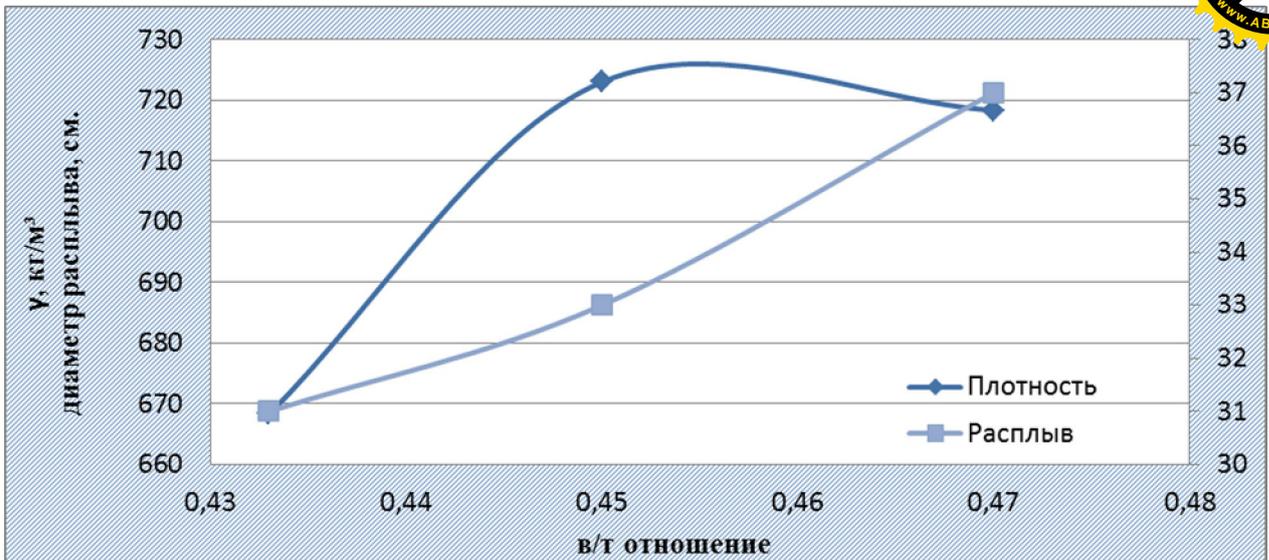
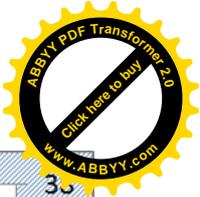


Рис.4.8. Зависимость плотности и расплыва газобетонной смеси на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium от В/Т отношения

Для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium оптимальное водотвердое отношение находится в пределах 0,433 (рис 4.8). Наименьшая средняя плотность 658 кг/м^3 получена при $В/Т=0,433$ диаметром расплыва равным 31 см. Оптимальное водотвердое отношение для газобетона с известняком-ракушечником и добавкой Glenium находится в пределах 0,325 (рис. 4.9). При таком водотвердом отношении достигается наименьшая средняя плотность, которая равна 737 кг/м^3 с диаметром расплыва 28 см.

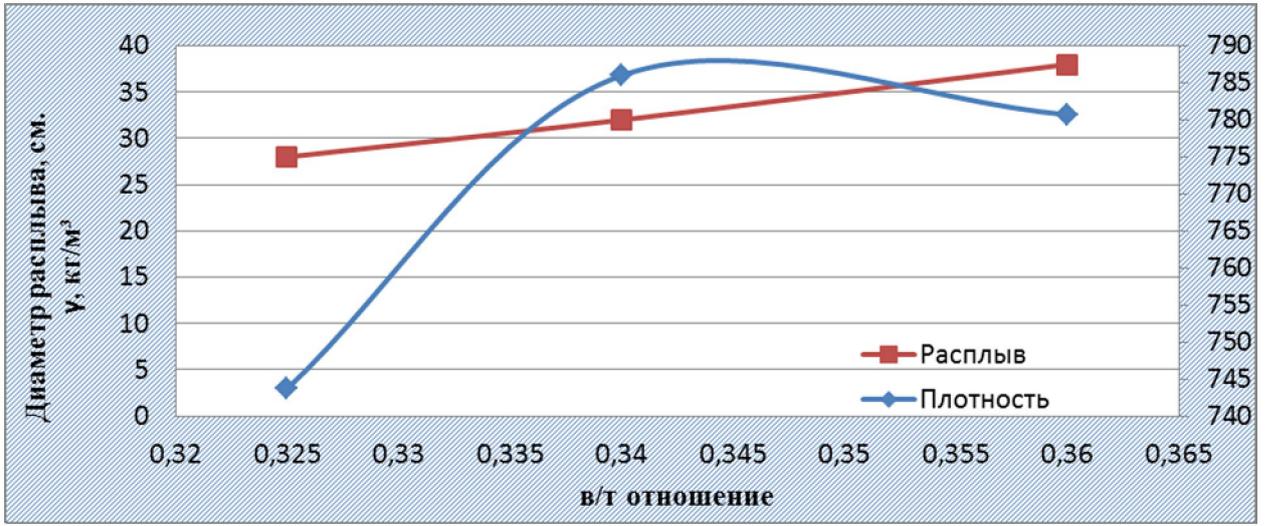


Рис.4.9. Зависимость плотности и расплыва газобетонной смеси на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium от В/Т отношения



Таким образом, в составах газобетона с добавкой Melment требуется большее количество воды, чем для образцов газобетона с добавкой Glenium. Это обусловлено свойствами применяемых химических добавок. Glenium – суперпластификатор, понижающий воду для реопластичных растворов. Поэтому в составах с Glenium водотвердое отношение меньше чем с добавкой Melment. Самый низкий показатель водотвердого отношения в образцах газобетона, в которых в качестве наполнителя применяется только известняк-ракушечник, без золы. Как нам известно, зола является гигроскопичным материалом, поэтому его применение требует большее количество воды для получения необходимой текучести бетонной смеси.

Экспериментально установлены оптимальные области водотвердого отношения для 3 приведенных составов неавтоклавного газобетона. В каждом из составов увеличение количества воды ведет к увеличению плотности. При максимальном водотвердом отношении показатель плотности немного уменьшается, но при таком количестве воды сроки схватывания увеличиваются. Поэтому оптимальными для 1, 2, 3 составов (табл. 4.3) являются минимальные показатели водотвердого отношения равные соответственно 0,54; 0,433; 0,325.

4.1.3 Влияние продолжительности тепло-влажностной обработки на прочностные свойства неавтоклавного газобетона

Неавтоклавные (гидратационного твердения) ячеистые бетоны - твердеют в естественных условиях, при электропрогреве или в среде насыщенного пара при атмосферном давлении. Тепловлажностная обработка завершает технологический процесс производства изделий из ячеистого бетона. Установление оптимального режима запаривания - важнейшая задача, так как мощность заводов определяется в значительной степени производительностью автоклавов. С.А.Мироновым и другими авторами установлено, что при назначении оптимальных режимов запаривания газобетонных изделий



необходимо также учитывать физические процессы, которые происходят на отдельных стадиях автоклавной обработки [152-157].

Нами были проведены исследования по изучению влияния продолжительности тепловлажностной обработки (ТВО) на прочностные свойства полученных нами составов неавтоклавного газобетона (табл. 4.3). Также целью экспериментов является установление оптимальной продолжительности времени ТВО для эффективного твердения бетона.

Смесь для ячеистого бетона изготавливалась в лабораторных условиях. Прочность на изгиб и на сжатие испытывались на образцах размерами 40×40×160 мм. Плотность испытываемых образцов в пределах 520-760 кг/м³. Образцы подвергали тепловлажностной обработке при 90-95 °С после 24 часов после заливки. Режим обработки 4 часа, 6 часов и 8 часов. Для сравнения представлены образцы без тепловлажностной обработки, которые твердели в обычных условиях в течение 28 суток.

В таблице 4.6 показаны физико-механические свойства ячеистого бетона исследованных композиций.

В составах неавтоклавного газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment (1 состав табл. 4.3) максимальные показатели прочности на сжатие имеют в зависимости от плотности образцы без ТВО, $R_{сж} = 3,93 \text{ МПа}$, при $\gamma = 730 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 4.6-Физико-механические свойства газобетона

№	γ , кг/ м ³	Ризг., МПа	Рсж, МПа									
	4 часа			6 часов			8 часов			Без ТВО		
1а	590	0,97	1,31	656	0,90	1,77	520	0,43	0,99	730	0,74	3,93
1б	585	0,96	1,58	657	0,69	1,70	525	0,42	0,71	713	0,76	2,88
1в	600	0,99	1,60	658	0,80	2,02	520	0,49	0,91	730	0,89	3,31
2а	696	1,05	2,27	722	0,88	2,92	630	0,93	2,04	763	1,22	3,69
2б	678	1,02	1,86	720	0,90	2,85	635	0,85	2,36	760	1,13	5,40
2в	677	1,17	1,9	713	1,16	3,37	634	0,87	2,57	745	1,62	5,46
3а	752	1,74	3,13	688	1,00	2,93	631	0,84	1,78	725	1,40	4,41
3б	747	1,68	2,74	693	0,75	3,57	636	0,92	1,95	723	1,60	4,64
3в	737	1,60	3,06	687	0,96	2,86	631	0,71	1,55	723	1,58	4,50



По показателю прочности на изгиб лучшие результаты имеют образцы, которые подвергали ТВО в течение 4 часов. Максимальное значение $R_{изг} = 0,99$ МПа при $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$. В составе неавтоклавного газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment, если потребуется ТВО, то можно пропаривать образцы всего 4 часа, так как последующее увеличение продолжительности обработки не приводит к значительному увеличению скорости набора прочности газобетона (рис. 4.10).

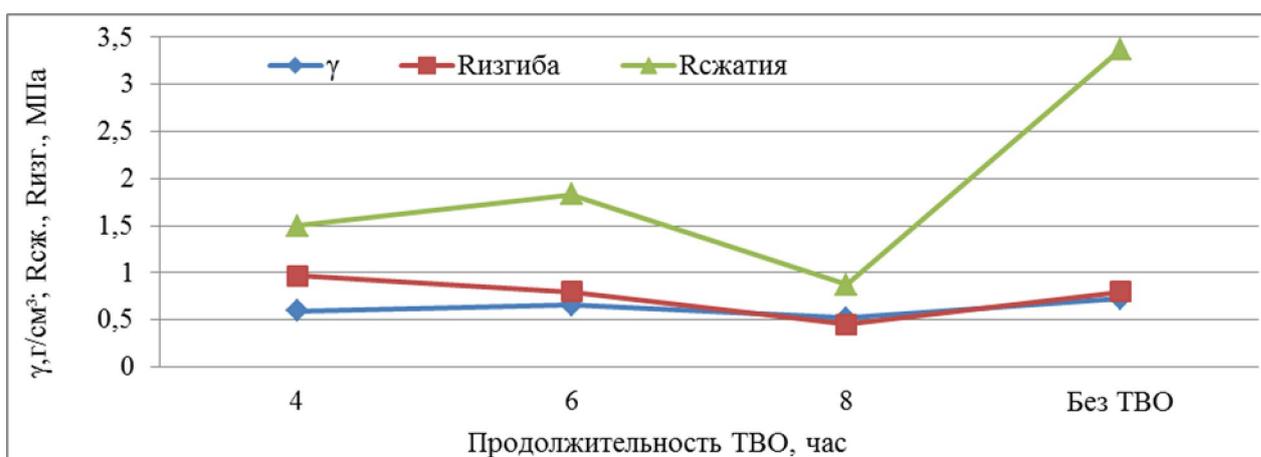
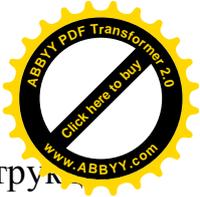


Рис.4.10.График зависимости прочности от продолжительности ТВО (газобетон на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment)

В образцах неавтоклавного газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium (2 состав табл.4.3) прочностные показатели лучше, чем в составе газобетона с добавкой Melment. Здесь также максимальные показатели прочности в зависимости от плотности имеют образцы без ТВО $R_{сж} = 5,46$ МПа, $R_{изг} = 1,62$ МПа при $\gamma = 745 \text{ кг/м}^3$. С увеличением продолжительности ТВО прочность на сжатие увеличивается (и рис.4.11). Наряду с положительным эффектом ускорением твердения газобетона продолжительность тепловой обработки оказывает и некоторое отрицательное влияние на свойства газобетона. Показатель прочности на изгиб уменьшается при 6-8 часовой обработке, чем при продолжительности 4 часа. Это может быть обусловлено главным образом нарушением структуры газобетона, в результате возникающих при подъеме температуры внутреннего давления в слабом бетоне вследствие разницы в коэффициентах теплового



расширения влаги, воздуха и твердых составляющих. Причинами деструкции газобетона также могут быть миграция влаги в теле бетона и неизбежные перепады температуры в бетоне по сечению. Таким образом, в составе неавтоклавного газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium оптимальным временем продолжительности тепловой обработки установлено 4 ч. Последующее увеличение продолжительности тепловой обработки до 6-8 часов не целесообразно.

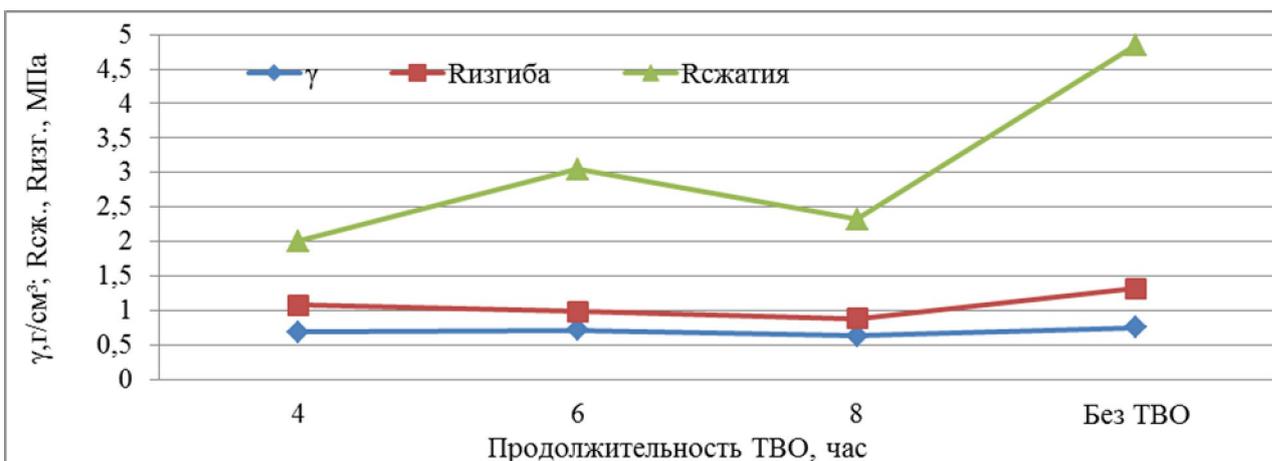


Рис.4.11.График зависимости прочности от продолжительности ТВО (газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium)

В составе неавтоклавного газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium по показателю прочности на изгиб образцы с продолжительностью ТВО 4 часа имеют лучшие результаты, максимальный равен $R_{изг}=1,74$ Мпа при $\gamma =752$ кг/м³. Прочность на изгиб образцов без ТВО лучше, чем у образцов с ТВО 6 и 8 часов. Максимальные показатели прочности на сжатие имеют образцы без ТВО $R_{сж}=4,64$ Мпа при $\gamma =723$ кг/м³. В составе неавтоклавного газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium, если не требуется ускорения процесса твердения, то наиболее эффективные условия твердения для этих образцов это в обычных условиях в течение 28 суток (рис. 4.12).

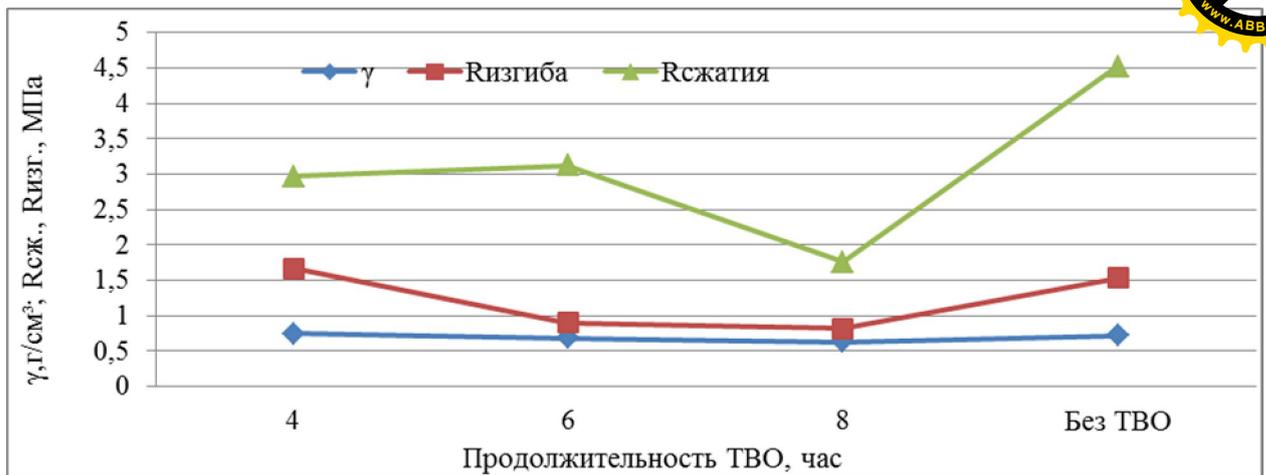


Рис.4.12. График зависимости прочности от продолжительности ТВО (газобетон на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium)

Исследования показали наиболее эффективные условия твердения представленных составов неавтоклавного газобетона на основе золы и известняка-ракушечника. Для образцов неавтоклавного газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment (1 состав табл. 4.3) оптимальное время пропаривания составляет 4 часа. Образцы газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium (2, 3 состав табл. 4.3) без ТВО показали лучшие прочностные результаты по сравнению с пропаренными образцами. Таким образом, эксперименты показали, что тепловлажностная обработка не приводит к существенным изменениям скорости гидратации портландцемента по сравнению с образцами нормального твердения.

Процесс твердения бетона это сложное физико-химическое явление, при котором минералы портландцементного клинкера, взаимодействуя с водой, образуют новые соединения. Вода проникает в внутренние частицы цемента постепенно, в результате все новые его порции вступают в химическую реакцию. Поэтому и бетон твердеет постепенно. Даже через несколько месяцев твердения внутренняя часть зерен цемента еще не успевает вступить в реакцию с водой.

Для эффективного набора прочности газобетона без тепловлажностной обработки необходимо обеспечить благоприятные условия твердения. Это



необходимая положительная температура помещения $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью окружающего воздуха не менее 90%. Поэтому образцы газобетона после распалубки нужно покрыть пленкой либо поливать водой для нормального набора прочности. В случае испарения влаги в бетоне, твердение цементного камня практически прекратится. Это обусловлено тем, что внутренняя часть многих зерен портландцемента не успевает вступить в реакцию с водой. Поэтому для достижения газобетоном необходимой прочности надо избегать его преждевременного высыхания.

Проведен анализ набора прочности оптимальных составов газобетона в обычных условиях с течением времени. На рисунках 4.13-4.15 приведены графики набора прочности неавтоклавного газобетона в течение 3, 7, 14, 28 суток. При условии, что образцы газобетона набирают 100% прочность при 28 сутках, то при 3, 7, 14 сутках набирают соответствующие проценты прочности на сжатие 33%, 58%, 79%.

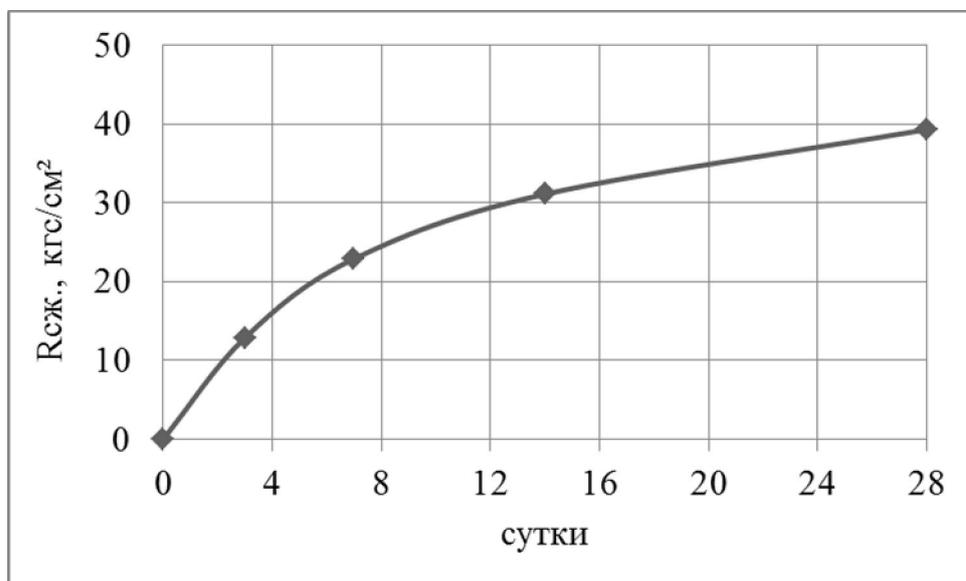


Рис.4.13. График нарастания прочности газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment

Так как образцы с ТВО испытывали на прочность в период 7 суток жизни, то газобетон не успевал набрать прочность как у образцов без ТВО. Высокая прочность образцов без ТВО также может быть обусловлена минералогическим составом цементного клинкера. С большим содержанием



минерала C_3S -60%, участвующим в процессе нарастания прочности цемента в течение 28 суток. Минимальным содержанием в составе портландцемента C_3A -6,9% активного минерала в течение первых суток жизни бетонной смеси.

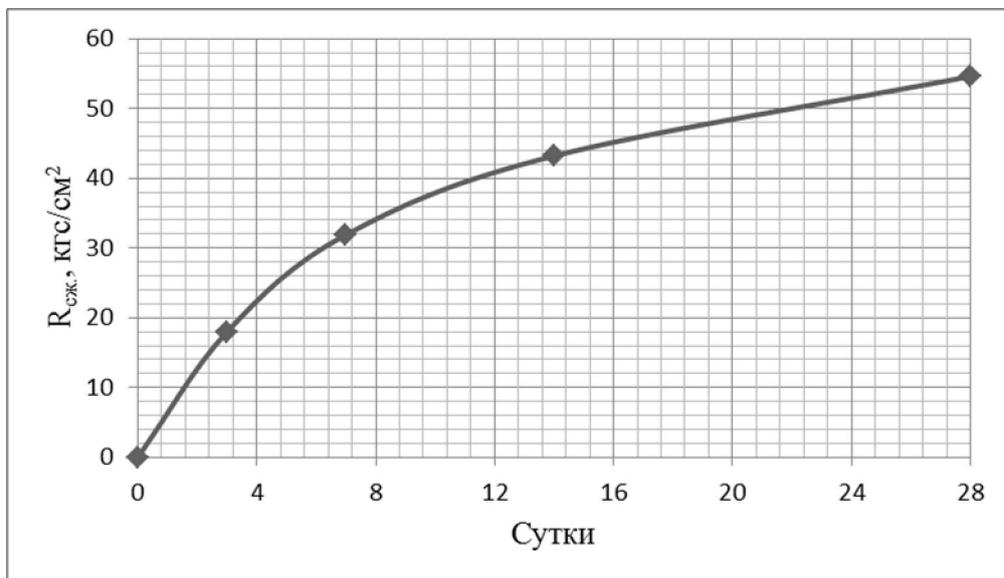


Рис.4.14. График нарастания прочности газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium

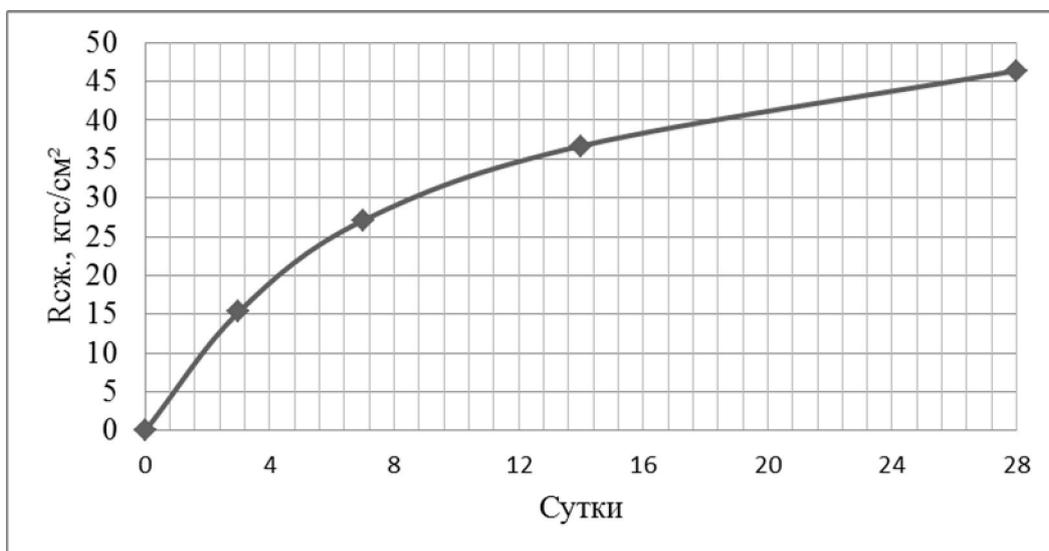


Рис.4.15. График нарастания прочности газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium

Исследования показали, что для приведенных составов наиболее благоприятные условия твердения это в обычных условиях. Так как ТВО не улучшают свойств исследуемых газобетонов, его можно применять только при необходимости производственных площадках, объеме парка форм, сокращении



продолжительности обрачиваемости средств. Оптимальное время пропаривания установлено 4 часа, дальнейшее увеличение продолжительности ТВО не целесообразно. Сокращение продолжительности ТВО и его исключение из производства сокращает энергетические затраты и снижает себестоимость неавтоклавного газобетона [158].

4.2 Исследование структуры и фазового состава неавтоклавного газобетона

Отличительным свойством теплоизоляционных материалов является высокая пористость, существенно снижающая их теплопроводность. На теплопроводность большое влияние оказывают вид пористой структуры материала, размер и форма пор. Лучшую теплоизоляционную способность имеют материалы с замкнутыми сферическими порами [159].

С увеличением размеров пор и превращением их в открытые каналы ухудшаются теплозащитные свойства. Поэтому всегда стремятся создавать теплоизоляционные материалы с равномерно распределенной мелкопористой структурой. Такая структура не только улучшает теплотехнические свойства, но и повышает прочностные характеристики [160].

Для полного изучения структуры и характера пористости образцов неавтоклавного газобетона на данном этапе исследовательской работы проводились электронно-микроскопические исследования, а также был выполнен рентгенофазовый анализ для определения фазового состава опытных образцов газобетона.

Изучение макроструктуры газобетона (табл.4.3) на основе золы и известняка ракушечника проводились на образцах в возрасте 28 сут.

Макроструктуры образцов приведены на рисунках 4.16, 4.17, 4.18. Для сравнения была изучена макроструктура газобетонов на основе золы (рис.4.19).

Из приведенных рисунков 4.16-4.19 макроструктуры газобетона видны характер пористости для каждого из составов. В образцах газобетона на основе

зола-известняка-ракушечника и добавки Melment можно увидеть неравномерный характер пористости (рис.4.16). Затвердевший ячеистый бетон состоит из замкнутых и открытых макропор и межпоровых стенок, содержащих микропоры и микрокапилляры. В идеале поры должны иметь правильную сферическую форму, должны быть закрытыми и равномерно распределяться по объему бетона.

<p>Рис.4.16. Макроструктура образцов неавтоклавного газобетона (1 состав - зола+известняк-ракушечник + Melment)</p>	<p>Рис.4.17. Макроструктура образцов неавтоклавного газобетона (состав 2- зола+известняк-ракушечник + Glenium)</p>	<p>Рис.4.18. Макроструктура образцов неавтоклавного газобетона (состав 3- известняк-ракушечник + Glenium))</p>	<p>Рис.4.19. Макроструктура образцов неавтоклавного газобетона на основе золы</p>

Здесь наряду с мелкими порами преобладают поры с большим диаметром. Газобетон на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium (2 состав табл.4.3) имеет равномерную макроструктуру (рис.4.17). Поры одинаковые и мелкие, но присутствует небольшое количество сообщающихся пор. В составе с наполнителем известняк-ракушечник добавкой Glenium (3 состав табл.4.3) поры равномерно распределены по всему объему бетона (рис. 4.18). Поры мелкие и правильной геометрической формы. Газобетон с золой уноса Бишкекской ТЭЦ имеет неравномерную пористую структуру. Наряду со сферическими присутствуют макропоры неправильной формы, с рваными краями, встречаются цепочки из 2-3 пор длиной 5-6мм (рис.4.19). Ниже приведены микроснимки исследованных составов, представленных на рис. 4.20.

Максимальный диаметр пор в первом и во втором составах равен 1,5 мм, преобладают поры размером 1мм и менее (рис.4.20).

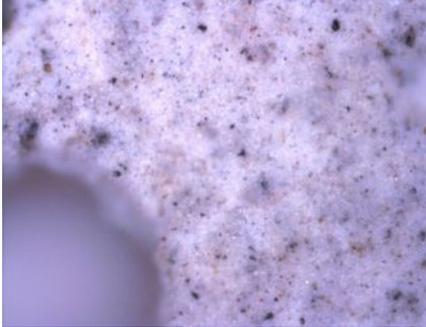
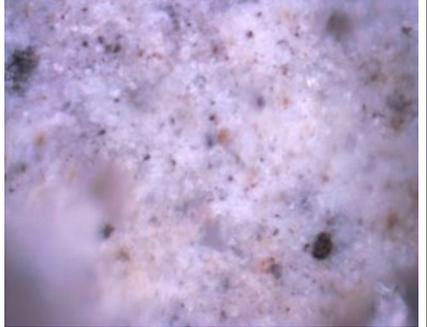
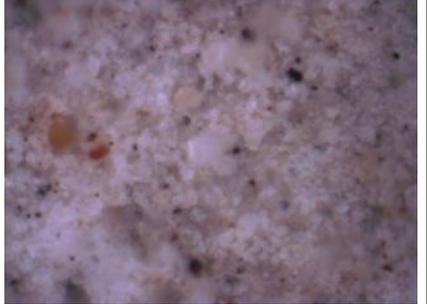
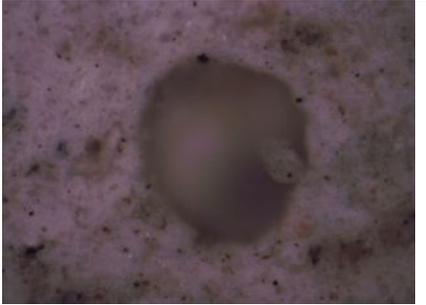
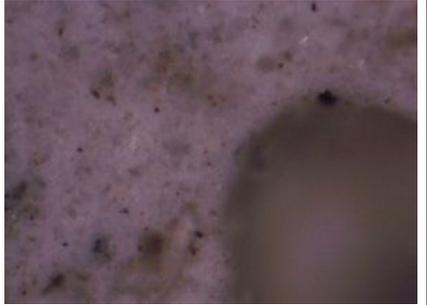
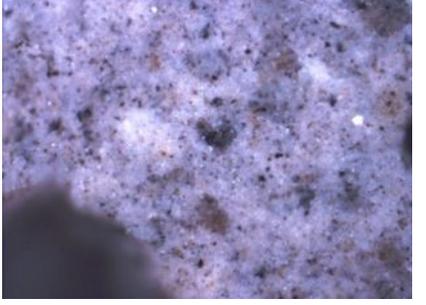
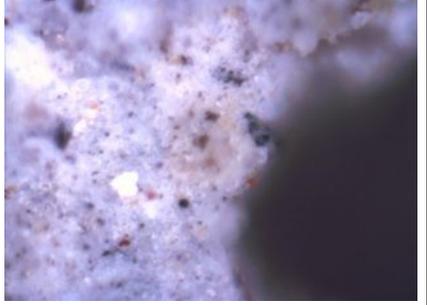
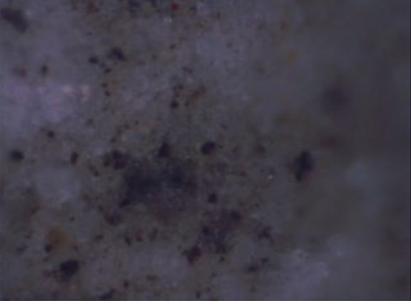
		
1 Газобетон (зола+известняк-ракушечник + Melment) X200	1 Газобетон (зола+известняк-ракушечник + Melment) X500	1 Газобетон (зола+известняк-ракушечник + Melment) X1000
		
2 Газобетон (зола+известняк-ракушечник + Glenium) X200	2 Газобетон (зола+известняк-ракушечник + Glenium) X500	2 Газобетон (зола+известняк-ракушечник + Glenium) X1000
		
3 Газобетон (известняк-ракушечник + Glenium) X200	3 Газобетон (известняк-ракушечник + Glenium) X500	3 Газобетон (известняк-ракушечник + Glenium) X1000
		
4 Газобетон (зола + Glenium) X200	4 Газобетон (зола + Glenium) X500	4 Газобетон (зола + Glenium) X1000

Рис.4.20. Микроструктура образцов неавтоклавнога газобетона



Для расчета фазового состава исходного сырья для неавтоклавного газобетона использована методика расчета критериев оценки сырья и композиций составов, предложенная в работе Касымовой М.Т [137].

Целью расчета критериев оценки исходного сырья является акцентирование внимания на природе химико-минералогического состава и описания процессов фазообразования. Наличие примесных оксидов, содержащиеся в разных процентных соотношениях в минералогическом составе исходного сырья будут влиять на физико-механические и эксплуатационные свойства неавтоклавногазобетона.

Содержание силикатной, железистой и активных фаз в исследуемых составах газобетона рассчитывалось по химическому составу оксидов, входящих в химический состав исходных сырьевых материалов. Результаты расчета критериев оценки сырья выполненные нами приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7- Содержание силикатной и железистой фаз в составах газобетона

№	Составы	Содержание силикатной фазы	Содержание железистой фазы	Содержание активных фаз
		$\frac{CaO + MgO}{SiO_2}$	$\frac{FeO}{SiO_2}$	$K_a = \frac{(CaO + MgO + FeO)\%}{SiO_2\%}$
1	Наполнитель: зола, известняк- ракушечник	1,64	0,11	1,75
	Цемент-45%	1,55	0,11	1,66
	Цемент-40%	1,47	0,1	1,57
	Зола-40%	1,26	0,1	1,36
	Зола-45%	1,1	0,1	1,2
2	Наполнитель: известняк ракушечник	4,52	0,158	4,68
	Цемент-45%	4,8	0,16	4,96
	Цемент-40%	5,12	0,15	5,28
	Цемент-35%	5,5	0,15	5,65

Экспериментальными исследованиями, выполненными автором [137], установлено, что наличие силикатных CaO, MgO, SiO₂ и железистых оксидов

$FeO + Fe_2O_3$, в составе сырьевых материалов, влияют на проявление вяжущих свойств при пропаривании, в условиях автоклавного твердения и в нормальных условиях. Коэффициент активности позволяет дать экспресс-оценку качеству материала о пригодности его к использованию в качестве сырья для производства вяжущих веществ.

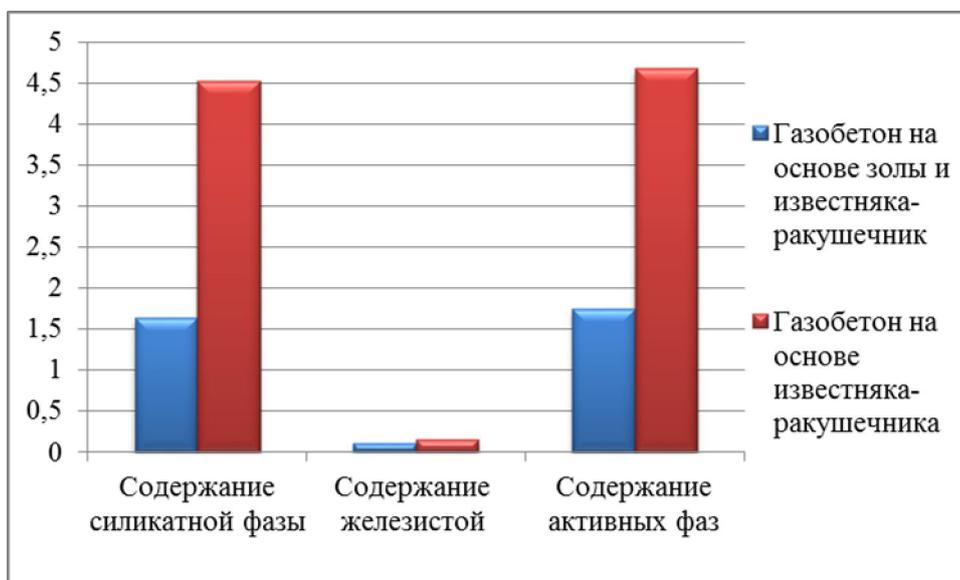


Рис.4.21. Содержание активных фаз образцов неавтоклавного газобетона

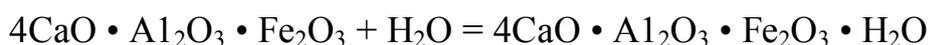
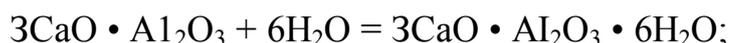
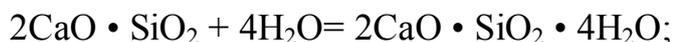
По результатам расчета коэффициента активности ($K_{акт}$) (табл. 4.7) все 3 состава газобетона можно отнести к высокоактивным. Показатели расчета (рис.4.21.) содержания силикатной и железистой фазы свидетельствуют о проявлении высоких вяжущих свойств сырьевых материалов для производства неавтоклавного газобетона, что обуславливает формирование прочного цементного камня.

В образцах газобетона на основе золы и известняка-ракушечника коэффициенты активности снижаются при уменьшении количества портландцемента и при увеличении содержания золы Бишкекской ТЭЦ. В составе газобетона на основе известняка-ракушечника уменьшение количества портландцемента приводит к увеличению коэффициента активности ($K_{акт}$).

Для более полного изучения процессов структурообразования был выполнен рентгенофазовый анализ для определения фазового состава опытных образцов газобетона на основе золы и известняка-ракушечника (табл. 4.3).



Процесс твердения портландцемента весьма сложный физикохимический процесс гидратации силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция. При затворении цемента водой основные минералы, растворяясь, гидратируются по уравнениям:



В зависимости от вида исходных материалов, температуры среды, условий твердения в процессе твердения вяжущих веществ могут возникать различные новообразования, отличающиеся составом, структурой и вяжущими свойствами.

Тонкодисперсные частицы известняка-ракушечника присутствующие в составе газобетона могут принимать активное участие в процессах структурообразования цементного камня, способствуя росту прочности цементного камня. Адсорбционная способность известнякового заполнителя, позволяет продуктам гидратации вяжущего проникнуть в поверхностный слой частиц заполнителя, и укрепить их степень сцепления с цементным камнем. Это подтверждается опытами исследования влияния измельченных карбонатных заполнителей на свойства бетонов [161- 165].

При затворении портландцементного клинкера водой мелкодисперсные частицы карбонатных наполнителей обрастают новообразованиями более полно, чем частицы кварца. В результате этого эффекта в зонах контакта образуются прочные соединения [166].

Рентгенограммы для оптимальных составов представлены на (рис. 4.22 - рис.4.24). В дисперсно-армированных составах фибры стекловолокна и асбест выступают центрами новообразований продуктов гидратации портландцемента.

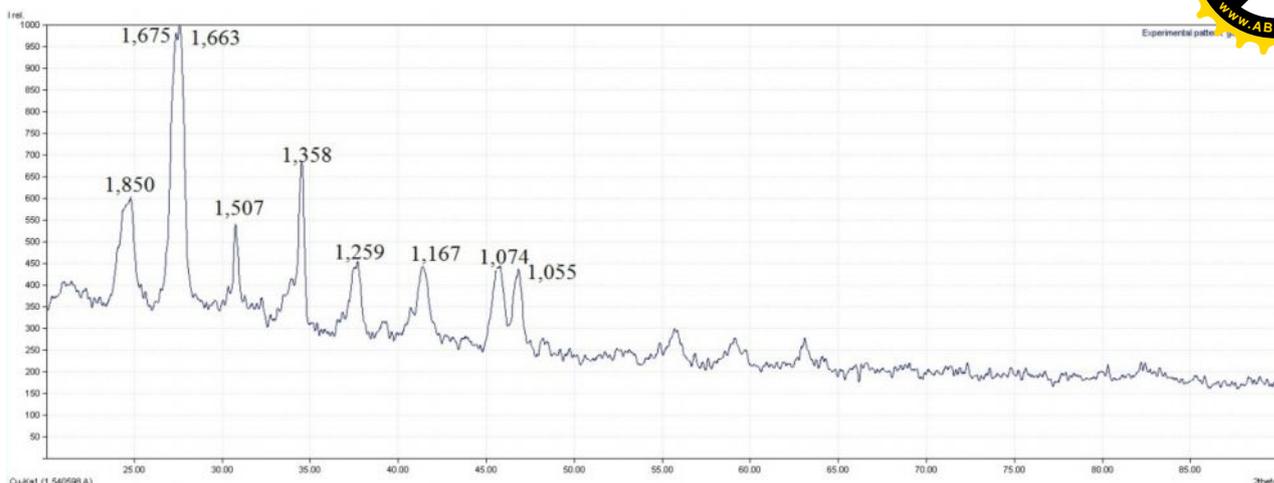


Рис.4.22.Рентгенограмма газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment

При расшифровке полученных рентгенограмм в образцах газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment обнаружены продукты гидратации силикатов кальция с соответствующими межплоскостными расстояниями: ксонотлит $5\text{CaO}\cdot 5\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ (d , нм =1,675; 1,358 Å); риверсайдит $2\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,663 Å); альбит $2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,507 Å). Из продуктов гидратации алюминатов и алюферритов кальция в составе газобетона присутствуют пики следующих фаз: этtringит $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,850 Å); гидроалюминат кальция $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (d , нм= 1,167 Å). Обнаружены фаза кристаллохимической группы граната альмандин $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ (d , нм=1,259 Å), а также пики следующих фаз с соответствующими межплоскостными расстояниями: монтмориллонит $\text{Al}_2[\text{OH}]_2\cdot (\text{Si}_4\text{O}_{10})\cdot m\text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,074 Å); каолинит $\text{Al}_2(\text{OH})_4\cdot (\text{Si}_2\text{O}_5)$ (d , нм=1,055 Å).

В образцах газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium также обнаружены гидросиликаты кальция: $2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,82; 1,65 Å), фазы кристаллохимической группы гранатов альмандин $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ (d , нм=1,054 Å) и гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ (d , нм=1,156 Å). Кроме этих фаз обнаружены пики следующих минералов: гейландит $(\text{Ca}, \text{Na}_2)(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16})\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,362 Å); брюстерит $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16})\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,069 Å); монтмориллонит $\text{Al}_2[\text{OH}]_2\cdot (\text{Si}_4\text{O}_{10})\cdot m\text{H}_2\text{O}$ (d , нм=1,074 Å);

анальцим $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)\text{H}_2\text{O}$ ($d, n_m=1,051; 0,897 \text{ \AA}$); тремолит $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})$ ($d, n_m=0,928 \text{ \AA}$).

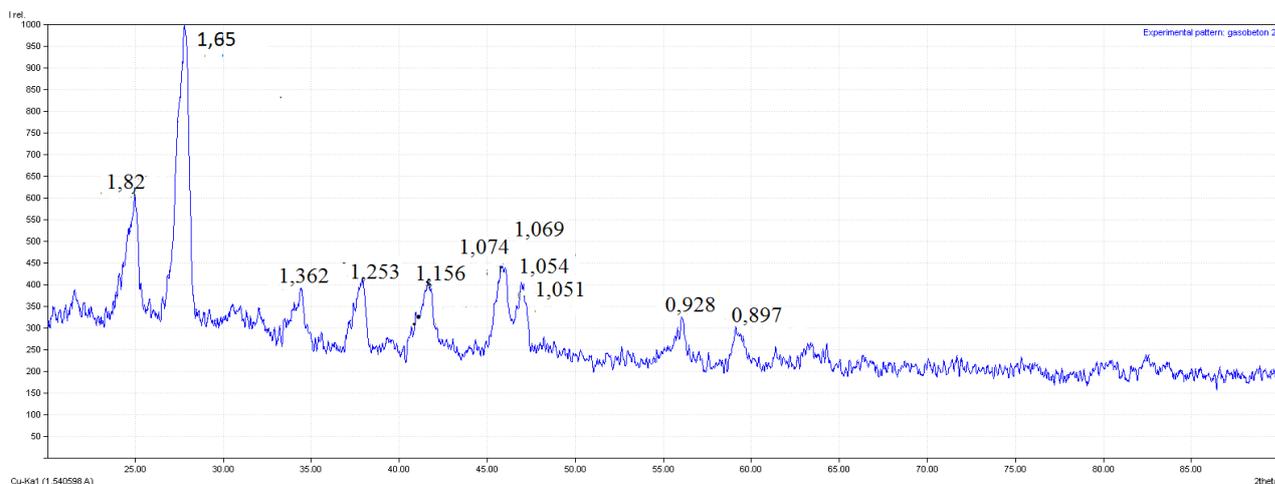


Рис.4.23.Рентгенограмма газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium

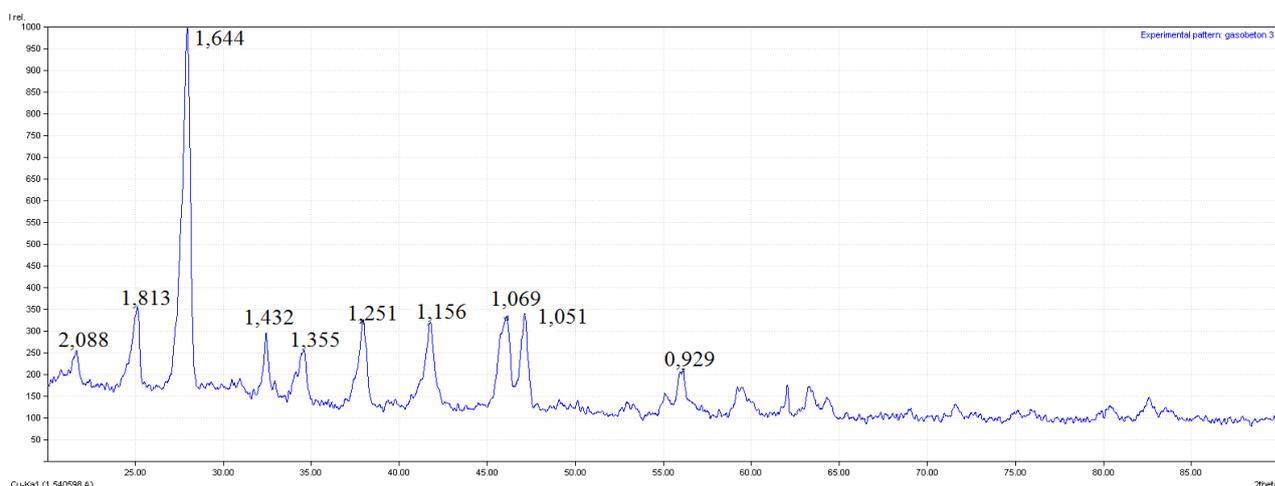


Рис.4.24.Рентгенограмма газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium

В составе газобетона из известняка-ракушечника и добавки Glenium присутствуют продукты гидратации силиката кальция: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d, n_m=2,088 \text{ \AA}$), гиролит $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d, n_m=1,813 \text{ \AA}$) и гиллебрандит $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d, n_m=1,432 \text{ \AA}$). Из кристаллохимической группы гранатов обнаружены андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_2$ ($d, n_m=1,644 \text{ \AA}$) и гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ($d, n_m=1,156 \text{ \AA}$). Также обнаружены пики следующих фаз: кальцит CaCO_3 ($d, n_m=1,355 \text{ \AA}$); глауконит $\text{K}_4(\text{Fe,Al})_2(\text{OH})_2(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($d, n_m=1,251 \text{ \AA}$); брюстерит $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($d, n_m=1,069 \text{ \AA}$); анальцим $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)\text{H}_2\text{O}$ ($d, n_m=1,051 \text{ \AA}$); марганцовый кальцит $(\text{Ca,Mn})\text{CO}_3$ ($d, n_m=0,929 \text{ \AA}$).



4.3 Технические и эксплуатационные свойства неавтоклавного газобетона (теплопроводность, морозостойкость и водопоглощение)

Анализ структуры образцов на основе золы и известняка-ракушечника показал, что из всех составов газобетоны с добавкой Glenium имеют равномерно распределенную пористую структуру, что положительно влияет на свойства газобетона, в том числе и на теплопроводность. Поэтому дальнейшей задачей исследовательской работы стало изучение теплопроводности этих составов.

Коэффициенты теплопроводности измерялись на образцах-кубах размерами 100 x 100 x 100 мм из подобранных оптимальных составов неавтоклавного газобетона. Теплопроводность определялась на приборе ИТ-МГ4 «Зонд». Принцип работы прибора с цилиндрическим зондом основан на создании нестационарного теплового режима и измерения скорости изменения температуры зонда, помещенного в образец.

Для проведения измерений в контролируемом образце высверливалось отверстие, соответствующее длине и диаметру зонда. Продолжительность измерений составили не более 10 мин.

В таблице 4.8 представлены результаты измерений коэффициента теплопроводности.

Таблица 4.8- Коэффициенты теплопроводности

Состав газобетона	Плотность, кг/м ³	λ , Вт/м. К 1 измерение	λ , Вт/м. К 2 измерение	λ , Вт/м. К 3 измерение
Зола+изв-к-ракуш-к+Melment	745	0,168	0,169	0,159
	731	0,155	0,158	0,157
	723	0,152	0,158	0,155
Зола+изв-к-ракуш-к+Glenium	708	0,148	0,149	0,149
	716	0,145	0,145	0,144
	724	0,142	0,148	0,145
Изв-к-ракуш-к+Glenium	798	0,173	0,177	0,180
	783	0,181	0,180	0,174
	792	0,180	0,175	0,181



В первом (с добавкой Melment) и во втором (с добавкой Glenium) составах с наполнителем из золы и известняка-ракушечника были получены газобетоны марки D 700, с показателями плотности в пределах 708-745 кг/м³. Коэффициент теплопроводности этих образцов находится в пределах 0,142-0,169 Вт/м. С. Третий состав газобетона с известняком-ракушечником и добавкой Glenium марки D 800 с плотностью 783-798 кг/м³ имеет коэффициенты теплопроводности в пределах 0,173-0,183 Вт/м. С, что соответствует требованиям ГОСТ 25485-89.

Согласно теории Давидюк А.Н. [167] коэффициент теплопроводности материала зависит от его средней плотности и коэффициента теплопроводности скелета, который может изменяться до 70% в зависимости от природы материала. В связи с этим, подбирая соответствующий минеральный состав пористых заполнителей, можно влиять на величину коэффициента теплопроводности ячеистого бетона, не только регулируя среднюю плотность, но и изменяя коэффициент теплопроводности скелета материала. В таблице 4.9 представлены коэффициенты теплопроводности основных использованных сырьевых материалов:

Таблица 4.9- Коэффициент теплопроводности сырьевых материалов

Показатель	Материал			
	Цемент (раствор)	Кирпич зольный	Известняк-ракушечник	Песок
ρ , кг/м ³	-	1240	1000-1800	1500
λ_0 , Вт/м °С	0,47	0,16-0,24	0.27-0.63	0,97-1,33

Как видно из таблицы 4.9 использованные нами наполнители зола и известняк-ракушечник имеют низкие коэффициенты теплопроводности по сравнению с традиционным наполнителем для газобетона песком. В предложенных составах самый низкий коэффициент теплопроводности равный $\lambda=0,142$ Вт/м °С имеет образец с плотностью 724кг/см³.

Из анализа структуры газобетон на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium отличается отсутствием сообщающихся пор и их



правильными сферическими формами. Несмотря на это, образцы газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium показывают лучшие результаты коэффициента теплопроводности по сравнению с образцами газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium. Это обусловлено присутствием в его составе золы, с более низким коэффициентом теплопроводности.

Образцы газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium имеют низкие коэффициенты теплопроводности по сравнению с образцами газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment, несмотря на одинаковую марку D 700 и составные компоненты (зола, известняк-ракушечник). Этому способствует равномерно распределенная пористая структура, улучшающая физико-механические свойства газобетона. Таким образом, исследования показали, что на теплопроводность газобетона оказывают влияние структура бетона и коэффициент теплопроводности применяемых сырьевых материалов. Нам удалось получить неавтоклавный газобетон из природного и техногенного сырья Кыргызстана с показателями коэффициента теплопроводности соответствующими требованиям ГОСТ 25485-89 для неавтоклавного ячеистого бетона и не превышающих значений 0,18-0,15 Вт/м °С для D700 и 0,21-0,18 Вт/м °С для D800.

Для оптимальных составов (см. табл. 4.3, стр. 83) [168-171] были определены водопоглощение и морозостойкость. Водопоглощение определяли как среднеарифметическое результатов определения нескольких образцов: для образцов газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment 46,4-60%; для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium 38,8-49,67%; для газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium 36,5-38,6%. Также установлены марки по морозостойкости F25, F25, F24 для 1,2 и 3 состава соответственно.

4.4 Внедрение и технико-экономическая эффективность применения неавтоклавного газобетона

Внедрение неавтоклавного газобетона в производственных условиях было выполнено в ОсОО «Зенит М» (г. Бишкек).



Рис 4.25. Производство неавтоклавного газобетона в ОсОО «Зенит М»

Технологический процесс производства газобетона включает следующие операции: -помол отходов от производства облицовочных плит из известняка ракушечника до необходимой удельной поверхности; дозировка компонентов сырьевой смеси- цемента, золы, известняка-ракушечника, просеянных сквозь сито 0,63 мм, воды и химических добавок, в необходимых соотношениях; перемешивание воды с наполнителями (зола, известняк-ракушечник); перемешивание полученной смеси с цементом и химическими добавками; -дозировка компонентов алюминиевой суспензии – алюминиевой пудры ПАП-1, воды; - перемешивание алюминиевой суспензии в смесителе (суспензиаторе);



- совместное перемешивание всех компонентов газобетонной смеси;
- заливка газобетонной смеси в металлические формы размером 50x30x20 см.;
- предварительная выдержка газобетонного массива;
- резка горбушки газобетонных блоков;
- твердение образцов в обычных условиях в течение 28 суток.

Таблица 4.10-Составы композиций газобетона

№	Компоненты газобетона	Содержание компонентов, масс%		
		Состав 1	Состав 2	Состав 3
1	Цемент	32,41	34,89	37,69
2	Зола	19,44	20,94	-
3	Известняк ракушечник	12,68	13,54	37,26
4	Алюминий	0,05	0,07	0,06
5	Гидроксид натрия	0,06	0,07	0,08
6	Химическая добавка	0,16	0,28	0,3
7	Вода	35,19	30,22	24,61

Теплоизоляционные блоки из опытной партии размерами 50x30x20 см обладали следующими физико-механическими характеристиками:

Таблица 4.11-Основные физико-механические свойства газобетона

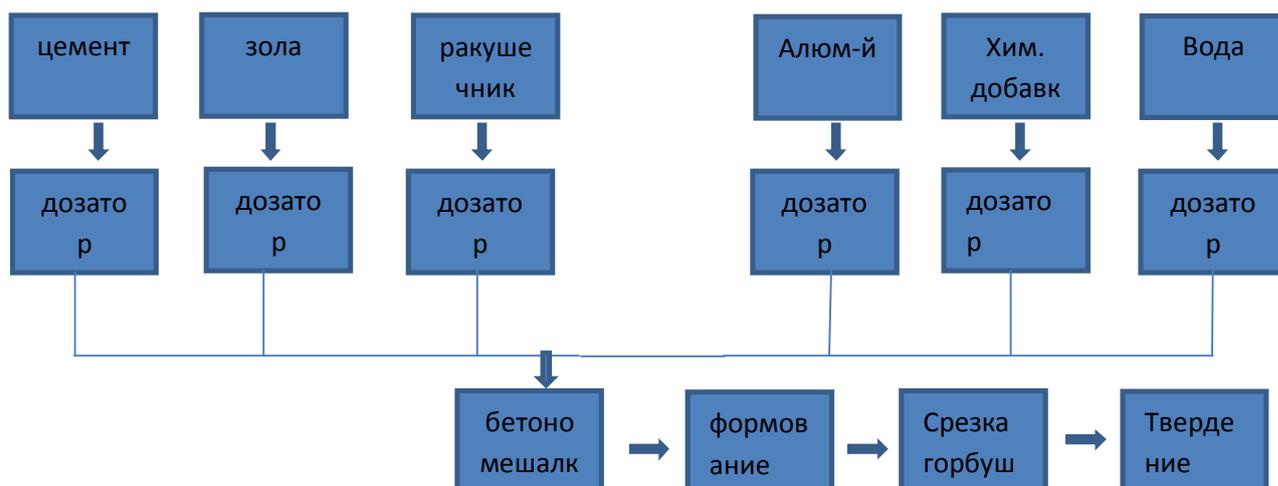
№ п/п	Характеристики	Состав 1	Состав 2	Состав 3
1.	Плотность, кг/м ³	600	634	636
2.	Предел прочности при изгибе, МПа	0,99	0,87	0,92
3.	Предел прочности при сжатии, МПа	1,60	2,57	1,95

Экономическая эффективность блоков предлагаемых составов обусловлена снижением стоимости за счет применения в качестве наполнителей отходов производства и снижением энергозатрат.

Затраты на ресурсы (с учетом доставки) и экономическая эффективность производства газобетона из известняка-ракушечника и золы Бишкекской ТЭЦ рассчитаны в сравнении с газобетонным блоком неавтоклавного



Схема производства неавтоклавного газобетона



твердения изготовленным в ОсОО «Зенит М». Данные сравнительного анализа представлены в таблице 4.12, 4.13 и 4.14

Таблица 4.12-Сравнительный анализ стоимости сырья и материалов для производства 1м³ неавтоклавного газобетона марки D 600

№ п/п	Статьи расхода	Ед. изм.	Стоимость ед., сом	Газобетон марки D 600		Предлагаемые составы газобетона марки D 600					
						Состав 1		Состав 2		Состав 3	
						Расход	Цена	Расход	Цена	Расход	Цена
1	Цемент	т	3771	0,28	1052	0,29	1097	0,29	1097	0,29	1097
2	Песок	т	500	0,25	125	-	-	-	-	-	-
3	Известняк ракушечник	т	1200	-	-	0,114	133,6	0,11	135	0,287	345
4	Известь	кг	9	50	450	-	-	-	-	-	-
5	Зола	т	153	-	-	0,174	26,7	0,17	26,71	-	-
6	Гидроксид натрия	кг	40	-	-	0,58	23,28	0,58	23,28	0,58	23,28
7	Сульфанола	кг	70	0,1	7	-	-	-	-	-	-
8	Алюминиевая пудра	кг	157	0,7	109	0,47	73,10	0,58	91,37	0,47	73,1
9	Химическая добавка	кг	170	-	-	1,46	247,3	-	-	-	-
10	Химическая добавка	кг	120	1,2	144	-	-	2,33	279,4	2,33	279,4
11	Σ				1889		1604		1653		1818
12	Фибра	кг	150	-	-	0,47	69,84	0,47	69,84	0,47	69,84
13	Σ				1889		1673		1722		1887



Таблица 4.13 - Калькуляция себестоимости и отпускной цены газобетонных блоков

№	Наименование	Цена 1 м ³ газобетонных блоков, сом				Примеч.
		Газобетон марки D 600	Предлагаемые составы газобетона марки D 600			
			Состав 1	Состав 2	Состав 3	
1	Сырье и материалы	1931	1604	1653	1818	По табл 4.12
2	Вспомогательные материалы	57	48	50	55	3% от п.1
3	Услуги сторонних организаций	94	80	83	91	5% от п.1
4	Энергозатраты	40	40	40	40	По нормам расхода
5	Затраты на оплату труда	340	340	340	340	По нормам расхода
6	Отчисления на соц. нужды с предприятия	59	59	59	59	17,25% от п.5
7	Накладные расходы	410	348	359	395	21,7% от п.1
8	Амортизация основных фондов	50	50	50	50	По нормам расхода
9	Себестоимость	2939	2569	2633	2847	Сумма п.1-8
10	Рентабельность	588	514	527	569	20% от п.9
11	Налоги	59	51	53	57	10% от п.10
12	Отпускная цена	3585	3134	3212	3473	Сумма п.9-11
13	Оптовая цена с НДС	4015	3510	3597	3890	НДС равен 12% от п.12

Экономический эффект, рассчитанный на получение 1м³ неавтоклавного газобетона по снижению себестоимости составляет:

для первого состава $\mathcal{E} = 4015 - 3510 = 505$ сом;

для второго состава: $\mathcal{E} = 4015 - 3597 = 418$ сом;

для третьего состава: $\mathcal{E} = 4015 - 3890 = 125$ сом.

Таблица 4.14 - Калькуляция себестоимости и отпускной цены газобетонных блоков при дисперсном армировании

№	Наименование	Цена 1 м ³ газобетонных блоков, сом				Примеч.
		Газобетон марки D 600	Предлагаемые составы газобетона марки D 600			
			Состав 1	Состав 2	Состав 3	
1	Сырье и материалы	1889	1673	1722	1887	По табл 4.12



2	Вспомогательные материалы	57	50	52	57	3% от п.1
3	Услуги сторонних организаций	94	84	86	94	5% от п.1
4	Энергозатраты	40	40	40	40	По нормам расхода
5	Затраты на оплату труда	340	340	340	340	По нормам расхода
6	Отчисления на соц. нужды с предприятия	59	59	59	59	17,25% от п.5
7	Накладные расходы	410	363	374	409	21,7% от п.1
8	Амортизация основных фондов	50	50	50	50	По нормам расхода
9	Себестоимость	2939	2659	2722	2936	Сумма п.1-8
10	Рентабельность	588	532	544	587	20% от п.9
11	Налоги	59	53	54	59	10% от п.10
12	Отпускная цена	3585	3243	3321	3582	Сумма п.9-11
13	Оптовая цена с НДС	4015	3633	3719	4012	НДС равен 12% от п.12

При дисперсном армировании фибрами экономический эффект, рассчитанный на получение 1м^3 неавтоклавного газобетона по снижению себестоимости составляет:

для первого состава $\mathcal{E} = 4015 - 3633 = 382$ сом;

для второго состава: $\mathcal{E} = 4015 - 3719 = 296$ сом;

для третьего состава: $\mathcal{E} = 4015 - 4012 = 3$ сом.

Широкое применение блоков неавтоклавного газобетона на основе золы и известняка-ракушечника позволит получить значительный экономический эффект в сфере промышленного производства изделий. Опытно-промышленное апробирование и технико-экономические расчеты показали, что использование отходов камнепиления известняка-ракушечника и золы Бишкекской ТЭЦ позволит существенно расширить сырьевую базу для производства строительных материалов и в какой-то мере решить экологическую проблему охраны окружающей среды.



Заклучение по главе 4

1. Были проведены исследования по влиянию температуры воды затворения на свойства газобетона. В результате для получения легкого фиброгазобетона установлена оптимальная температура воды равная 20° для всех составов с золой. Температура воды должна быть выше 40° для фиброгазобетона с известняком ракушечником и добавкой Melment.
2. Экспериментально установлены оптимальные области водотвердого отношения для приведенных составов неавтоклавного газобетона. В каждом из составов увеличение количества воды ведет к увеличению плотности. При максимальном водотвердом отношении показатель плотности немного уменьшается, но при таком количестве воды сроки схватывания увеличиваются. Поэтому оптимальными являются минимальные показатели водотвердого отношения равные: для образцов газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment 0,54; для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium 0,433; для газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium 0,325.
3. Установлены наиболее эффективные условия твердения представленных составов неавтоклавного газобетона. Для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment оптимальное время ТВО составляет 4 часа. Образцы газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium (2, 3 состав табл.4.3) без ТВО показали лучшие прочностные результаты по сравнению с пропаренными образцами. То есть для этих составов наиболее благоприятные условия твердения это в обычных условиях.
4. Изучены структура оптимальных составов неавтоклавного газобетона на основе золы и известняка-ракушечника. Анализ структуры газобетонов показал, что образцы с добавкой Glenium обладают равномерной мелкопористой структурой. Поры характеризуются правильной сферической формой. Максимальный диаметр пор равен 1,5мм, преобладают поры размером 1мм.



5. Определены фазовые составы опытных образцов неавтоклавного газобетона. Рассчитаны коэффициенты активности ($K_{акт}$): для образцов газобетона на основе золы и известняка-ракушечника $K_{акт}=1,75$ и $K_{акт}=4,68$ для газобетона на основе известняка-ракушечника. Также выполнен расчет содержания силикатной и железистой фазы для сырьевых материалов газобетона. Содержание силикатной и железистой фаз для состава газобетона с золой и известняком-ракушечником равны 1,64 и 0,11 соответственно. Для неавтоклавного газобетона с наполнителем известняк-ракушечник содержание силикатной и железистой фаз равны 4,52 и 0,158 соответственно. Результаты расчета коэффициента активности, наличия силикатных CaO, MgO, SiO₂ и железистых оксидов FeO + Fe₂O₃ свидетельствуют о проявлении высоких вяжущих свойств сырьевых материалов для производства неавтоклавного газобетона, что обуславливает формирование прочного цементного камня.
6. Определены коэффициенты теплопроводности для оптимальных составов. Для состава газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment с плотностью 723-745 кг/м³ теплопроводность равна 0,152-0,169 Вт/м. Коэффициент теплопроводности образцов на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium с показателями плотности в пределах 708-724 кг/м³ находится в пределах 0,142-0,149 Вт/м. С. Газобетон с известняком-ракушечником и добавкой Glenium марки D800 с плотностью в пределах 783-798 кг/м³ имеет коэффициенты теплопроводности в равные 0,173-0,183 Вт/м. С, что соответствует требованиям ГОСТ 25485-89.
7. Для оптимальных составов были определены водопоглощение и морозостойкость. Водопоглощение и марку по морозостойкости определяли как среднеарифметическое результатов определения нескольких образцов: для образцов газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment 46,4-60% и F25; для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium 38,8-49,67%, F25; для газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium 36,5-38,6%, F24.



8. Выполнены опытно-производственная апробация результатов исследования в ОсОО «Зенит М». Рассчитаны стоимости 1 м^3 разработанных составов неавтоклавнога газобетона марки D600 в сравнении с газобетонным блоком изготовленным на предприятии. Расчеты показали целесообразность применения отходов камнепиления из известняка-ракушечника и золы Бишкекской ТЭЦ в качестве наполнителей в производстве газобетона. Экономический эффект на получение 1 м^3 неавтоклавнога газобетона составил для состава с золой БТЭЦ, известняком-ракушечником и добавкой Melment 505 сом, при дисперсном армировании 382 сом. Для газобетона на основе золы БТЭЦ, известняка-ракушечника и добавки Glenium экономический эффект составил 418 сом, при дисперсном армировании 296 сом. При получении 1 м^3 газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium экономический эффект составил 125 сом, при дисперсном армировании 3 сома.



ВЫВОДЫ

1. Научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения газобетона на основе природного и техногенного сырья Кыргызстана. Проведены эксперименты по подбору состава неавтоклавного газобетона из местного природного и техногенного сырья. В результате экспериментов были подобраны эффективные наполнители для неавтоклавного газобетона и установлены влияние различных добавок на их свойства.
2. Методом экспериментально-статистического моделирования выполнена оптимизация рецептуры и свойств газобетона. В результате, для обеспечения требуемых физико-механических свойств, золы в составе газобетона должно быть в пределах 22...30% и Melment 0,5...0,8%. Установлено, что дальнейшее повышение количества добавки не улучшает прочностные показатели и приводит к росту водопоглощения.
3. Проведены исследования по дисперсному армированию неавтоклавного газобетона фибрами асбеста и стекловолокна. Установлено что увеличение количества фибр ведет к уменьшению показателя плотности и увеличению прочности на сжатие и изгиб. Так при 6% асбеста минимальная плотность равна 0,716 г/см³, прочность на изгиб равна 1,58 МПа и прочность на сжатие 3 МПа. Самый высокий показатель прочности на сжатие имеет образец с 0,3% фибр стекловолокна, $\gamma = 0,741$ г/см³ R сж. =3,68МПа. Также установлена оптимальная длина фибр стекловолокна равная 0,5 см для дисперсного армирования газобетона.
4. Проведен анализ микроструктуры дисперсно-армированного газобетона оптимального составов. В результате был определен характер пористости и размеры диаметра пор газобетонов. Максимальный диаметр равен 1,5 - 2 мм, преобладают поры размером 1мм и менее. Установлено, что образцы газобетона на основе известняка-ракушечника имеют равномерную пористую структуру.
5. Были проведены исследования по влиянию температуры воды затворения на свойства газобетона. В результате для получения легкого фиброгазобетона установлена оптимальная температура воды равная 20° для всех составов с



золой. Температура воды должна быть выше 40° для фиброгазобетона известняком ракушечником и добавкой Melment.

6. Экспериментально установлены оптимальные области водотвердого отношения для приведенных составов неавтоклавного газобетона. В каждом из составов увеличение количества воды ведет к увеличению плотности. При максимальном водотвердом отношении показатель плотности немного уменьшается, но при таком количестве воды сроки схватывания увеличиваются. Поэтому оптимальными являются минимальные показатели водотвердого отношения равные: для образцов газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment 0,54; для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium 0,433; для газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium 0,325.

7. Установлены наиболее эффективные условия твердения представленных составов неавтоклавного газобетона. Для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment оптимальное время ТВО составляет 4 часа. Образцы газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium (2, 3 состав табл.4.3) без ТВО показали лучшие прочностные результаты по сравнению с пропаренными образцами. То есть для этих составов наиболее благоприятные условия твердения это в обычных условиях.

8. Изучены структура оптимальных составов неавтоклавного газобетона на основе золы и известняка-ракушечника. Анализ структуры газобетонов показал, что образцы с добавкой Glenium обладают равномерной мелкопористой структурой. Поры характеризуются правильной сферической формой. Максимальный диаметр пор равен 1,5мм, преобладают поры размером 1мм.

9. Определены фазовые составы опытных образцов неавтоклавного газобетона. Рассчитаны коэффициенты активности ($K_{акт}$): для образцов газобетона на основе золы и известняка-ракушечника $K_{акт}=1,75$ и $K_{акт}=4,68$ для газобетона на основе известняка-ракушечника. Также выполнен расчет содержания



силикатной и железистой фазы для сырьевых материалов газобетона. Содержание силикатной и железистой фаз для состава газобетона с золой и известняком-ракушечником равны 1,64 и 0,11 соответственно. Для неавтоклавного газобетона с наполнителем известняк-ракушечник содержание силикатной и железистой фаз равны 4,52 и 0,158 соответственно. Результаты расчета коэффициента активности, наличия силикатных CaO, MgO, SiO₂ и железистых оксидов FeO + Fe₂O₃ свидетельствуют о проявлении высоких вяжущих свойств сырьевых материалов для производства неавтоклавного газобетона, что обуславливает формирование прочного цементного камня.

10. Определены коэффициенты теплопроводности для оптимальных составов. Для состава газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment с плотностью 723-745 кг/м³ теплопроводность равна 0,152-0,169 Вт/м. Коэффициент теплопроводности образцов на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium с показателями плотности в пределах 708-724 кг/м³ находится в пределах 0,142-0,149 Вт/м. С. Газобетон с известняком-ракушечником и добавкой Glenium марки D800 с плотностью в пределах 783-798 кг/м³ имеет коэффициенты теплопроводности в равные 0,173-0,183 Вт/м. С, что соответствует требованиям ГОСТ 25485-89.

11. Для оптимальных составов были определены водопоглощение и морозостойкость. Водопоглощение и марку по морозостойкости определяли как среднеарифметическое результатов определения нескольких образцов: для образцов газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Melment 46,4-60% и F25; для газобетона на основе золы-известняка-ракушечника и добавки Glenium 38,8-49,67%, F25; для газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium 36,5-38,6%, F24.

12. Выполнены опытно-производственная апробация результатов исследований в ОсОО «Зенит М». Рассчитаны стоимости 1 м³ разработанных составов неавтоклавного газобетона марки D600 в сравнении с газобетонным блоком изготовленным на предприятии. Расчеты показали целесообразность применения отходов камнепиления из известняка-ракушечника и золы



Бишкекской ТЭЦ в качестве наполнителей в производстве газобетона. Экономический эффект на получение 1 м^3 неавтоклавного газобетона составил для состава с золой БТЭЦ, известняком-ракушечником и добавкой Melment 505 сом, при дисперсном армировании 382 сом. Для газобетона на основе золы БТЭЦ, известняка-ракушечника и добавки Glenium экономический эффект составил 418 сом, при дисперсном армировании 296 сом. При получении 1 м^3 газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium экономический эффект составил 125 сом, при дисперсном армировании 3 сома.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ухова Т.А. Перспективы развития производства и применения ячеистых бетонов [Текст] / Т.А. Ухова // Ячеистые бетоны в современном строительстве: Сб. докладов, междунар. науч.-практ. конф. - СПб., 2004. - С. 29-33.
2. Казаков Ю.Н. Малоэтажные градостроительные комплексы с энергосберегающими строительными системами и ячеистыми бетонами [Текст] / Ю.Н. Казаков // Ячеистые бетоны в современном строительстве: Сб. докладов, междунар. науч.-практ. конф. - СПб., 2004. - С. 54-61.
3. Вылезагин В.П. Стены здания в несъемной опалубке из теплоизоляционного пенобетона [Текст] / В.П. Вылезагин, В.А. Пинскер // Ячеистые бетоны в современном строительстве: Сб. докладов, междунар. науч.-практ. конф. - СПб., 2004. - С. 6-9.
4. Пинскер В.А. Состояние и проблемы производства и применения ячеистых бетонов [Текст] / В.А. Пинскер // Ячеистые бетоны в современном строительстве: Сб. докладов, междунар. науч.-практ. конф. - СПб., 2004. - С. 1-5.
5. Кондратьев В.В. Структурно-технологические основы получения «сверхлегкого» пенобетона [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / В.В. Кондратьев. - Казань, 2003. - 22 с.
6. Курнышев Р.А. Особо легкий поробетон [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Р.А. Курнышев - М, 2004 - 23 с.
7. Елистраткин М.Ю. Ячеистый бетон на основе ВНВ с использованием отходов КМА [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / М.Ю. Елистраткин. - Белгород, 2004 - 22 с.
8. Донченко О.М. Конструкции наружных стен гражданских зданий из пенобетона [Текст] / О.М. Донченко, И.А. Дегтев, Ю.С. Пириев // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. - 2003. - № 4. - С. 78-84.



9. Как построить индивидуальный жилой дом из ячеистого бетона [Текст] / практич. Пособие / [Н.П. Сажнев, Л.В. Соколовский, И.С. Журавлев и др.]- Минск.: НПО «Стринко», 2003.-145с.
10. Филатов А.Н. Вопросы производства и применения изделий из ячеистого бетона пониженной плотности [Текст] / А.Н. Филатов, Т.И. Вудвуд, В.А. Иваненко и др. // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве: Сб. науч. тр.-Днепропетровск: ПГАСА, 2005.-С.81-89
11. Новикс Ю. Применение ячеистобетонных изделий в Латвии [Текст] / Ю.Новикс // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве: Сб. науч. тр.-Днепропетровск: ПГАСА, 2005.-С. 189-193
12. Шаленный В.Т. Особенности организации возведения каркасных зданий с ограждениями из ячеистобетонных материалов [Текст] / В.Т. Шаленный, В.П. Холоднюк // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве: Сб. науч. тр.-Днепропетровск: ПГАСА, 2005.-С. 202-204
13. Моргун Л.В. Возможность применения неавтоклавного фибропенобетона в крупнопанельном домостроении [Текст] / [Л.В. Моргун, В.Н. Моргун, Е.В. Пименова и др.] // Строительные материалы. – 2011. – №3. – С. 19 – 22.
14. Моргун В.Н. Конструкционные возможности фибропенобетона неавтоклавного твердения [Текст] / [В.Н. Моргун, А.Ю. Богатина, Л.В. Моргун, П.В. Смирнова] // Строительные материалы. – 2012. – №4. – С. 14 – 19.
15. Филатов А.Н. О производстве и применении в строительстве термоблоков из ячеистого бетона [Текст] / А.Н. Филатов, В.В. Хомяков и др. //Белорусский строительный рынок, 2004, № 9-10, С.39-41.
16. Подлuzский Е.Я. Опыт НИИСтроительных материалов по разработке и освоению производства ячеистого бетона [Текст] / Е.Я. Подлuzский // Строительные материалы и изделия. - 2002. - № 3. - С.22-24.
17. Соколовский Л.В. Научно-технические проблемы производства и применения ячеистого бетона в республике Беларусь [Текст] / Л.В. Соколовский // Строительные материалы и изделия. - 2004. - № 5. - С.20-22.



18. Сажнев Н.П. Развитие ячеистого бетона в республике Беларусь [Текст] / Н.П. Сажнев и др. // Строительные материалы и изделия. - 2005, - № 2. - С.6-11.
19. Гончарик В.Н. Научно-техническое обеспечение развития ячеистобетонных изделий автоклавного твердения в республике Беларусь [Текст] / В.Н. Гончарик, В.В. Коньков // Строительные материалы и изделия. - 2005. - № 2. - С.4-6.
20. Сажнев Н.П. Производство ячеистобетонных изделий [Текст]: Теория и практика. 2-е изд. / [Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич и др.]-Мн.: Стринко, 2004. - 384 с.
21. Паплавскис Я.М. Предпосылки дальнейшего развития производства и применения ячеистого бетона в современных условиях [Текст] / Я.М. Паплавскис и др. // Строительные материалы. - 1996. - № 3. - С.2-6.
22. Сажнев Н.П. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика [Текст] / [Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич и др.]-Мн.:Стринко, 1999.- С 22-24
23. Федин А.А. Ячеистые бетоны на основе местного и попутного сырья [Текст] / А.А Федин.- М.: ВНИИНТИИЭПСМ, 1989.-С-8
24. Ахундов А.А. Состояние и направления развития производства легких бетонов в России [Текст] / А.А. Ахундов, Ю.В. Гудков // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы международной научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону. - 2000. - С. 50 - 55.
25. Воробьев Х.С. Бескрановая конвейерная линия “Виброблок” для производства стеновых блоков из ячеистого бетона [Текст] / Х.С. Воробьев // Строительные материалы. - 1993. - № 7. - С. 2 - 4.
26. Соколовский Л.В. Производство и применение ячеистого бетона автоклавного твердения в Республике Беларусь [Текст] / [Л.В. Соколовский, Н.П. Сажнев, Н.Г. Шелег, Н.Н. Сажнев] // Теория и практика производства и



применения ячеистого бетона в строительстве: Сб. науч. тр.-Днепропетро
ПГАСА, 2005.-С.67-78

27. Ежов В.Б. Производство изделий из газозолобетона в АО завод ЖБИ “Бетфор” [Текст] / В.Б. Ежов // Бетон и железобетон. - 1996. - № 2. - С. 14-15.

28. Граник Ю. Г. Применение ячеистого бетона в строительстве Российской Федерации [Текст] / Ю. Г. Граник // Строительный рынок. - Минск. - 2006 - № 9-10.

29. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий [Текст] / Ю.П. Горлов.- М.: Высшая школа, 1989. С. 77—89.

30. Волженский А.В. Изготовление изделий из неавтоклавного газобетона [Текст] / А.В. Волженский // Строительные материалы. - 1993. - № 8. - С. 12-13.

31. Паплавскис Я.М. Предпосылки дальнейшего развития производства и применения ячеистого бетона в современных условиях [Текст] / Я.М. Паплавскис и др. // Строительные материалы. - 1996. - № 3. - С. 2 - 6.

32. Дикун А.Д. Дилатометрические исследования газозолобетона [Текст] / А.Д. Дикун, Т.В. Златинская // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез. докл. 6-ой Республ. конф. - Таллин, 1987. ч. 1. - 79 с.

33. Сахаров Г.П. Сравнительная оценка надежности газобетона разных видов и структуры [Текст] / Г.П. Сахаров, Б.Н. Виноградов, С.В. Кропивницкий // Бетон и железобетон. - 1987. -№3,- С. 6-8.

34. Гладков Д.И. Баротехнология ячеистобетонных изделий [Текст] / Д.И. Гладков, Л.А. Сулейманова, А.Б. Мананов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы международной научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону. - 2000. - С. 125 - 127.

35. Гладков Д.И. Новая технология ячеистобетонных изделий [Текст] / Д.И. Гладков, Л.А. Сулейманова, А.В. Калашников // Строительные материалы. - 1999. - № 7 - 8. - С. 26-27.



36. Пивинский Ю. Е. Керамические вяжущие и керамобетоны [Текст] / Ю. Е. Пивинский.- М.: Металлургия, 1990. - 272 с.
37. Пивинский Ю. Е. Изучение вибрационного формования керамобетонов. Формовочные системы и основные закономерности процесса [Текст] / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. - 1993. - № 6. - С. 8 - 14.
38. Данилов Б.П., Богданов А.А. Ограждающие конструкции из ячеистого бетона переменной плотности [Текст] / Б.П. Данилов, А.А. Богданов.- М.: Стройиздат, 1973. - 102 с.
39. Hebei. Technical Handbook / Edition 5 / CSR Hebei (Australia) - Ptyltd ACN 003.392.621.1992.220 с.
40. Laukaitis A. Influence of technological factors on porous concrete formation mixture and product properties. Summary of the research report presented for habilitation [Text] / Laukaitis A. // Kaunas University of Technology, 1999. 70 с.
41. Меркин А.П. Формирование макроструктуры ячеистых бетонов [Текст] / А.П. Меркин и др. // Строительные материалы. - 1963. - № 12. - С. 16-17.
42. Grauber C.A. Structural lightweight concrete in precast construction — properties, dimensioning, application [Text] / C.A. Grauber, T. Faust // BFT INTERNATIONAL. - 2007.-№2.-P.1 12-114.
43. Curbach M. Multiaxial strength of high-perfomance lightweight concrete-application potential in precoist constructions [Text] / M. Curbach, S. Scheerer // BFT INTERNATIONAL. - 2007.-№2.-P.1 16-117
44. Jones M.R. Behaviour and assessment of foamed concrete for fill and highway applications [Text] / M. R. Jones, A. McCarthy // Uses of foamed concrete Global construction: Ultimate concrete opportunities: Conference proceedings of International congress, Dundee, Scotland, 2005.-P.61-88.-ISBN 0-7277-3406-7.
45. Kearsley E.P. The effect of fibre reinforcing on the properties of foamed concrete [Text] / E.P. Kearsley, H.F. Mostert // Role of Concrete in



Sustainable Development: proceeding of International congress, Dundee, Scotland, 2003.-- P.557-566.

46. Giamiakou A. Potential of foamed concrete to enhance the thermal performance of low-rise dwellings [Text] / A. Giannakou, M.R. Jones // Concrete 2002: Innovations and developments in concrete materials and construction: proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, Thomas Telford, UK, 2002.-P.533-543.

47. Вирганская Н.О. Повышение технико-экономической эффективности производства изделий из ячеистого бетона.-Пром-ть автоклав. материалов и местных вяжущих. [Текст]: Сер.8: Обзор. Инф. / Н.О. Вирганская, А.В. Домбровский, М.Я. Кривицкий. -ВНИИЭСМ, 1977.

48. Меркин А.П., Зейфман М.И. Новые технологические решения в производстве ячеистых бетонов.-Пром-ть автоклав. материалов и местных вяжущих. [Текст]: Сер.8: Обзор. Инф. / А.П. Меркин, М.И. Зейфман.-ВНИИЭСМ, 1982.

49. Караханиди С.Г. Исследование зол Фрунзенской ТЭЦ и возможность получения на их основе изделий из ячеистых бетонов [Текст] / С.Г. Караханиди, Л.М. Платонова // Строительные материалы с использованием попутных продуктов промышленности республики. – ФПИ .: 1990., – С. 21 – 32.

50. Чернышов Е.М., Мысков В.В. Энергосберегающие технологические решения в производстве силикатных автоклавных материалов.- Пром-сть автоклав. материалов и местных вяжущих. Сер.8: Реф. инф. ВНИИЭСМ, 1981, вып.8.

51. Патент №2213716 Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона неавтоклавного твердения [Текст] / Шабанов В.Ф.; Павлов В.Ф.; Павлов И.В.; Павлова Н.А. 2002109822 Заявл. 2002.04.15 Оpubл. 2003.10.10, Бюл. №3.

52. Волженский А.В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А.В. Волженский и др. – М.: Стройиздат, 1984 – 255 с.



53. Патент №2303584 Способ изготовления изделий из неавтоклавного ячеистого золобетона [Текст] / Пятаев А.В., Пшонкин Н.Г. 2006106456 Заявл. 2006.03.01 Оpubл. 2007.07.27, Бюл. №3.
54. Патент № 2243189 Способ получения и состав смеси неавтоклавного газобетона [Текст] / Владимирова Е.Б., Красильникова О.Б., Нурумбетов Н.В., Уфимцев В.М. 2003124027 Заявл. 30.07.2003 Оpubл. 27.12.2004, Бюл. №3
55. Патент № 2134250 Способ получения неавтоклавного зольного ячеистого бетона [Текст] / Белов В.В.; Ильмер Е.И.; Карцева В.В. 97122172 Заявл. 30.12.1997 Оpubл. 10.08.1999, Бюл. №3
56. Паус К.Ф. Ячеистый бетон на основе отходов обогащения железистых кварцитов [Текст] / К.Ф. Паус, И.Е. Ильичев, Н.С. Юрина // Строительные материалы. – 1986. – №2. – С. 20 – 21.
57. Патент № 2284977 Сырьевая смесь для изготовления газобетона неавтоклавного твердения [Текст] / Долотова Р.Г., Смирнская В. Н., Верещагин В. И., Кара-Сал Б. К. 2005108970 Заявл. 30.03.2005 Оpubл. 01.2006, Бюл. №3
58. Эскуссон К.К. Использование зол и шлаков в производстве ячеистых бетонов за рубежом [Текст] / К.К. Эскуссон // Строительные материалы. – 1993. – №8. – С.18.
59. Курятников Ю.Ю., Кольцова С.А., Земцова Т.С. Влияние карбонатных наполнителей на физико-механические свойства газобетона неавтоклавного твердения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/32568130-Vliyanie-karbonatnyh-napolniteley-na-fiziko-mehnicheskie-svoystva-gazobetona-neavtoklavnogo-tverdeniya-yu-yu-kuryatnikov-s-a-kolcova-t-s.html> (дата обращения 20.10.2017)
60. Щукина Ю. В., Овчаренко Г. И. Неавтоклавный золо-цементный газобетон с химическими добавками. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ibeton.ru/a212.php> (дата обращения 20.10.2017)
61. Батрак А.И. Шлам зольный - сырье для производства ячеистого бетона [Текст] / А.И. Батрак // Строительные Материалы 2004 №4. С 22-23



62. Дворкин Л.И. Бесцементный неавтоклавный газобетон [Текст] / Дворкин, А.В. Мироненко, И.К. Шамбан // Строительные материалы. – 1990. – №11. С. 11 – 13.
63. Величко Е.Г. Неавтоклавный ячеистый шлакощелочной бетон [Текст] / Е.Г. Величко и др. // Строительные материалы. – 1995. – №4. С. 17 – 19.
64. Кривенко П.В. Жаростойкий газобетон на основе щелочного алюмосиликатного связующего [Текст] / П.В. Кривенко, Г.Ю. Ковальчук // Строительные Материалы 2001 №7.С 26-28
65. Krivenko P. Alkaline cements: Terminology, classification, aspects of durability [Text] / P. Krivenko // Proc. 10th Intern. Congress on the Chemistry of Cement. Goteborg, Sweden, 1997. P.46
66. Веретевская Н.Н. Основные технологические параметры и свойства газобетона на основе переработанной сланцевой золы [Текст] / Н.Н. Веретевская, Е.А. Галибина // Строительные материалы. -1981. - № 10.- С.17-18.
67. Аминев Г.Г. Малоцементный неавтоклавный ячеистый бетон [Текст] / Г.Г. Аминев // Строительные Материалы.- 2005.- №12.-С 50-51
68. Волженский А.В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А.В. Волженский и др. - М.: Стройиздат, 1984 – 255 с.
69. Воробьев Х.С. Вяжущие материалы для автоклавных изделий [Текст] / Х.С. Воробьев.- М: Стройиздат, 1972. – 287 с.
- 70.Гладких К.В. Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол [Текст] / К.В. Гладких. – М., Стройиздат, 1976. – 256 с.
71. Гладков Д.И. Новая технология ячеистобетонных изделий [Текст] / Д.И. Гладков, Л.А. Сулейманова, А.В. Калашников // Строительные материалы. – 1999. - №7 – 8. С. 26 – 27
72. Завадский В.Ф. Лигноминеральные строительные материалы [Текст] / В.Ф.Завадский // Строительные материалы. – 1997. – №8. – С. 3 – 5.



73. Завадский В.Ф. Неавтоклавный лигногазобетон [Текст] / В.Ф.Завадский, В.В.Безбородов // Изв.вузов. Строительство. – 1995. – № 2. С.65 – 67.
74. Курятников Ю.Ю. Сухие золосодержащие смеси для изготовления газобетона естественного твердения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2009.-С14.
75. Завадский В.Ф. Новый вид наполнителя для ячеистого бетона [Текст] / В.Ф. Завадский, Г.Н. Фомичева, И.В. Камбалина // Строительные Материалы 2004 №7.С 60-62
76. Фомичева Г.Н. Неавтоклавный газобетон на основе дисперсных отходов камнедробления [Текст]: автореф. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2005.-С4.
77. Пак А.А. Эффективная теплоизоляция труб скорлупами из газозолобетона [Текст] / А.А. Пак, О.Н. Крашенинников, Р.Н. Сухорукова // Строительные Материалы.- 2004.- №3.- С. 21-23
78. Вельский В.И. Справочник по специальным работам. Тепловая изоляция [Текст] / [В.И. Вельский, А. А. Бородин, Н.М.Зеликсон и др.]- М.: Стройиздат. 1973. 439 с.
79. Трескина Г. Пылевидные отходы - эффективные наполнители для неавтоклавного газобетона [Текст] / Г. Трескина, Ю. Чистов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. -2002. -№5. -С.10-11.
80. Чернов А., Шикирянский А. Перспективы неавтоклавного ячеистого бетона [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.betonmagazine.ru (дата обращения 20.10.2017)
81. Селиванов В.М. Сухие газобетонные смеси на основе вторичного сырья и отходов промышленности [Текст] / В.М. Селиванов, А.Д. Шильцина, А.И. Гныря //Строительные Материалы.- 2000.- №9.- С. 10-11.
82. Иванов К.С. Неавтоклавные ячеистые бетоны на основе шлакощелочных вяжущих и диатомита [Текст] / К.С. Иванов, Н.К. Иванов // Строительные Материалы.- 2004.- №8.- С. 42-44.



83. Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Белгород, 2011.-С23.
84. Сошкина Г.Н. Легкие бетоны неавтоклавного твердения на основе зол и отходов производства минеральной ваты [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2002.-С23.
85. Шагитов И.Н. Конструкционно-теплоизоляционный газобетон на основе местного сырья с добавкой серы и шлама производства хлористого бария [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Казань, 2004.-С9.
86. Елистраткин М.Ю. Ячеистый бетон на основе ВНВ с использованием отходов КМА [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Белгород, 2004.-С9.
87. Махмаюсупов У.Ю. Технология газобетона естественного твердения для применения его в монолитном строительстве [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Москва, 1993.-С3.
88. Ахметов Д.А. Ячеистый бетон для ограждающих изделий высотных зданий [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Алматы, 2010.-С4.
89. Долотова Р.Г. Неавтоклавные ячеистые бетоны с использованием природного и техногенного низкокремнеземистого сырья [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. –Томск, 2006.-С16.
90. Тугарина А.О. Фиброгазозолобетон с использованием продуктов растительных полимеров [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – С-П, 2009.-С14.
91. Щукина Ю.В. Неавтоклавный золо-цементный газобетон с хлоридом и сульфатом натрия [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2007.-С9.]
92. Шестеркин М.Н. Ячеистый бетон неавтоклавного твердения на основе стеклобоя [Текст]: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Москва. - 2002. - 119 с.
93. Нгуен Т.Т. Эффективный неавтоклавный газобетон с метакаолинитом [Текст]: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Москва. - 2014. – 70 с.



94. Дерябин П.П. Технология получения ячеистых бетонов способом форсированного порообразования [Текст]: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Новосибирск. - 2002. – 69 с.
95. Савельев А.А Тенденции и перспективы микроармирующего волокна [Текст] / А.А Савельев, П.С. Олюнин // Популярное бетоноведение.- 2009.- №4 (30). - С. 54-56
96. Савельев А.А Роль модифицирующих волокон в формировании структуры цементного камня [Текст] / А.А. Савельев, А.Ю. Тарасова // Технологии бетонов.- 2011. - №11-12. - С. 50-51.
97. Савельев А.А. Волокнисто-бетонные конструкции повышенной огнестойкости [Текст] / А.А. Савельев // Технологии бетонов.- 2012.- №7-8.- С. 16-17
98. Василевская Н.Г. Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй [Текст] / Н.Г. Василевская, И.Г. Енджиевская, И.Г. Калугин // Вестник ТГАСУ.- 2011.- №3. - С. 153-158
99. Савелев А.А. Фибробетонные конструкции с использованием полимерных волокон «ВСМ-бетон» для объектов транспортного строительства [Текст] / [А.А. Савелев, Е.А. Антропова, И.А. Бегун, В.Г. Решетников] // Материалы.- 2014.- №3.- С. 94-99
100. Савелев А.А. Новые прикладные технологии бетонов [Текст] / А.А. Савелев // Технологии бетонов.- 2012.- №9-10. - С. 23-25
101. Дидевич.А. Фибробетоны: новый взгляд на традиционный композит [Текст] / А. Дидевич. // Технологии бетонов.- 2011.- №11-12.- С. 72-74
102. Савельев А.А Уникальные волокна в строительстве как комплексное улучшение функциональных свойств бетона [Текст] / А.А. Савельев, П.С. Олюнин // Экспозиция.- 2007.- №5.- С. 30-31
103. Морозов В.И. Эффективность применения фибробетона в конструкциях при динамических воздействиях [Текст] / В.И. Морозов, Ю.В. Пухаренко // Вестник МГСУ.- 2014.- №3. С. 189-196



104. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирования прочности фибробетонов [Текст] / Ю.В. Пухаренко // Строительные материалы. – 2004. – № 10. – С. 47–51.
105. Рабинович Ф.Н. Эффективность применения полимерных фибр для дисперсного армирования бетона [Текст] / Ф.Н. Рабинович, С.М. Баев // Промышленное и гражданское строительство.- 2009.- №9.- С. 38-41
106. Рабинович Ф.Н. Эффективность применения полимерных фибр для дисперсного армирования бетона [Текст] / Ф.Н. Рабинович, С.М. Баев // Промышленное и гражданское строительство.- 2009.- №8.- С. 28-31
107. Перфилов В.А. Фибробетоны с высокодисперсными волокнистыми наполнителями [Текст] / В.А. Перфилов, А.В. Аткина, О.А. Кусмарцева // Междунар. Научн.-практ. Конф. «Малозэтажное строительство» в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области». –Волгоград: ВолгГАСУ, 2009.-С. 89-91
108. Akers S.A. «Aging behavior of cellulose fiber cement composites in natural weathering and accelerated tests», [Text] /Akers S.A. S. and Studinka J.B.// The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 11, 93 – 97.
109. Andonian B. «Strength and fracture properties of cellulose fiber reinforced cement composites» [Text] / B. Andonian, Y.W. Mai, and B. Cotterell // The International Journal of Cement Composites, 1 (3), 151 – 158.
110. Bentur A. «The microstructure and aging of cellulose fiber reinforced cement composites cured in a normal environment» [Text] / Bentur A. and Akers S.A. S. (1989). // The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 11, 99 – 109.
111. Bergstrom S.G. «Durability of alkali-sensitive fibres in concrete» [Text] / Bergstrom S.G. and Gram H. (1984). //The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 6 (2), 75 – 80.
112. Blankenhorn P.R. «Temperature and moisture effects on selected properties of wood fiber-cement composites» [Text] / Blankenhorn P.R., Silsbee M.R.,



- Blankenhorn B.D., DiCola M., and Kessler D.M. R. (1999).-Cement and Concrete Research, 29, 773 – 741.
113. Coutts R.S. P. «Microstructure of autoclaved refined wood-fiber cement mortars» [Text] / Coutts R.S. P. and Kightly P. (1982) // Journal of Materials Science, 17, 1801 – 1806.
114. Marikunte S. «Statistical evaluation of long term durability characteristics of cellulose fiber reinforced cement composites» [Text] / Marikunte S. and Soroushian P. (1994) //ACI Materials Journal, 91 (6), 607 – 616.
115. Vinson K.D. «Specialty cellulose fibers for cement reinforcement», Thin-Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement [Text] / Vinson K.D. and Daniel J.I. (1990). // SP-124, American Concrete Institute, Detroit, 1 – 18.
116. Савельев А.А. «Си Айрланд»: Дисперсное армирование с применением синтетических волокон [Текст] / А.А. Савельев // Строй ПРОФИЛЬ.- 2007.- №8 (62).- С. 116-117
117. Перфилов В.А. Применение модифицирующих микроармирующих компонентов для повышения прочности ячеистых материалов [Текст] / В.А. Перфилов, А.В. Аткина, О.А. Кусмарцева // Известия вузов. Строительство 2010 №9. С. 11-13
118. Лаповская С.Д. Ячеистый бетон автоклавного твердения с улучшенными физико-техническими характеристиками [Текст] / С.Д. Лаповская, Т.Н. Волошина, В.П. Гаврилюк // Бетон и Железобетон..- 2002.- №2.- С.
119. Пухаренко Ю.В. Эффективные фиброармированные материалы и изделия для строительства и реставрации [Текст] / Ю.В. Пухаренко // Материалы научно-практической конференции "Реставрация в храме-памятнике",СПб, 2006.- №2.- С.
120. Курятников Ю.Ю. Сухие золосодержащие смеси для изготовления газобетона естественного твердения [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2009.-С14.
121. Ахметов Д.А. Ячеистый бетон для ограждающих изделий высотных зданий [Текст]: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Алматы. - 2010. - 31 с.



122. Митина Н.А., Лотов В.А. Теплоизоляционные материалы на основе дисперсно-армированного газобетона неавтоклавного твердения. <http://www.sts54.ru/public/13.php> (дата обращения: 20.10.2013)
123. Чужбинкина И.Е. Разработка жаростойкого неавтоклавного дисперсно армированного ячеистого бетона [Текст]: Автореф. ... канд. техн. наук. – Иваново, 2009.-С20.
124. Гончарик В.Н. Теплоизоляционный ячеистый бетон [Текст] / [В.Н. Гончарик, И.А. Белов, Н.П. Богданова, Г.С. Гарнашевич] // Строительные Материалы.- 2004. -№3.-С 24-25
125. Косых А.В. Новые направления в технологии получения газобетона [Текст] /А.В. Косых, А.О. Тугарина// Труды Братского государственного технического университета. - 2003. - Т.2. - С.341.
126. Лотов В.А. Фиброгазобетон неавтоклавного твердения [Текст] / [В.А. Лотов, Н.А. Митина, А.С. Ситников, О.С. Никандрова] //Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: Доклады VII Всероссийской научно-практической конференции - Белокуриха Алтайского края, 22 - 24 мая 2007 г. - Москва: ЦЭИ «Химмаш», 2007. - с. 96 - 100
127. Пухаренко Ю.В. Прочность и долговечность ячеистого фибробетона [Текст] / Ю.В. Пухаренко //Строительные материалы. - 2004.-№12.
128. Иванов В.В. Использование хризотилового волокна в пенобетонах [Текст] / В.В. Иванов, Н.А. Чемякина // Популярное бетоноведение: ячеистые бетоны в строительстве. - ООО «Строй-Бетон»: СПб-2008 г.
129. Моргун Л.В. Структурообразование и свойства дисперсноармированных пенобетонов [Текст]: Диссертация на соискание ученой степени канд.техн.наук - Ростов-на-Дону: РГСУ, 2005.
130. Сычева А.М. Активированное твердение пенобетонов. [Текст] / А.М. Сычева, Е.А. Попова, Д.И. Дробышев, И.П. Филатов.- СПб.: ПГУПС, 2007



131. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов [Текст]: автореф. дисс. ... док. техн. наук. СПб., 2004. 46 с.
132. Лобанов И.А. Ударостойкость фибробетонов, армированных низко модульными синтетическими волокнами [Текст] / И.А. Лобанов, Ю.В. Пухаренко, Ю.А. Гурашкин // Технология и долговечность дисперсно-армированных бетонов. Л.: ЛенЗНИИЭП, 1984. С. 92—96.
133. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции [Текст] / Ф.Н. Рабинович.- М. : Изд-во АСВ, 2004.560 с.
134. Bhikshma V. Investigations on mechanical properties of recycled aggregate concrete containing steel fibers.[Text] / Bhikshma V., Singh J.L. // Indian Concrete Institute Journal. 2010, 4—9 (10), pp. 15—19.
135. Боженков П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология [Текст] / П.И. Боженков.- М.: Изд-во АСВ, 1994. – 268 с.
136. Боженков П.И. Комплексное использование минерального сырья для производства строительных материалов [Текст] / П.И. Боженков.-М.- Л.: Госстройиздат. - 1963.- 160 с.
137. Касымова М.Т. Вяжущие вещества и бетоны из техногенного и минерального сырья [Текст] / М.Т. Касымова.-Бишкек, 2007.- 85 с.
138. Бутт Ю.М. Технология цемента и других вяжущих материалов [Текст] / Ю.М.Бутт.-М.:Стройиздат, 1976.-293 с.
139. Караханиди С.Г. Использование золы как вторичного сырья в строительстве. [Текст] / С.Г. Караханиди.- Ф., Кыргызстан, 1990.
140. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.- Изд-во Наука Москва 1976-с -14
141. Вознесенский В.А. Статистические решения в технологических задачах [Текст] / В.А. Вознесенский. - Кишинев: Картя Молдовеняске, 1968. - 232 с.



142. Соркин Э.Г. Методика и опыт оптимизации свойств бетона и бетонной смеси [Текст] / Э.Г. Соркин. - М.: Стройиздат., 1973. - 55 с.
143. Т.А.Ухова Перспективы развития и применения ячеистых бетонов [Текст] / Т.А.Ухова// Строительные материалы.-2005.-№1.- с.18.
144. Касымова М.Т. Ячеистые бетоны и сухие гипсовые смеси из сырьевых материалов Кыргызстана [Текст] / М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева, А.Т. Омурканова // Материалы международной научно-практической конференции «Строительные технологии, материалы и качество в строительстве», Ростов на Дону, 2013.- С. 40-44.
145. Касымова М.Т. Исследование свойств ячеистых бетонов местных материалов Кыргызстана [Текст] / М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева // Вестник №3 т.1 КГУСТА, 2014. -С.34-38.
146. Касымова М.Т. Свойства ячеистого бетона из местного сырья с модифицирующими добавками [Текст] / М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева // Вестник КРСУ.-2015.-№3, с.169-172.
147. Касымова М.Т. Исследование физико-механических свойств ячеистого бетона с известняком ракушечником [Текст] / М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева // Материалы международной научно-практической конференции «Культурно-историческое наследие строительства: вчера, сегодня, завтра», Саратов: Буква. 2014.- С. 37-39.
148. Касымова М.Т. Наполнители для неавтоклавного газобетона [Текст] / М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева // Материалы международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на Дальнем Востоке в XXI веке», Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ». 2015.-С. 94-99.
149. Касымова М.Т. Оптимизация рецептуры и свойств неавтоклавного фиброгазобетона [Текст] / М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева // Материалы международной научно-практической конференции «Современные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении», Саратов: Амирит. 2015.- С. 101-107.



150. Дыйканбаева Н.А. Эффективность дисперсного армирования неавтоклавногo ячеистого бетона [Текст] / Дыйканбаева Н.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения памяти профессора В.Б.Федосенко», Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ». 2015.-С. 69-74.
151. Касимова М.Т. Температурный фактор в технологии производства фиброгазобетона [Текст] / М.Т. Касимова, Н.А. Дыйканбаева // Материалы международной научно-практической конференции «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения, посвященные памяти профессора А.П.Сапожникова», Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ». 2014.-С. 280-285.
152. Кривицкий М.Я. Ячеистые бетоны [Текст] / М.Я. Кривицкий, Н.И. Левин, В.В. Макаревич.- Стройиздат, Москва, 1972 С.-34
153. Горяйнов К.Э. Некоторые вопросы физики гидротермального твердения ячеистых бетонов [Текст] / К.Э. Горяйнов // Труды семинара «Исследование влияния режимов гидротермальной обработки на свойства силикатных материалов». Таллии, РДНТП, 1966.
154. Кривицкий М.Я. Исследование физических процессов в ячеистых бетонах при их автоклавной обработке. Труды координационного совещания «Методы исследования деформаций и кинетики нарастания прочности различных бетонов в процессе тепловой обработки» [Текст] / М.Я. Кривицкий.- Стройиздат, 1967.
155. Ломунов К.Ф. Новое о физических процессах при автоклавизации ячеистых бетонов [Текст] / К.Ф. Ломунов // «Строительство и архитектура Ленинграда»,- 1965.- №8.
156. Миронов С.А. Некоторые обобщения по теории и технологии ускорения твердения бетона [Текст] / С.А. Миронов.- Рилем, Стройиздат, 1968



157. Миронов С.А. Бетоны автоклавного твердения [Текст] / [С.А. Миронов, М.Я. Кривицкий, Л.А. Малинина и др.]- Стройиздат, 1968.
158. Дыйканбаева Н.А. Влияние продолжительности тепловлажностной обработки на прочностные свойства ячеистого бетона из местного сырья Кыргызстана [Текст] / Дыйканбаева Н.А. // Вестник КРСУ.-2016.-№9, с.101-103.
159. Горлов Ю.П. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы [Текст] / Ю.П. Горлов, И.Ф. Еремин, Б.У. Седунов. -М.:Стройиздат, 1976.-192 с.
160. Дятлов Е.М., Гайлевич С.А., Миненкова Г.Я., Радченко С.Л. Тугоплавкие теплоизоляционные материалы, полученные способами пено- и газообразования [Текст] / [Дятлов Е.М., Гайлевич С.А., Миненкова Г.Я., Радченко С.Л.] // Стекло и керамика.-2002.-№2, с.20-23.
- 161.Еременок П.Л. Известняковые бетоны и бетониты [Текст] / П.Л. Еременок, Ю.В. Измайлов, В.Е. Яшук // К.: Бюро техн. информации НИИСК АС и АН УССР. – 1958. – С. 18 – 23.
- 162.Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, И.А. Пашков.- К.: Вища школа, 1989. – 208 с.
- 163.Дворкин Л.И. Известняково-золевые бетоны с ускорителями твердения [Текст] / Л.И. Дворкин, А.В. Мироненко, А.А. Погореляк // Строит. материалы и конструкции. – №2. – С. 20 – 21.
- 164.Дворкин Л.И. Эффект активных наполнителей в пластифицированном бетоне [Текст] / Л.И. Дворкин // Строительство и архитектура. – 1988. – С. 53-57.
- 165.Федоркин С.И. Механохимическая активация известняков при высокоскоростном измельчении и ее роль в формировании свойств карбонатных материалов на силикат-натриевом вяжущем [Текст] / С.И. Федоркин, М.А. Лукьянченко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. «Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта». – Днепропетровск: ПГАСА. – 2004. – Вып. 30. – С. 10 – 15.



166. Бондар А. В. Использование карбонатных пород как микронаполнителей сухих строительных смесей пористой структуры [Текст] / А. В. Бондар, В. П. Ковальский, В. П. Очеретний // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016", Тюмень, 27-29 апреля 2016 г. – Тюмень : РИО ФГБОУ ВО ТИУ, 2016. – Т. I. – С. 207-213.
167. Давидюк А.Н. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны на стекловидных пористых заполнителях [Текст]: Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук/ А.Н. Давидюк Ростов-на-Дону. - 2009. - 284 с.
168. Пат. №1893 Кыргызская Республика, С04В 38/02. Состав для производства газобетона [Текст] / М.Т. Касимова, Н.А. Дыйканбаева; Бишкек. КРСУ.-№ 20150076.1; заявл. 13.07.15; опубл. 30.08.16, Бюл.№8.
169. Пат. №1939 Кыргызская Республика, С04В 38/02. Состав для производства газобетона [Текст] / М.Т. Касимова, Н.А. Дыйканбаева; Бишкек. КРСУ.-№ 20150125.1; заявл. 29.12.15; опубл. 28.02.17, Бюл.№2.
170. Пат. №1940 Кыргызская Республика, С04В 38/02. Состав для сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона [Текст] / М.Т. Касимова, Н.А. Дыйканбаева; Бишкек. КРСУ.-№ 20150126.1; заявл. 29.12.15; опубл. 28.02.17, Бюл.№2.
171. Дыйканбаева Н.А. Неавтоклавный газобетон из природного и техногенного сырья Кыргызстана [Текст] / Дыйканбаева Н.А. // Вестник КРСУ.- 2017.-№1, с.123-126.



Приложения



Приложение

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫ



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 1893

Ойлоп табуунун аталышы: *Газобетон чыгаруу үчүн курам*

Патент ээси, өлкөсү: *Кыргызстан - Россия Славян университети (KG)*

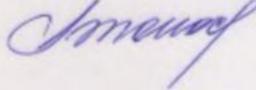
Авторлору (авторлору): *Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. (KG)*

Айрым талап № *201500761* **КЫРГЫЗПАТЕНТ**

Ойлоп табуунун приоритети *13-июль 2015-жылы*

Кыргыз Республикасынын ойлоп табуулар Мамлекеттик реестринде катталган
2016-жылдын 29-июлунда

Ушул ойлоп табууга берилген ӨТҮНМӨ ЭЭСИ (ПАТЕНТ ЭЭСИ) ЖООПКЕР БОЛГОН ПАТЕНТ. Кыргыз Республикасынын аймагында ойлоп табууга ээлик кылууга, аны пайдаланууга, тескөөгө, ошондой эле аны башка адамдардын пайдалануусуна тыюу салууга патент ээсинин өзгөчө укугуна ырастайт.

Төрага  *М. Абдыллабек уулу*





КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 1893

Название изобретения: *Состав для производства газобетона*

Патентовладелец, страна: *Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)*

Автор (авторы): *Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. (KG)*

Заявка № *20150076.1*

Приоритет изобретения *13 июля 2015 года*

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений
Кыргызской Республики *29 июля 2016 года*

ПАТЕНТ ПОД ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗАЯВИТЕЛЯ (ВЛАДЕЛЬЦА) на данное изобретение удостоверяет исключительное право патентоладельца на владение, использование, а также запрещение использования другими лицами на территории Кыргызской Республики



(19) **KG** (11) **1893** (13) **C1** (46) **30.08.2016**

(51) **C04B 38/02** (2016.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

(21) 20150076.1

(22) 13.07.2015

(46) 30.08.2016. Бюл. № 8

(71) (73) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)

(72) Касимова М. Т., Дыйканбасва Н. А. (KG)

(56) Патент RU № 2255073, кл. C04B 38/02, 2005

(54) Состав для производства газобетона

(57) Изобретение относится к области производства строительных материалов и может быть использовано при изготовлении изделий, применяемых для строительства и теплоизоляции жилых, административных и промышленных зданий и сооружений.

Задачей изобретения является разработка упрощенного состава газобетона, содержащего отходы производства и снижение его себестоимости.

Поставленная задача решается в составе для получения газобетона, включающем портландцемент, алюминиевую пудру, гидроксид натрия, волокнистую добавку и воду, где в качестве волокнистой добавки содержит фибры из стекловолкна и золу ТЭЦ, а известняка - ракушечник и суперпластификатор Melment L10/33, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	39,22-26,14
зола ТЭЦ	19,61-6,54
известняк - ракушечник	32,09-5,55
алюминиевая пудра	0,052
гидроксид натрия	0,098
суперпластификатор Melment L10/33	0,71-0,33
фибры	0,12
вода	34,64.

1 н. п. ф., 1 табл.

(19) **KG** (11) **1893** (13) **C1** (46) **30.08.2016**



3

Изобретение относится к области производства строительных материалов и может быть использовано при изготовлении изделий, применяемых для строительства и теплоизоляции жилых, административных и промышленных зданий и сооружений.

Известен состав сырьевой смеси для получения газобетона (патент RU № 2255073, кл. C04B 38/02, 2005), включающий портландцемент, песок, алюминиевую пудру, каустическую соду, воду затворения, при соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	15-50
песок	31-42
алюминиевая пудра	0,10-1,0
каустическая сода	0,05-0,45
вода	остальное.

Недостатком известного состава является повышенный расход наиболее дорогого компонента сырьевой смеси - алюминиевой пудры, что ведет к увеличению себестоимости газобетона. Кроме того, использование в известном составе песка естественной дисперсности может вызывать явления седиментации при приготовлении и укладке газобетонной смеси, что приводит к вариативности структуры газобетона, увеличению толщины межпоровой перегородки, негативно влияющей на прочностные характеристики, и ведет к увеличению его средней плотности.

Наиболее близким к заявляемому изобретению является состав смеси для изготовления неавтоклавного газобетона (патент RU № 2276121, кл. C04B 38/02, 2006), включающий портландцемент, алюминиевую пудру, полуводный гипс, воду, гидроксид натрия и волокнистую добавку при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	57-59
алюминиевая пудра	0,02-0,21
гидроксид натрия	0,07-0,92
полуводный гипс	0,04-0,53
волокнистая добавка	0,29
вода	40-41,1.

Недостатком известного состава является большое количество цемента, что приводит к появлению усадочных деформаций и потере части прочности газобетона.

Задачей изобретения является разработка упрощенного состава газобетона, содержащего отходы производства и снижение его себестоимости.

4

щего отходы производства и снижение его себестоимости.

Поставленная задача решается в составе для получения газобетона, включающем портландцемент, алюминиевую пудру, гидроксид натрия, волокнистую добавку и воду, где в качестве волокнистой добавки содержит фибры из стекловолокна и золу ТЭЦ, а известняка - ракушечник и суперпластификатор Melment L10/33, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	39,22-26,14
зола ТЭЦ	19,61-6,54
известняк - ракушечник	32,09-5,55
алюминиевая пудра	0,052
гидроксид натрия	0,098
суперпластификатор Melment L10/33	0,71-0,33
фибры	0,12
вода	34,64.

Предлагаемый неавтоклавный газобетон изготавливается в естественных условиях при плюсовой температуре с применением воды, цемента и порообразующей смеси. Вначале готовится смесь из портландцемента и наполнителей, вводится раствор гидроксида натрия и суперпластификатора Melment L10/33, добавляем алюминиевую пудру, предварительно разведенную в воде, затем добиваемся равномерного перемешивания.

В процессе изготовления газобетон не разрушается при воздействии атмосферных осадков и в нем нет вредных для здоровья человека компонентов. Данный состав позволяет существенно снизить себестоимость неавтоклавного газобетона за счет сокращения энергетических затрат с использованием золы ТЭЦ и порошкообразных отходов от производства облицовочных плит из известняка - ракушечника.

Для получения газобетона по предлагаемому составу приготовлены смеси с различным содержанием компонентов. Данные по их составу и свойствам полученных материалов представлены в таблице 1. Результаты испытаний подтверждают возможность получения из предложенного состава смеси газобетон, соответствующий требованиям физико-механических свойств по ГОСТу 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия».



Таблица

Компоненты смеси и свойства полученного материала	Содержание компонентов (мас. %) и уровень свойств						
	Предлагаемый состав					Прототип	
	1	2	3	4	5	6	7
Портландцемент	39,22	39,22	26,14	32,68	32,68	57,8	58,75
Алюминиевая пудра	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,21	0,02
Зола ТЭЦ	19,61	6,54	19,61	6,54	13,07		
Полуводный гипс						0,53	0,04
Гидроксид натрия	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,92	0,07
Известняк - ракушечник	5,94	18,62	18,62	25,35	18,82		
Суперпластификатор	0,33	0,71	0,71	0,52	0,52		
Волокнистая добавка (фибры)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,29	0,29
Вода	34,64	34,64	34,64	34,64	34,64	40,2	40,83
Плотность, кг/м ³	649	592	620	525	551	200	800
Прочность при сжатии, МПа	1,29	1,06	0,98	0,6	0,91	0,4	5,25

Формула изобретения

Состав для получения газобетона, включающий портландцемент, алюминиевую пудру, гидроксид натрия, волокнистую добавку и воду, отличающийся тем, что в качестве волокнистой добавки содержит фибры из стекловолокна и золу ТЭЦ, а известняка - ракушечник и суперпластификатор Melment L10/33, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	39,22-26,14
зола ТЭЦ	19,61-6,54
известняк - ракушечник	32,09-5,55
алюминиевая пудра	0,052
гидроксид натрия	0,098
суперпластификатор Melment L10/330	0,71-0,33
фибры	0,12
вода	34,64.

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики, 720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03



КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫ



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 1939

Ойлоп табуунун аталышы: Газбетонду өндүрүү үчүн курам

Патент ээси, өлкөсү: Кыргызстан - Россия Славян университети (KG)

Автору (авторлору): Касымова М. Т., Дыйканбаева Н. А. (KG)

Ойлоп табуу талап № 20150125.1

Ойлоп табуунун приоритети 29-декабрь, 2015-жыл

Кыргыз Республикасынын ойлоп табуулар Мамлекеттик реестринде катталган
2017-жылдын 31-январында



Ушул ойлоп табууга берилген ӨТҮНМӨ ЭЭСИ (ПАТЕНТ ЭЭСИ) ЖООПКЕР БОЛГОН ПАТЕНТ, Кыргыз Республикасынын аймагында ойлоп табууга эзлик кылууга, аны пайдаланууга, тескөөгө, ошондой эле аны башка адамдардын пайдалануусуна тыюу салууга патент ээсинин өзгөчө укугун ырастайт

Торуга

Эсеналиев Д.А.



КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 1939

Название изобретения: *Состав для производства газобетона*

Патентовладелец, страна: *Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)*

Автор (авторы): *Касымова М. Т., Дыйканбаева Н. А. (KG)*

Заявка № *20150125.1*

Приоритет изобретения *29 декабря 2015 года*

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений
Кыргызской Республики *31 января 2017 года*

ПАТЕНТ ПОД ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗАЯВИТЕЛЯ (ВЛАДЕЛЬЦА) на данное изобретение удостоверяет исключительное право патентовладельца на владение, использование, а также запрещение использования другими лицами на территории Кыргызской Республики



(19) **KG** (11) **1939** (13) **C1** (46) **28.02.2017**

(51) **C04B 38/02** (2016.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

- (21) 20150125.1
- (22) 29.12.2015
- (46) 28.02.2017. Бюл. № 2
- (71) (73) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)
- (72) Касымова М. Т., Дыйканбаева Н. А. (KG)
- (56) SU № 1759819 A1, кл. C04B 38/02, 1992
- (54) **Состав для производства газобетона**
- (57) Изобретение относится к области производства строительных материалов из ячеистого бетона, поризованного газом, и может быть использовано при изготовлении изделий, применяемых для строительства и теплоизоляции жилых, административных и промышленных зданий и сооружений.

Задачей изобретения является разработка упрощенного состава газобетона с использованием отходов производства и снижение его себестоимости.

Поставленная задача решается тем, что состав для производства газобетона, включающий портландцемент, алюминиевую пудру, воду, золу ТЭЦ, дополнительно содержит каустическую соду, известняк-ракушечник и суперпластификатор Glenium 111, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	27,91-41,87
зола ТЭЦ	24,42-17,45
известняк-ракушечник	17,29-10,31
алюминиевая пудра	0,07-0,111
каустическая сода	0,07
суперпластификатор Glenium 111	0,55-0,56
вода	34,64.

1 н. п. ф., 2 табл.

(19) **KG** (11) **1939** (13) **C1** (46) **28.02.2017**



3

Изобретение относится к области производства строительных материалов из ячеистого бетона, поризованного газом, и может быть использовано при изготовлении изделий, применяемых для строительства и теплоизоляции жилых, административных и промышленных зданий и сооружений.

Известен состав сырьевой смеси для получения неавтоклавного газобетона (RU № 2304127 С1, кл. С04В 38/02, В28В 1/50, 2007), включающий портландцемент, негашеную известь, молотый песок и алюминиевую пудру, дополнительно содержит текстильный корд, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	40,1-45,8
известь	8,1-9,2
молотый песок	41,3-48,0
текстильный корд	3,5-8,5
алюминиевая пудра	0,210-0,214.

Недостатком известного состава является большое количество цемента, что приводит к появлению усадочных деформаций и потере части прочности газобетона.

Наиболее близким прототипом заявляемого изобретения является смесь для приготовления ячеистого бетона (SU № 1759819 А1, кл. С04В 38/02, 1992), содержащая следующие компоненты, мас. %:

портландцемент	30,6-34,6
зола ТЭЦ	22,3-25,2
известь	2,68-3,1
древесная стружка	0,71-9,17
алюминиевая пудра	0,04-0,045
вода	остальное.

Недостатками известной смеси являются сложность ее приготовления из-за необходимости соблюдения последовательности дозировки компонентов, невозможность хранения и транспортирования смеси в сухом состоянии, а также трудности при подборе оптимальной фракции древесной стружки и ее выдерживания в водном растворе хлорида кальция перед введением в смесь, что увеличивает водотвердое отношение и среднюю плотность газобетона.

Задачей изобретения является разработка упрощенного состава газобетона с использованием отходов производства и снижение его себестоимости.

4

Поставленная задача решается тем, что состав для производства газобетона, включающий портландцемент, алюминиевую пудру, воду, золу ТЭЦ, дополнительно содержит каустическую соду, известняк-ракушечник и суперпластификатор Glenium 111, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	27,91-41,87
зола ТЭЦ	24,42-17,45
известняк-ракушечник	17,29-10,31
алюминиевая пудра	0,07-0,111
каустическая сода	0,07
суперпластификатор Glenium 111	0,55-0,56
вода	34,64.

Предлагаемый неавтоклавный газобетон изготавливается в естественных условиях при плюсовой температуре с применением воды, цемента и порообразующей смеси. Вначале готовится смесь из портландцемента, золы ТЭЦ и известняка-ракушечника, затем вводится каустическая сода и суперпластификатор Glenium 111, добавляется алюминиевая пудра, предварительно разведенная в воде, смесь равномерно перемешивается.

Полученный газобетон более устойчив к воздействию атмосферных осадков, имеет высокий предел прочности, а также в нем нет вредных для здоровья человека компонентов. Кроме этого, данный состав позволяет снизить себестоимость неавтоклавного газобетона за счет использования золы ТЭЦ.

С целью подтверждения решения поставленной задачи были проведены исследования нескольких смесей для получения газобетона и известный состав (табл. 1). Для приготовления смеси использовали портландцемент и алюминиевую пудру марки ПАП-1. После этого приготовили газобетон по следующей технологии.

В бетономешалку заливали воду с температурой 50 °С, засыпали каустическую соду, включали бетономешалку и растворяли соду при ее перемешивании. Затем засыпали цемент, известняк-ракушечник и золу ТЭЦ, равномерно перемешивали. После этого добавляли алюминиевую пудру, предварительно разведенную в воде. В табл. 2, приведены физико-механические свойства полученных составов.



5

Анализ результатов показывает, что при использовании предлагаемой смеси (составы 1-5), предел прочности при изгибе и сжатии, а также плотность полученного газобетона

6

больше соответствуют требованиям физико-механических свойств по ГОСТу 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» (табл. 2).

Таблица 1

Состав для производства газобетона							
Компоненты смеси и свойства полученного материала	Содержание компонентов (мас. %) и уровень свойств						
	Предлагаемый состав					Прототип	
	1	2	3	4	5	6	7
Портландцемент	27,91	39,22	29,14	32,68	41,87	30,6	36,4
Зола ТЭЦ	24,42	20,6	22,7	18,9	17,45	22,3	25,2
Известняк-ракушечник	17,29	11,50	13,21	1,94	10,31	-	-
Алюминиевая пудра	0,07	0,10	0,09	0,08	0,111	0,045	0,04
Каустическая сода	0,07	0,098	0,098	0,098	0,098	-	-
Суперпластификатор Glenium 111	0,55	0,55	0,56	0,55	0,56	-	-
Вода	34,64	0,71	0,71	0,52	0,52	-	-
Древесная стружка	-	-	-	-	-	0,71	9,17
Известь	-	-	-	-	-	2,68	3,1



Таблица 2

Состав для производства газобетона							
Свойства полученного материала	Содержание компонентов (мас. %) и уровень свойств						
	Предлагаемый состав					Прототип	
	1	2	3	4	5	6	7
Плотность, кг/м ³	637	586	603	531	570	320	850
Предел прочности при сжатии, МПа	1,4	1,1	1,0	0,6	0,9	0,4	5,25
Предел прочности при изгибе, МПа	0,9	1,1	1,0	1,0	0,8	0,3	7,2

Формула изобретения

Состав для производства газобетона, включающий портландцемент, алюминиевую пудру, воду, золу ТЭЦ, отличающийся тем, что дополнительно содержит каустическую соду, известняк-ракушечник и суперпластификатор Glenium 111, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	27,91-41,87
зола ТЭЦ	24,42-17,45
известняк-ракушечник	17,29-10,31
алюминиевая пудра	0,07-0,111
каустическая сода	0,07
суперпластификатор Glenium 111	0,55-0,56
вода	34,64.

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03



КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫ



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 1940

Ойлоп табуунун аталышы: *Автоклавдык эмес газбетонду ондурүү үчүн чийки зат аралашмасынын курамы*

Патент ээси, өлкөсү: *Кыргызстан - Россия Славян университети (KG)*

Авторлору (авторлору): *Касымова М. Т., Дыйканбаева Н. А. (KG)*

Ички талап № *20150126.1*

Ойлоп табуунун приоритети *29-декабря, 2015-жыл*

Кыргыз Республикасынын ойлоп табуулар Мамлекеттик реестринде катталган
2017-жылдын 31-январында

Ушул ойлоп табууга берилген ӨТҮНМӨ ЭЭСИ (ПАТЕНТ ЭЭСИ) ЖООПКЕР БОЛГОН ПАТЕНТ, Кыргыз Республикасынын аймагында ойлоп табууга ээлик кылууга, аны пайдаланууга, тескөөгө, ошондой эле аны башка адамдардын пайдалануусуна тыюу салууга патент ээсинин өзгөчө укугун ырастайт



Торлага

Эсеналиев Д.А.



КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 1940

Название изобретения: *Состав сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона*

Патентовладелец, страна: *Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)*

Автор (авторы): *Касымова М. Т., Дыйканбаева Н. А. (KG)*

Заявка № *20150126.1*

Приоритет изобретения *29 декабря 2015 года*

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений
Кыргызской Республики *31 января 2017 года*

ПАТЕНТ ПОД ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗАЯВИТЕЛЯ (ВЛАДЕЛЬЦА) на данное изобретение удостоверяет исключительное право патентовладельца на владение, использование, а также запрещение использования другими лицами на территории Кыргызской Республики



(19) **KG** (11) **1940** (13) **C1** (46) **28.02.2017**

(51) **C04B 38/02** (2016.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

- (21) 20150126.1
- (22) 29.12.2015
- (46) 28.02.2017. Бюл. № 2
- (71) (73) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)
- (72) Касимова М. Т., Дыйканбаева Н. А. (KG)
- (56) RU № 2276121 C1, кл. C04B 38/02, 2006
- (54) Состав сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона
- (57) Изобретение относится к области производства строительных материалов и может быть использовано при изготовлении изделий, применяемых для строительства и теплоизоляции жилых, административных и промышленных зданий и сооружений.

Задачей изобретения является расширение сырьевой базы газобетона для удешевления материалов без ухудшения их потребительских свойств.

Поставленная задача решается тем, что состав сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона, включающий портландцемент, алюминиевую пудру, гидроксид натрия и воду, дополнительно содержит известняк-ракушечник, суперпластификатор Glenium 111, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	30-37,59
известняк-ракушечник	36,48-44,38
алюминиевая пудра	0,06-0,12
гидроксид натрия	0,074-0,15
суперпластификатор Glenium 111	0,43-0,6
вода	остальное.

1 н. п. ф., 1 табл.

(19) **KG** (11) **1940** (13) **C1** (46) **28.02.2017**



3

Изобретение относится к области производства строительных материалов и может быть использовано при изготовлении изделий, применяемых для строительства и теплоизоляции жилых, административных и промышленных зданий и сооружений.

Известен состав сырьевой смеси для получения газобетона (RU № 2304127 С1, кл. С04В 38/02, В28В 1/50, 2007), включающий компоненты, мас. %: портландцемент - 40,1-45,8, известь - 8,1-9,2, молотый песок - 41,3-48,0, текстильный корд - 3,5-8,5, алюминиевую пудру - 0,210-0,214.

Недостатками известного состава являются замедленная кинетика набора прочности материала, а также увеличенные энергозатраты на помол кварцевого песка, что затрудняет его использование в монолитном строительстве.

Наиболее близким прототипом заявляемого изобретения является состав смеси для изготовления неавтоклавного газобетона (RU № 2276121 С1, кл. С04В 38/02, 2006), включающий компоненты, мас. %: портландцемент - 57-59, алюминиевую пудру - 0,02-0,21, гидроксид натрия - 0,07-0,92, полуводный гипс - 0,04-0,53, волокнистую добавку - 0,29 и воду - 40-41,1.

Недостатком прототипа является повышенный расход портландцемента - относительно дорогого компонента сырьевой смеси, что ведет к увеличению себестоимости газобетона.

Задачей изобретения является расширение сырьевой базы газобетона для удешевления материалов без ухудшения их потребительских свойств.

Поставленная задача решается тем, что состав сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона, включающий портландцемент, алюминиевую пудру, гидроксид натрия и воду, дополнительно содержит известь-ракушечник, суперпластификатор Glenium 111, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

4

портландцемент	30-37,59
известь-ракушечник	36,48-44,38
алюминиевая пудра	0,06-0,12
гидроксид натрия	0,074-0,15
суперпластификатор Glenium 111	0,43-0,6
вода	остальное.

Предлагаемый неавтоклавный газобетон изготавливается в естественных условиях при плюсовой температуре с применением воды, цемента и порообразующей смеси. Вначале готовится смесь из портландцемента и наполнителей, вводится раствор гидроксида натрия и суперпластификатора Glenium 111, добавляется алюминиевая пудра, предварительно разведенная в воде, затем равномерно перемешивается.

В процессе изготовления газобетон не разрушается при воздействии атмосферных осадков, и в нем нет вредных для здоровья человека компонентов. Данный состав позволяет существенно снизить себестоимость неавтоклавного газобетона за счет сокращения энергетических затрат с использованием порошкообразных отходов от производства облицовочных плит из известняка ракушечника.

Для получения газобетона по предлагаемому составу приготовлены смеси с различным содержанием компонентов. Данные по их составу и свойствам полученных материалов представлены в таблице 1. Результаты испытаний подтверждают возможность получения из предложенного состава смеси газобетон, соответствующий требованиям физико-механических свойств по ГОСТу 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия».

Предлагаемое изобретение может быть легко изготовлено на базе существующих технологий с использованием имеющихся недорогих компонентов и может найти широкое применение в производстве строительных материалов.



Таблица 1

Состав смеси для изготовления неавтоклавного газобетона							
Компоненты смеси и свойства полученного материала	Содержание компонентов (мас. %) и уровень свойств						
	Предлагаемый состав					Прототип	
	1	2	3	4	5	6	7
Портландцемент	37,59	30	37,04	37,59	37,59	57,8	58,75
Алюминиевая пудра	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,21	0,02
Полуводный гипс	-	-	-	-	-	0,53	0,04
Гидроксид натрия	0,038	0,075	0,074	0,015	0,075	0,92	0,07
Известняк-ракушечник	37,08	44,38	36,48	36,78	36,78	-	-
Суперпластификатор	0,6	0,6	0,43	0,6	0,6	-	-
Волокнистая добавка (фибры)	-	-	-	-	-	0,29	0,29
Вода	24,6	24,85	25,87	24,81	24,81	40,2	40,83
Плотность, кг/м	735	710	691	616	593	200	800
Прочность при сжатии, МПа	2,04	2,09	2,53	1,55	1,79	0,4	5,25
Прочность при изгибе, МПа	0,9	0,97	1,09	0,87	0,71	-	-

Формула изобретения

Состав сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона, включающий портландцемент, алюминиевую пудру, гидроксид натрия и воду, отличающийся тем, что дополнительно содержит известняк-ракушечник, суперпластификатор Glenium 111, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

портландцемент	30-37,59
известняк-ракушечник	36,48-44,38
алюминиевая пудра	0,06-0,12
гидроксид натрия	0,074-0,15
суперпластификатор Glenium 111	0,43-0,6
вода	остальное.

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03



Общество с ограниченной ответственностью

УТВЕРЖДАЮ
Директор ОсОО «Фирма «Зенит-М»



Аракчеев А.А.

1 » 08 2014

А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Дыйканбаевой Назгул Аргынбаевны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 Строительные материалы и изделия на тему: «Неавтоклавный газобетон из техногенного и природного сырья»

Комиссия в составе председателя: директора ОсОО «Фирмы «Зенит-М» Аракчеева А.А. и членов комиссии: заведующей кафедрой «Экспертиза и управление недвижимостью», докт.техн.наук, профессора Касымовой М.Т., аспирантов Дыйканбаевой Н.А. и Омуркановой А.Т. свидетельствует о том, что при разработке технологии производства неавтоклавного газобетона были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Дыйканбаевой Н.А.

-разработаны составы газобетона, представленные в таблице 1:

Таблица 1

№	Цемент	Зола	Ракушечник	Алюминий	сода	Добавка	Фибры	Вода
1	50	30	19,26	0,08	0,11	0,5	0,05	0,54
2	50	29,61	19,34	0,1	0,1	0,8	0,05	0,43
3	50	-	49,33	0,08	0,1	0,8	0,05	0,325

- анализ результатов испытаний показывает, что физико-механические показатели полученных образцов газобетона на основе золы Бишкекской ТЭЦ и известняка-ракушечника соответствуют требованиям ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия».

Таблица 2

Основные физико-механические свойства газобетона

№ п/п	Характеристики	Состав 1	Состав 2	Состав 3
1.	Плотность, кг/м ³	600	634	636
2.	Предел прочности при изгибе, МПа	0,99	0,87	0,92
3.	Предел прочности при сжатии, МПа	1,60	2,57	1,95

Достижение оптимального результата для получения газобетона с низкой плотностью позволило выявить представленные составы. Зола Бишкекской ТЭЦ и порошкообразные



отходы от производства облицовочных плит из известняка ракушечника являются легкими наполнителями по сравнению с песком. Содержание 91% CaCO₃ в составе известняка-ракушечника повышает прочность на сжатие цементных композиций. Это обусловлено их способностью сцепляться с продуктами гидратации портландцемента.

Реализация материалов диссертации Дыйканбаевой Н.А. позволила:

- разработать технологический процесс изготовления газобетона неавтоклавного твердения на существующей линии по производству газобетонов в ОсОО «Фирмы «Зенит-М».

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- в монографии «Неавтоклавный газобетон из природного и техногенного сырья Кыргызстана». Авторы Касымова М.Т. и Дыйканбаева Н.А. (в печати изд-ва КРСУ);
- в патенте №1893 Состав для производства газобетона // Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. 201500761 Заявл. 13.07.2015 Оpubл. 29.07.2015;
- в патенте №1939 Состав для производства газобетона/ М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева; Бишкек. КРСУ.-№ 20150125.1; заявл. 29.12.15; опубл. 28.02.17, Бюл.№2.
- в патенте №1940 Состав для сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона/ М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева; Бишкек. КРСУ.-№ 20150126.1; заявл. 29.12.15; опубл.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- экономический эффект на получение 1м³ неавтоклавного газобетона составили для состава с золой БТЭЦ, известняком-ракушечником и добавкой Melment 505 сом, при дисперсном армировании 382 сом. Для газобетона на основе золы БТЭЦ, известняка-ракушечника и добавки Glenium экономический эффект составил 418 сом, при дисперсном армировании 296 сом. При получении 1м³ газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Glenium экономический эффект составил 125 сом, при дисперсном армировании 3 сома.
- широкое применение блоков неавтоклавного газобетона на основе золы и известняка-ракушечника позволит получить значительный экономический эффект в сфере промышленного производства изделий. Использование отходов промышленности позволит существенно расширить сырьевую базу, для производства строительных материалов и в какой-то мере решить экологическую проблему охраны окружающей среды.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ

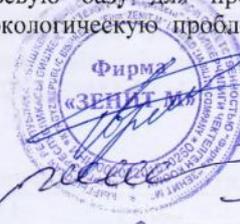
А.А.Аракчеев

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:

М.Т.Касымова

Н.А. Дыйканбаева

А.Т. Омурканова





УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной

работе КРСУ

В.М. Лелевкин

2018 г.



А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Дыйканбаевой Назгул Аргынбаевны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 Строительные материалы и изделия на тему: «Неавтоклавный газобетон из техногенного и природного сырья»

Комиссия в составе председателя заведующей кафедрой «Экспертиза и управление недвижимостью», докт.техн.наук, профессора Касымовой М.Т., членов комиссии Адыракаевой Г.Д., Омуркановой А.Т., Исманова Б.С. свидетельствует о том, что при разработке технологии производства неавтоклавного газобетона были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Дыйканбаевой Н.А.

- изданы научные статьи:

1. Ячеистые бетоны и сухие гипсовые смеси из сырьевых материалов Кыргызстана/ Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А., Омурканова А.Т. // Материалы международной научно-практической конференции «Строительные технологии, материалы и качество в строительстве», Ростов на Дону, 2013.- С. 40-44.
2. Исследование свойств ячеистых бетонов местных материалов Кыргызстана/ Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. // Вестник №3 т.1 КГУСТА, 2014. -С.34-38.
3. Свойства ячеистого бетона из местного сырья с модифицирующими добавками/ Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. // Вестник КРСУ.-2015.-№3, с.169-172.
4. Исследование физико-механических свойств ячеистого бетона с известняком ракушечником/ Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Культурно-историческое наследие строительства: вчера, сегодня, завтра», Саратов: Буква. 2014.- С. 37-39.
5. Температурный фактор в технологии производства фиброгазобетона/ Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения, посвященные памяти профессора А.П.Сапожникова», Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ». 2014.-С. 280-285.
6. Оптимизация рецептуры и свойств неавтоклавного фиброгазобетона/ Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А.// Материалы международной научно-практической конференции «Современные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении», Саратов: Амирит. 2015.- С. 101-107.
7. Наполнители для неавтоклавного газобетона/ Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на Дальнем Востоке в XXI веке», Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ». 2015.-С. 94-99.
8. Эффективность дисперсного армирования неавтоклавного ячеистого бетона/ Дыйканбаева Н.А.// Материалы международной научно-практической конференции «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры,



строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения памяти профессора В.Б.Федосенко», Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ». 2015.-С. 69-74.

9. Влияние продолжительности тепловлажностной обработки на прочностные свойства ячеистого бетона из местного сырья Кыргызстана/ Дыйканбаева Н.А. // Вестник КРСУ.-2016.-№9, с.101-103.

10. Неавтоклавный газобетон из природного и техногенного сырья Кыргызстана/ Дыйканбаева Н.А. // Вестник КРСУ.-2017.-№1, с.123-126.

- сдана в печать монография «Неавтоклавный газобетон из природного и техногенного сырья Кыргызстана». Авторы Касымова М.Т. и Дыйканбаева Н.А.(изд-во КРСУ).

Реализация материалов диссертации Дыйканбаевой Н.А.

позволила:

-внедрить в учебный процесс по курсу «Строительные материалы» для бакалавров по направлению «Строительство» по профилям: «Экспертиза и управление недвижимостью», «Промышленное и гражданское строительство», «Теплогасоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение», «Механизация и автоматизация строительства» на факультете Архитектуры Дизайна и Строительства КРСУ.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- в монографии «Неавтоклавный газобетон из природного и техногенного сырья Кыргызстана». Авторы Касымова М.Т. и Дыйканбаева Н.А. (в печати изд-ва КРСУ);

- в патенте №1893 Состав для производства газобетона // Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. 201500761 Заявл. 13.07.2015 Оpubл. 29.07.2015;

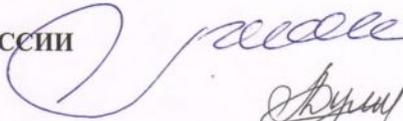
- в патенте №1939 Состав для производства газобетона/ М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева; Бишкек. КРСУ.-№ 20150125.1; заявл. 29.12.15; опубл. 28.02.17, Бюл.№2.

- в патенте №1940 Состав для сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона/ М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева; Бишкек. КРСУ.-№ 20150126.1; заявл. 29.12.15; опубл.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- внедрены в учебный процесс и используются на лекционных и лабораторных занятиях по дисциплине «Строительные материалы» для студентов направления «Строительство» по профилям: «Экспертиза и управление недвижимостью», «Промышленное и гражданское строительство», «Теплогасоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение» на факультете Архитектуры Дизайна и Строительства КРСУ.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ



М.Т.Касымова

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:



Г.Дж. Адыракаева



Б.С. Исманова



А.Т. Омурканова