

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЕЗОВА

УДК 666.97:661.632.71

На правах рукописи

МОМИНОВА САУЛЕ МАХМУДОВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ГАЗОСИЛИКАТНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ФОСФОРНЫХ
ШЛАКОВ И ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ПЕСКОВ В СОЧЕТАНИИ С
ПРИРОДНЫМ ВОЛЛАСТОНИТОМ**

6D073000 – «Производство строительных материалов, изделий и
конструкций»

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные руководители (консультанты):
Кандидат технических наук, доцент
Копжасаров Б.Т.

Доктор PhD, профессор
Ким Чун Хо

Республика Казахстан
Шымкент, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 Современное состояние и перспектива развития производства ячеистых бетонов в Казахстане.....	14
1.1 Факторы, влияющие на физико-технические свойства ячеистых бетонов.....	15
1.2 Особенности технологии и свойств ячеистых газосиликатных бетонов.....	16
1.2.1 Особенности технологии.....	16
1.2.2 Особенности свойств.....	17
1.3 История развития производства ячеистых бетонов	18
1.4 Производство и перспектива применения ячеистых бетонов в Казахстане.....	22
1.5 Выводы	26
2 Характеристика сырьевых материалов и методы исследований.....	27
2.1 Сырьевые материалы.....	27
2.1.1 Цемент.....	27
2.1.2 Гранулированный электротермофосфорный шлак.....	28
2.1.3 Полиминеральный барханный песок.....	29
2.1.4 Природный волластонит.....	30
2.1.5 Известь воздушная.....	31
2.1.6 Строительный гипс.....	31
2.1.7 Алюминиевая пудра.....	32
2.1.8 Вода.....	32
2.2 Методы испытаний	32
2.2.1 Определение удельной поверхности сырьевых материалов.....	32
2.2.2 Реологические свойства газосиликатных бетонных смесей.....	33
2.2.3 Процесс приготовления раствора газосиликатобетона.....	34
2.2.4 Физико-механические свойства ячеистых бетонов.....	35
3 Улучшение свойств газосиликатного бетона с использованием волластонита.....	36
3.1 Применение волластонита в строительных материалах.....	37
3.2 Характеристика природного волластонита, структура, химический состав.....	42
3.3 Запасы и месторождения волластонита Казахстана.....	45
3.4 Исследование влияния волластонита на свойства газосиликатных бетонов.....	47
3.5 Исследование реологических свойств газосиликатного бетона с добавкой волластонита.....	57
3.6 Газосиликатный бетон на основе барханного песка и	

	волластонита.....	61
3.7	Выводы	66
4	Повышение физико-технических свойств газосиликатного бетона на электротермофосфорном шлаке и барханном песке	67
4.1	Краткая характеристика используемого сырья.....	67
4.1.1	Гранулированный электротермофосфорный шлак.....	71
4.1.2	Влияние экономичных щелочных добавок на гидратацию шлакоцементных смесей.....	75
4.2	Влияние дисперсности барханного песка на прочность газосиликатного бетона.....	95
4.3	Оптимизация состава газосиликатного бетона.....	98
4.3.1	Моделирование процесса гидратации шлаковых вяжущих с оптимизацией технологии получения бетонов.....	98
4.3.2	Исследование морозостойкости газосиликатного бетона на основе шлаковых вяжущих и полиминеральных барханных песков	107
4.4	Совершенствование кинетики нарастания пластической прочности газосиликатной смеси.....	115
4.5	Автоклавное твердение	117
4.6	Выводы	119
5	Совершенствование технологии и повышение качества газосиликатного бетона.....	121
5.1	Отличие технологии польской фирмы «Униполь» от немецких фирм «Маза-Хенке»	121
5.2	Преимущества производства газосиликатного бетона по новой технологии «Маза-Хенке»	127
5.3	Компьютеризация технологических процессов.....	128
5.4	Основные виды заводского брака изделий и технологические меры по их устранению.....	129
5.5	Совершенствование пооперационного контроля технологических операций.....	131
5.6	Технико-экономическая эффективность производства и применения в строительстве автоклавного ячеистого силикатного бетона	133
5.7	Выводы	134
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	137
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	148

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертационной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 9179-2018 «Известь строительная».
- ГОСТ 23789-2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».
- ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия».
- ГОСТ 5494-95 «Пудра алюминиевая. Технические условия».
- ГОСТ 5494-95 «Пудра алюминиевая пигментная. Технические условия».
- ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».
- ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия».
- ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия».
- ГОСТ 12852.0-77 «Бетон ячеистый. Общие требования к методам исследований».
- ГОСТ 10180-2012 «Методы определения прочности по контрольным образцам».
- ГОСТ 18105-2010 «Правила контроля и оценки прочности».
- ГОСТ 27005-86 «Бетоны легкие и ячеистые».
- ГОСТ 12730-78 «Методы определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости».
- ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые».
- ГОСТ 12871-2013 «Хризотил. Общие технические условия».
- ГОСТ 31360-2007 «Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия».
- СН-277-80 – Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. НИИЖБ. М.1981г.
- СНиП РК 2.04-03-2002 – Строительная теплотехника. М.: ЦИТИ, 1986.
- МГСН 4.19-05 – (Московские городские строительные нормы).
- Руководство по методам испытания стойкости ячеистых бетонов. М., НИИЖБ, 1975г.
- Рекомендаций по применению химических добавок при изготовлении ячеистых бетонов. НИИЖБ, Госстроя СССР, М., 1982г.
- Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого автоклавного бетона по комплексной вибрационной технологии. – М.: Стройиздат, 1975г.
- СНиП-II – Нормы проектирования. Жилые здания. 1978г.
- Руководство по изготовлению изделий из гидрофобизированного ячеистого бетона. М., 1977г.
- Руководство по изготовлению применению алюминиевой пасты в качестве газообразователя для ячеистых бетонов. М., 1977г.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Ячеистый бетон - это искусственный пористый камень, полученный в результате твердения поризованной растворной смеси из вяжущего, кремнеземистого компонента, воды и различных добавок.

Газосиликатобетонная смесь – это растворная смесь после поризации газообразователем, обладающая свойствами упруговязкопластичных систем.

Теплопроводность – это способность материала передавать тепло через толщу от одной своей поверхности к другой в силу теплового движения.

Морозостойкость – это способность газосиликатного бетона в насыщенном водой состоянии выдерживать требуемое по сроку службы конструкции или изделия определенное число циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Автоклав – это герметически закрывающийся сосуд цилиндрического типа, предназначенный для тепловлажностной обработки изделий паром под давлением и высокой температуре.

Огнестойкость – это способность материалов выдерживать действие высоких температур без разрушения.

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушениям под действием напряжений, возникающих от нагрузок, температуры, атмосферных осадков и других факторов.

Твердость – свойство материала сопротивляться прониканию в него постороннего более твердого тела.

Побочные продукты химических производств – это отходы различного производства, которые могут использоваться в качестве минерального сырья в строительстве и при производстве строительных материалов.

Теплоизоляция – это метод предотвращения или уменьшения передачи тепла одного тела другому с помощью применения материала с низкой теплопроводностью.

Алюминиевая пудра – высокодисперсный порошок алюминия, с незначительным содержанием примесей. Частицы алюминиевой пудры преимущественно имеют вид тонких пластинок, покрытых слоем окисла и жира.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие обозначения и сокращения:

F – площадь, м^2

T – время, сек.

V – объем, м^3

t – Температура, $^{\circ}\text{C}$

W – влажность, %

Пл – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$

C – отношение кремнеземистого компонента к вяжущему

η – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}$

$K_{\text{мрз}}$ – коэффициент морозостойкости

$R_{\text{сж}}$ – прочность бетона на сжатие, МПа

$R_{\text{изг}}$ – прочность бетона на растяжение при изгибе, МПа

B/T – водотвердое отношение

ПАП-1 – пудра алюминиевая

НЯБ – неавтоклавный ячеистый бетон

НИИЖБ – Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А.Гвоздева

ЭТФШ – электротермофосфорный шлак

$S_{\text{уд}}$ – удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Первый Президент – Елбасы Республики Казахстан Н.А.Назарбаев в своем Послании народу Казахстана неоднократно отмечал, что жилищное строительство следует рассматривать как своеобразный «локомотив» экономического развития страны. Масштабное строительство нового жилья создаст и обеспечит условия для ускоренного развития промышленности строительных материалов, которая будет востребована при возведении новых и реконструкции существующих объектов строительства. Главным направлением градостроительной политики стало энергосбережение с одновременным повышением качества и долговечности выпускаемой продукции. На сегодняшний день данная политика в области дает свои результаты [1].

В Республике Казахстан вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности подкреплены законодательно [2]. Кроме того, реализуется проект Правительства Республики Казахстан в рамках Государственной программы жилищно-коммунального развития «Нұрлы жер» на 2020 - 2025 годы. Строительство современных производств строительной промышленности с применением природных сырьевых материалов, а также некондиционных местных сырьевых материалов и побочных продуктов различных производств по разработкам новых технологий является актуальным, экономически и экологически выгодным направлением по развитию промышленности строительных материалов и реализации принятых законов и проектов [3].

Одной из важнейших задач современного жилищного строительства является сокращение энергозатрат на производство строительных материалов с одновременным повышением качества выпускаемой продукции [4, 5].

Опыт использования в строительстве зданий изделий и конструкций из ячеистого бетона, свидетельствует об их высокой экономической эффективности. Только из одного метра кубического минерального сырья, за счет вовлечения воздуха, можно получить три-четыре метра кубического стенового материала в виде газоблоков. Легкий и теплый строительный материал – каким является ячеистый бетон может и должен помочь в успешной реализации жилищной проблемы страны. Развитие производства ячеистого бетона в Казахстане также оправдано наличием, практически в каждой области сырья для его производства и необходимостью утилизации огромных залежей промышленных отходов и некондиционного сырья.

В мировой строительной индустрии также наметился резкий рост производства изделий и конструкций из ячеистого бетона (газосиликатного бетона и пенобетона), в основном автоклавного твердения [6].

Малозатратным и энергосберегающим производством в мировой строительной практике являются заводы по выпуску изделий и конструкций из ячеистого бетона. Поиск производства высокоэффективных материалов, к которым относятся автоклавные газосиликатные бетоны связано, с

повышенными нормами к теплосоппротивлению стеновых и ограждающих изделий и конструкций, возросших более чем в три раза. Несмотря на то, что неавтоклавные газобетоны обладают рядом преимуществ, перед автоклавными: отпадает надобность в автоклавах и котельнях. Однако автоклавный синтез позволяет производить бесцементные газосиликатные бетоны высокого качества, с использованием промышленных отходов и некондиционного сырья, в обычных условиях твердения (пропаривание, естественное твердение) остающихся инертными и тем самым позволяет снизить остроту проблемы современного строительства, связанного с дефицитностью и дороговизной цемента [7, 8].

Ограждающие изделия из газосиликатных бетонов, в сравнении с изделиями из керамзитобетона и кирпича, более экономичны. Вследствие меньшей плотности и энергоемкости при производстве и эксплуатации, общей капиталоемкости и трудоемкости.

Проблема осуществления строительства современных сооружений и зданий предъявляет растущие требования к существующим ранее строительным материалам. В настоящее время изменены требования к теплозащите зданий и сооружений, соответственно, резко возросла потребность в качественных, дешевых теплоизоляционных материалах и изделиях. Отмечено, что широкая номенклатура, созданная учеными и специалистами, эффективных материалов и выявленных технологических приемов, позволила в последние годы с использованием опытных, опытно-промышленных установок и стендов, а также в условиях промышленного производства отработать принципиально новые эффективные технологические схемы получения новых видов бетонов с широким диапазоном эксплуатационных характеристик за счет варьирования в широких пределах вида сырьевых материалов (вяжущих и заполнителей), разновидностей, оптимизации состава многокомпонентного бетона и целенаправленного управления технологией. Применение и совершенствование нового поколения бетонов, использование промышленных отходов, в которые уже заложены затраты труда, топлива, энергии, применение некондиционного сырья – во многих случаях эффективный путь, обеспечивающий получение более дешевых материалов с заданными свойствами. Газосиликатный бетон, применяемый для изготовления ограждающих конструкций, стеновых материалов, благодаря своей пористой структуре и, как следствие, меньшей теплопроводности, более всего востребован на современных стройплощадках [9].

Перспективным для производства газосиликатных бетонов является полиминеральный песок, так как залежи барханных песков неограничены, использование их в производстве стеновых изделий, является актуальной задачей и имеет большое практическое значение. А использование вторичного сырья для производства газосиликатных бетонов связано с использованием всех технических возможностей переработки отходов фосфорной промышленности, изучением его химического,

минералогического и гранулометрического составов [10, 11].

В результате замены традиционного сырья производственными отходами сокращаются капитальные и текущие затраты, экономятся трудовые ресурсы, топливо и электроэнергия. Вовлечение отходов в производство, их утилизация способствует сокращению огромных площадей, занятых под хранилища, отвалы, улучшает состояние биосферы [9].

Поэтому задачей строительной индустрии Казахстана в условиях рыночной экономики является получение изделий и конструкций из газосиликатного бетона на основе некондиционных местных сырьевых материалов и побочных продуктов химических производств в сочетании с природным волластонитом, что позволит снизить массу здания и повысить технические свойства изделий и конструкций.

В связи с этим, ставится глобальная проблема по расширению сырьевой базы строительных материалов, за счет использования побочных продуктов промышленных производств, местного природного волластонитового сырья и некондиционных местных сырьевых материалов в промышленности строительных материалов. Совершенствование технологии строительных материалов на их основе будут осуществляться непрерывно, и идти по линии повышения качества, снижения ресурсоемкости, трудоемкости и энергоемкости. Одной из главных проблем развития современной промышленности является использование побочных продуктов различных производств, что стимулирует экономическую рентабельность выпуска одной продукции.

Известно, что автоклавные газосиликатные бетоны, как и обычные ячеистые бетоны, плохо работают на растяжение при изгибе, характеризуются образованием усадочных трещин при твердении. Повысить прочностные характеристики, а также другие свойства газосиликатных бетонов можно за счет введения оптимального количества активных минеральных составов, армирующего волокна и его равномерного распределения в смеси.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что дисперсное армирование газосиликатных бетонов различными волокнами является наиболее перспективным, и все более широко применяется во многих областях строительства. Преимущество дисперсного армирования заключается в том, что волокна природного волластонита имеют повышенную прочность, так как обладают более высокой степенью дисперсности в армируемом камне.

Таким образом, для расширения номенклатуры эффективных материалов, разработка технологии автоклавного газосиликатного бетона с применением в качестве дисперсного армирующего микроволокна природного волластонита является одной из важнейших научных и практических задач.

Предлагаемая диссертационная работа посвящена повышению качества, выпускаемых высокоэффективных автоклавных газосиликатных бетонов на

основе побочных продуктов химических производств и некондиционных местных сырьевых материалов в сочетании с дисперсными армирующими микроволокнами природного волластонита, что позволит решить вопросы ресурсосбережения и охраны окружающей среды в промышленных зонах, и приведет к улучшению физико-механических и эксплуатационных характеристик автоклавного газосиликатобетона, и определяет актуальность выбранной темы.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Законом «Об энергосбережении и повышении эффективности» от 13 января 2012 года №541-IV, Государственной программой жилищно-коммунального развития «Нұрлы Жер» на 2020-2025 годы.

Целью диссертационной работы является совершенствование технологии производства автоклавного газосиликатного бетона и улучшение его свойств, применяя электротермофосфорный шлак, полиминеральный барханный песок в сочетании с дисперсно-армирующим микроволокном природного волластонита.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие **задачи исследований:**

- теоретически обосновать и экспериментально определить возможность получения качественных газосиликатных бетонов, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 31360-2007;

- установить закономерности влияния тонкомолотого волластонита на реологические свойства газосиликатобетонной смеси, прочность и физико-механические свойства;

- определить оптимальный состав газосиликатного бетона на электротермофосфорном шлаке и полиминеральном барханном песке в сочетании с дисперсно-армирующим микроволокном природного волластонита;

- расширить сырьевую базу производства газосиликатных бетонов с использованием местных природных ресурсов, утилизацией отходов промышленности и некондиционного сырья, решением экологических проблем;

- разработать технологические параметры производства газосиликатных бетонов плотностью 600-700 кг/м³ по современной технологии с использованием отходов фосфорной промышленности и барханного песка совместно с тонкомолотым природным волластонитом;

- выпустить опытно-промышленную партию газосиликатных бетонов для проверки полученных данных.

Объект и предмет исследования:

Объектом исследования являлись газосиликатные бетоны на основе электротермофосфорных шлаков и полиминеральных барханных песков в сочетании с природным волластонитом.

Методы достижения поставленных задач: литературный обзор отечественных и зарубежных источников, включающий изучение патентов

на изобретения и полезные модели, авторских свидетельств, мирового опыта направленного на исследования применения отходов промышленных производств и некондиционного сырья в производстве строительных материалов; проведение стандартных методов испытания автоклавного газосиликатного бетона, проведение методов дифференциально-термического анализа (ДТА) и методов рентгенофазовых исследований (РФА), электронно-микроскопических исследований, проведение испытаний в аккредитованных лабораториях, проведение радиологических, опытно-промышленных испытаний автоклавного газосиликатобетона.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- оптимальные составы газосиликатного бетона;
- график режима оптимальной кинетики нарастания пластической прочности газосиликатной смеси на основе электротермофосфорного шлака и барханных песков с тонкомолотым природным волластонитом;
- установленные оптимальные технологические параметры автоклавной обработки производства газосиликатного бетона;
- результаты физико-механических свойств газосиликатного бетона;
- результаты технико-экономической эффективности производства и применения в строительстве автоклавного газосиликатного бетона.

Научная новизна работы:

- теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность получения конструкционно-теплоизоляционного автоклавного газосиликатного бетона плотностью 600-700 кг/м³;
- установлено, что добавка тонкомолотого волластонита позволяет значительно улучшить реологические свойства газосиликатобетонной смеси и повышает физико-механические свойства газосиликатного бетона;
- разработаны оптимальные составы и технологические параметры производства газосиликатного бетона;
- установлено, что волластонит устойчив в щелочной среде, и в повышенных температурах насыщенного пара при автоклавной обработке не теряет своих армирующих свойств, существенно повышая прочность на растяжение при изгибе газосиликатных бетонов;
- установлено, что высокие физико-технические свойства автоклавного газосиликатного бетона обусловлены образованием преимущественно устойчивых низкоосновных гидросиликатов кальция.

Практическая значимость диссертации

Разработанная технология автоклавного газосиликатного бетона с применением в качестве вяжущего вещества электротермофосфорного шлака решает важные задачи народно-хозяйственного значения, в частности, улучшает экологическую обстановку в регионе за счет утилизации наиболее многотоннажных отходов, снижает затраты на содержание отвалов в должном санитарном состоянии, а также уменьшает себестоимость ячеистого газосиликатного бетона. Применение барханного песка в качестве кремнеземистого компонента снижает затраты электроэнергии на помол и

расширяет сырьевую базу стройиндустрии.

Опыт внедрения результатов работы в производство. Произведен выпуск опытно-промышленной партии изделий из газосиликатных бетонов на основе электротермофосфорных шлаков и полиминеральных барханных песков в сочетании с природным волластонитом (Приложение В).

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждены фундаментальными законами физики, химии высококонцентрированных суспензий, имеющих свойства упруговязких пластичных систем и капиллярно-пористых тел, выполненных с помощью современных лабораторных приборов и промышленных установок. Автоклавную обработку проводили на новейшем лабораторном автоклаве с программным обеспечением режима автоклавной обработки. И максимальными параметрами запаривания изделий при давлении 1,2 МПа и температурой 191⁰С.

Апробация работы. Результаты исследований внедрены в учебный процесс, а именно: в лекционные занятия по дисциплинам «Технология бетона», «Проектирование предприятий бетонных и керамических строительных материалов, изделий и конструкций», «Автоклавные материалы» и «Основы технологии стеновых и отделочных материалов», в курсовые работы по дисциплинам «Технология бетона», «Проектирование предприятий бетонных и керамических строительных материалов, изделий и конструкций», «Автоклавные материалы» и «Основы технологии стеновых и отделочных материалов», в выполнение дипломных работ по дисциплинам «Технология бетона», «Проектирование предприятий бетонных и керамических строительных материалов, изделий и конструкций», «Автоклавные материалы» и «Основы технологии стеновых и отделочных материалов», в разделе «Подбор состава ячеистого бетона» (Приложение А). На основании результатов исследования получено решение о выдаче 1 патента на полезную модель (Приложение Б). Результаты работы опубликованы в научно-технических журналах и на международных научно-технических конференциях. Основные научные и технологические результаты доложены и получили положительную оценку:

- на международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения – 15: Третья модернизация Казахстана – Новые концепции и современные решения», посвященной 120-летию Мухтара Омархановича Ауэзова (г. Шымкент 2017, ЮКГУ);

- на 15 международной научно-практической конференции «Veda a Technologie: Krok Do Buoucnosti – 2019» (Прага, 2019);

- на международной научно-практической конференции «Найновите постижения на европейската наука – 2019» (София, 2019);

- в научном журнале «Казахский головной архитектурно-строительной академии» (г. Алматы 2019);

- в научном журнале Вестник КазННТУ (г. Алматы, 2019);

- в журнале «Промышленный транспорт Казахстана» (г. Алматы, 2019)

- в журнале «Journal of Advanced Concrete Technology (Japan)», ISSN:1346-8014 из перечня изданий, входящих в базы Web of Science Core Collection и Scopus.

Публикации результатов исследования. Результаты диссертационной работы отражены в 9 публикациях, в том числе в одной статье в журнале из перечня изданий, входящих в базы Web of Science Core Collection и Scopus, в двух статьях международной научно-практической конференции, в двух статьях в журналах дальнего зарубежья, в одной статье в научном журнале «Вестник КазНУ», в двух статьях в научном журнале Вестник КазГАСА, в одной статье в журнале «Промышленность Казахстана», рекомендованном ККСОН МОН РК для опубликования результатов диссертаций, а также получено решение о выдаче 1 патента на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений, содержит 149 страниц машинописного текста, 36 рисунков, 31 таблиц, список использованных источников из 163 наименований.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕЙСТЫХ СИЛИКАТНЫХ БЕТОНОВ В КАЗАХСТАНЕ

Организация новых производств с комплексной переработкой, как природного сырья, так и вторичных ресурсов, по новейшим технологиям, является экономически и экологически выгодным направлением развития промышленности строительных материалов, и существенным рычагом для реализации Государственной программы новой жилищной политики как составной части решения государственных задач, отраженных в «Стратегии развития Казахстана до 2030 года» [12, 13]. Одним из таких производств являются заводы нового поколения, выпускающие изделия и конструкции из ячеистого бетона, нашедшие самое широкое распространение во многих странах мира, в том числе и в Казахстане. Опыт применения ячеистого бетона в строительной практике подтверждает его высокую эффективность, обеспечивающий хороший микроклимат внутри жилых, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений, придающий объектам разнообразный архитектурный облик, существенно снижающий нагрузку на конструкции и фундаменты, что позволяет вести строительство, даже в сейсмически активных районах индустриальными методами, экономить сырье, трудовые и энергетические ресурсы и значительно улучшить экологию [6].

Однако эта эффективность во многом зависит от степени изученности сырьевой базы и эксплуатационных условий региона, знания строителями его уникальных свойств и способов правильного применения, так как технология и свойства ячеистого бетона существенным образом отличается от других видов строительных материалов аналогичного назначения [14].

В Казахстане была принята Государственная программа развития промышленности строительных материалов и конструкций на 2005-2014 годы. Программа способствовала развитию всего строительного комплекса, появлению и внедрению новых видов эффективных строительных материалов, повышению конкурентоспособности отечественной продукции, как на внутреннем, так и внешнем рынках.

В мире лидерство по производству ячеистого бетона принадлежит Германии. В 2004 году 28 немецких предприятий произвели 3,4 млн.м³ неармированных и 250 тыс.м³ армированных изделий. Всего в Европе более чем на 100 предприятиях ежегодно производится порядка 18 млн.м³ изделий [6].

Компания «Masa Henke» из Германии реализует контракт по поставке высокоавтоматизированного завода по производству ячеистобетонных блоков в Абу Даби. Производительность завода, который запущен в конце 2007г., составляет 1200 м³ блоков в день, полная стоимость контракта – около 22 млн. евро, включая пуск завода и обучение персонала.

Производственные связи с этой компанией имеют и ряд Казахстанских

фирм [15].

В ряде ведущих организаций бывшего Союза были выполнены обширные исследования по выявлению сырьевых материалов, годных для изготовления изделий и конструкций из ячеистого бетона. В НИИЖБе исследовали вяжущие: цементное, цементно-известковое и вяжущие на основе молотого доменного гранулированного шлака, а также кремнеземистые компоненты – пески различных месторождений и зола-унос [16, 17].

На заводах в Павлодаре и Темиртау освоили производство крупноразмерных армированных изделий. Причем на заводе в Темиртау широко используют кварцево-полевошпатовые пески, рекомендованные учеными НИИСтромпроекта г.Алматы. Проектная мощность каждого такого завода первоначально составляла 189 тыс.м³ в год мелких блоков и теплоизоляционных плит [6].

1.1 Факторы, влияющие на физико-технические свойства ячеистых бетонов

Прочность и стойкость ячеистых бетонов зависят от качества используемого сырья, которое формирует структуру межпорового материала и структуру новообразований, а также от качественной и количественной характеристики пористой структуры и степени воздействия различных агрессивных факторов [14, 18].

Если качество сырья, состав и структуру новообразований можно определить с помощью простых физических методов, световой и электронной микроскопии, химических анализов, а также рентгенофазового и дифференциально-термического анализов, то, что касается приборов и установок по определению качественного и количественного определения пористой структуры материалов, которые имели бы большую разрешающую способность в одном аппарате, достоверность и простоту обработки результатов, то их количество незначительно, а установки, позволяющей определить весь спектр пористой структуры – нет [19-24].

Исследование пористости ячеистого бетона связано со сложностью проведения самого эксперимента и с работой на разных приборах и установках, часто очень сложных и не приспособленных для исследования ячеистых бетонов, и требующих значительной специальной подготовки обслуживающего персонала для проведения и обработки результатов. Особенность поровой структуры ячеистого бетона состоит в том, что поры по своим размерам бывают от несколько миллиметров до десятка ангстрем, а общая пористость составляет 70-85% [25]. Поровая структура ячеистого бетона также неоднородна. Затвердевший ячеистый бетон состоит из замкнутых или открытых макропор и межпоровых стенок скелета, содержащих, в свою очередь, микропоры и микрокапилляры. Геометрия порового пространства ячеистого бетона весьма разнообразна, имеют место поры различного неправильного очертания с резко различающимися

толщинами межпоровых перегородок. Свойства ячеистого бетона зависят не только от численной величины пористости, но и от равномерности распределения пор по сечению, толщины и прочности межпоровых стенок, однородности пор и стенок [26-28].

1.2 Особенности технологии и свойств ячеистых газосиликатных бетонов

1.2.1 Особенности технологии

Прежде чем приступать к исследованиям ячеистого газосиликатного бетона исследователь должен знать, что технология автоклавного и неавтоклавного ячеистого бетона, и его свойства имеют ряд особенностей по сравнению с технологией, свойствами плотных бетонов и растворов [14].

1. Одной из таких особенностей является изготовление ячеистого газосиликатного бетона в широком диапазоне (от 300 до 1200 кг/м³) по единой технологии на одном сырье и оборудовании.

Такая гибкая технология позволяет изготавливать на одном заводе изделия и конструкции разного размера.

2. Другой технологической особенностью этого вида бетона является применение в тонкодисперсном состоянии не только вяжущего, что относится ко всем без исключения бетонам, но и «заполнителя», называемого условно кремнеземистым компонентом, который активен в условиях автоклавной обработки и участвует в формировании прочности [25].

При изготовлении изделий из ячеистого газосиликатного бетона требуются применять тонкодисперсные сырьевые материалы для создания прочности ячеистой газосиликатобетонной смеси на этапе выдержки до автоклавного твердения, а также для высокой химической активности кремнеземистого компонента во время синтеза в автоклаве новых соединений, создающих устойчивость материала.

3. Следующей особенностью технологии является применение относительно большого количества воды затворения. Для производства тяжелых бетонов необходимо сократить количество воды затворения, а в связи с использованием тонкодисперсного сырья для изготовления ячеистых газосиликатных бетонов необходимо ее увеличить, чтобы получить необходимую вязкость растворной смеси. Для того, чтобы получить плотный ячеистый газосиликатный бетон с качественной макропористой структурой нужно использовать большое количество воды.

Благодаря сравнительно высокому содержанию воды, смесь становится подвижной, поэтому при формировании можно не применять механических воздействий.

На практике применяли вибрационные воздействия с целью снижения количества воды при изготовлении и формировании ячеистых газосиликатобетонных смесей.

Данные воздействия в начале заготовки дают возможность производить

достаточно однородную смесь при пониженном количестве воды затворения, а при этих же условиях на этапе формирования – позволит производить качественный ячеистый газосиликатный бетон с макропористой структурой. Необходимо принять во внимание затруднительность процесса воздействия между формируемой средой и вибрирующими компонентами, так как газосиликатную смесь необходимо поризовать, а не уплотнять.

4. Особенность технологии заключается в том, что у газосиликатной растворной смеси должна быть достаточная щелочная среда и повышенная температура, так как данные условия благоприятно влияют на процесс газообразования и вспучивания.

5. Затвердевание ячеистого газосиликатного бетона при автоклавной обработке в условиях насыщенного пара, повышенных давлений и температур является аналогичной особенностью этой технологии. Данная особенность заключается в том, что при автоклавной обработке происходит синтез новых соединений и появляется вероятность производить продукцию даже из сырья, которое не способно сформировать устойчивую структуру при твердении в привычных условиях.

6. Весьма примечательной особенностью технологии изготовления изделий из ячеистых газосиликатных бетонов, в составе которого нет крупного заполнителя, является возможность применения резательных машин для резки больших массивов сырой газосиликатобетонной смеси перед автоклавной обработкой на отдельные элементы. Таковы основные особенности технологии ячеистых бетонов.

1.2.2 Особенности свойств

Что касается особенностей свойств ячеистых газосиликатных бетонов, то они следующие:

1. Первой особенностью свойств ячеистого газосиликатного бетона, обуславливающей другие свойства, является низкая плотность, а следовательно, и низкий коэффициент теплопроводности. Поэтому этот бетон обладает высокими теплозащитными свойствами, начиная от плотности 300 кг/м^3 , когда он может конкурировать со многими другими теплоизоляционными материалами, и кончая конструкционным ячеистым бетоном с максимальной нормируемой плотностью 1200 кг/м^3 [29].

При использовании газосиликатного бетона соразмерно его плотности исключительно как теплоизоляционный материал, у него появляется преимущество по сравнению с другими аналогичными материалами в отношении прочности на сжатие, а по сравнению с органическими материалами он преобладает в отношении доступности, низкой стоимости, огнестойкости и биостойкости.

Если газосиликатный бетон применять как конструкционно-теплоизоляционный материал, то он обладает рядом преимуществ по теплозащитным свойствам и массе среди других материалов аналогичных по назначению.

2. Вторая особенность свойств ячеистого газосиликатного бетона – это характер его порового пространства, которое состоит не только из микропор, но и большого количества макропор. Такая особенность пористой структуры обеспечивает достаточно высокую морозостойкость многих видов ячеистого бетона.

3. Третьей особенностью свойств ячеистого газосиликатного бетона является простота механической обработки, которая дает возможность с легкостью фрезеровать поверхность блоков, выбирать пазы, делать разнообразные схожие операции.

Возможность такой механической обработки изделий из ячеистого бетона позволяет довести эти изделия до большой точности в размерах, что весьма важно при монтаже или укрупнительной сборке конструкций из отдельных элементов.

1.3 История развития производства ячеистых бетонов

В Швеции Д.А.Эриксон разработал и описал в патентах процесс образования пористой структуры в цементном тесте с помощью газообразующих средств. Аналогичные способы предлагались и раньше, но только после того, как они были предложены Эриксоном, примерно в 1924 г., они были приняты двумя Шведскими фирмами и это время можно считать началом развития промышленного производства ячеистого бетона [30-32].

В 1940 г. было начато производство газобетонных камней для стен. В начале 40-х годов И.Т.Кудряшовым была разработана технология изделий из автоклавного пеносиликата с применением извести-кипелки и молотого песка [33].

В послевоенный период заметно расширились исследовательские работы по ячеистым бетонам. Исследования были направлены на изучение различного сырья и отходов производства [34, 35].

Вели разработку технологических параметров изготовления ячеистобетонных изделий. Исследовали приготовление ячеистобетонной смеси, формирование изделий, защиту арматуры от коррозии, режимы автоклавной обработки, а также отделку поверхности панелей и контроль качества сырья и изделий [7, 36].

Резкое увеличение объема производства ячеистого бетона в Союзе произошло в 1960 г., когда вступили в строй 10 крупных заводов. При этом в отличие от зарубежной практики предприятия в бывшем Союзе были ориентированы на изготовление крупноразмерных конструкций, и это направление продолжало развиваться в последующие годы [37].

Комплексная вибрационная технология явилась важным этапом в развитии производства изделий из газобетона в бывшем Союзе. Пройдя ряд этапов в своем развитии, начиная от виброперемешивания до комплексной вибрации, эта технология совершенствовалась, и на последней стадии она получила название ударной технологии.

Дальнейшее развитие производства намечается за счет выпуска мелких блоков из ячеистого автоклавного и неавтоклавного бетонов для строительства малоэтажных зданий.

Сегодня самыми известными фирмами являются шведские фирмы «Итонг» и «Сипорекс». Производство ячеистого бетона, предложенного Эриксоном в фирме «Итонг» базировалось на обожженном сланце (золе) и извести [38, 39].

На основе портландцемента и песка производство ячеистого бетона в Швеции начато фирмой «Сипорекс» в 1934 г., научной базой производства послужили патенты И.Энклюда. Долгое время эти две ведущие фирмы выпускали изделия, которые отличались друг от друга по виду применяемого сырья, которым располагают заводы в Швеции и в странах, где по их лицензиям построены заводы. Применяемое сырье проходит тщательное и всестороннее исследование. Этому придается очень большое значение, нормативные рекомендации по сырью строго выдерживаются.

По лицензиям этих двух фирм «Итонг» и «Сипорекс» работают заводы во многих странах мира, которые отличаются высокой производительностью труда и рентабельностью, достигнутых в основном за счет оснащения современным оборудованием и высокой автоматизацией технологических процессов.

На заводе ячеистого бетона в Шнефердингене (Германия), построенном фирмой «Сипорекс» мощностью 200 тыс.м³ в год, в производстве занято 110 человек. На заводе фирмы «Итонг» в Кварнтропе мощностью 300 тыс.м³ в год занято 207 человек, из них 185 рабочих. Во Франции фирмой «Сипорекс де Бернон» построен полностью автоматизированный завод ячеистого бетона третьего поколения. Главная особенность изделий из ячеистого бетона на заводах этих фирм заключается в применении резательной технологии с использованием различных резательных машин высокой производительности и получении высококачественной готовой продукции. Это позволяет использовать один тип форм; вследствие чего резко сокращается трудоемкость, так как в автоматическом режиме работает помольное, смесительное отделение и идет заливка форм. Обычная продукция ячеистого бетона фирмы «Итонг» и «Сипорекс» имеет высокие показатели при плотности 500, 600, 700 кг/м³, прочность составляет 3,5; 4,5-5,5; 5,5-6,0 МПа соответственно [40, 41, 42].

В Германии после войны, несмотря на разруху, быстро развивалось производство изделий и конструкций из ячеистого бетона. В течение короткого времени был построен ряд заводов ячеистого бетона и к 1966 г. выпуск изделий из ячеистого бетона составил 1,2 млн.м³ в год. Была разработана своя технология производства ячеистого бетона и основана фирма «Хебель», по лицензии которой построены заводы во многих странах мира, однако, несмотря на это, по лицензии фирмы «Калсилоркс» (Нидерланды) также построен один завод и семь заводов по лицензии фирмы «Итонг» (Швеция). Выбрав самое лучшее и передовое, они построили в

Германии еще 18 отечественных заводов ячеистого бетона [30, 31, 40, 43].

В настоящее время строительные фирмы Казахстана связаны с ведущим мировым поставщиком комплектного оборудования для изготовления изделий из ячеистого бетона германской фирмой «МАЗА-ХЕНКЕ МАШИНЕН ФАБРИК». В Нур-Султане по технологии «Маза-Хенке» работают два завода «Экотон плюс» и ТОО «Альянс-МТС» [44].

Заводы третьего поколения полностью автоматизированы и компьютеризированы, что позволяет им производить продукцию, удовлетворяющую требованиям Евростандарта [37].

Всесторонние исследовательские работы способствовали дальнейшему росту производства, применению изделий из ячеистого бетона, и главное повышению качества изделий и конструкций [45, 46].

В мировой строительной индустрии также наметился резкий рост производства изделий и конструкций из ячеистого бетона (газобетона и пенобетона), как автоклавного, так и неавтоклавного твердения [46].

Несмотря на то, что неавтоклавные ячеистые бетоны обладают рядом преимуществ, отпадает надобность в автоклавах и котельных. Автоклавный же синтез позволяет производить бесцементные ячеистые бетоны высокого качества, с использованием промышленных отходов и некондиционного сырья, в обычных условиях твердения (пропаривание, естественное твердение), остающихся инертными, и тем самым позволяет снизить остроту проблемы современного строительства, связанного с дефицитностью и дороговизной цемента [17, 47, 48].

Первый Президент Казахстана Нурсултан Назарбаев в своем ежегодном Послании народу особо выделял роль жилищного строительства, назвав его одним из локомотивов экономического развития, призванного стимулировать развитие производства строительных материалов [1].

В настоящее время сформированы и утверждены планы по созданию и развитию 7 пилотных кластеров в области производства, в том числе строительных материалов.

Комитетом по делам строительства сохранена действующая нормативная база СССР и обеспечено планомерное ее обновление и пополнение. В связи с интенсивным строительством многофункциональных зданий и комплексов нового поколения, в составе которых нередко предусматриваются здания выше 16 этажей, разработан СНиП РК «Многофункциональные здания и комплексы», который регулирует все необходимые требования и условия, предъявляемые к проектированию и строительству подобных объектов [44, 49].

Рост инвестиций и выполняемых строительных работ увеличил потребность подрядных организаций в строительных материалах и конструкциях. В январе-сентябре 2005 года, по сравнению с аналогичным периодом 2004 года, произошел значительный рост их производства. Однако, несмотря на увеличивающиеся с каждым годом объемы производства, спрос по-прежнему превышает предложение. Образовавшийся дефицит

покрывается импортом, объем которого в несколько раз опережает рост отечественного производства. По данным Комитета таможенного контроля Министерства финансов, объем импорта за 2004 год составил 94,2 тыс. тенге на сумму 921,9 млн. долларов. В связи с ростом объемов инвестиций в капитальное строительство, ожидается дальнейший рост импорта строительных материалов. Степень износа основных фондов промышленности строительных материалов достигает 60-70%, причем ежегодное выбытие их составляет около 2%, а ввод в действие новых – около 1%, что приводит к фактическому сокращению производственных мощностей. Ассортимент отечественной продукции при насыщении товарного рынка строительными материалами не полностью удовлетворяет потребностям современного строительства. Имеющееся отставание обусловлено, главным образом, низким техническим уровнем предприятий, износом парка технологического оборудования и в отдельных случаях – отсутствием или нехваткой необходимых видов качественного сырья и исходных материалов. Созданные новые производства, в том числе и на импортном оборудовании, используются пока не на полную мощность. Из-за неравномерности размещения предприятий по производству строительных материалов удельный вес железнодорожных, транспортных расходов по отдельным видам продукции в цене потребления колеблется от 20 до 50% [50].

Поэтому в республике остро стоит вопрос об организации импортозамещающих производств по выпуску этих видов продукции на минерально-сырьевой базе страны, обладающей уникальными запасами ресурсов. Необходимо также использовать опыт казахстанских и зарубежных ученых в сфере ресурсосбережения и выпуска строительных материалов на основе переработанных техногенных отходов. Это позволит получать не только новые высокочастотные строительные материалы, но и улучшить экологическую ситуацию в Казахстане [44, 51-54].

Естественно, что выполнение такой программы потребует изготовления огромного количества ограждающих конструкций. Среди наиболее эффективных для этих целей материалов, специалисты, как отечественные, так и зарубежные, выделяют ячеистые бетоны, отличающиеся рядом уникальных свойств, в том числе замечательной звуко- и теплоизоляцией, а также пожаростойкостью [37, 44, 55].

Легкий и теплый строительный материал – ячеистый бетон может и должен помочь в успешной реализации жилищной проблемы страны. Ведь из 1 м³ минерального сырья, за счет вовлечения воздуха, можно получать до 3-4 м³ стенового материала [25, 56].

Результатами многочисленных испытаний установлено, что конструкции из ячеистого бетона не горят и не поддерживают горение, не содержат горючих компонентов, при горении не выделяют токсичных веществ, обладают высокими теплоизолирующими качествами, в том числе в условиях пожара, сохраняя в течение длительного времени целостность и

несущую способность. Имеется опыт успешного использования ячеистого бетона и в конструкциях противопожарных преград и стен (брандмауэров) [57-59].

Актуальным является использование ячеистобетонных изделий в сейсмической зоне строительства в нашей республике, это особенно в Алматы, Таразе и Шымкенте [29, 60].

1.4 Производство и перспектива применения ячеистых бетонов в Казахстане

Производство и применение изделий и конструкций из ячеистого бетона в Казахстане неразрывно связано с исследованиями технологии и свойств, проведенными учеными бывшего Союза и созданной ими научной школы [25, 61, 62]. В Алматинском НИИСтромпроекте были проведены исследования по различным шлакам и золам, малокварцевому сырью для производства автоклавных материалов. Научные и производственные достижения Алматинского НИИСтромпроекта во многом связаны с именем замечательного ученого Куангали Куатбаевича Куатбаева, который, после окончания Ленинградского технологического института и аспирантуры МХТИ им. Д.И.Менделеева под руководством д.т.н. профессора Ю.М.Бутта, более 30 лет работал заместителем директора по научной части [7, 55].

Академиком НИА РК, д.т.н. профессором К.К.Куатбаевым опубликовано более 500 научных трудов, в том числе около 100 авторских свидетельств и 10 монографий, 35 технических нормативов. Под его научным руководством подготовлено более 20 кандидатов и 3 доктора технических наук. Многочисленные труды изданы за рубежом на английском, немецком, венгерском и румынском языках.

В начале 60-х годов СССР купил 10 заводов ячеистого бетона мощностью 189 тыс. м³ в год каждый, два из них были размещены в Казахстане в Павлодаре и Темиртау, сложнейшую технологическую отладку производства провел профессор К.К.Куатбаев. Он был и ученым, и педагогом, щедро делился своими поистине неиссякаемыми жизненными и техническими знаниями.

В УралПромстройНИИпроекте и его филиалах изучены доменные гранулированные шлаки Урала. В МГСУ проведены исследования по использованию зол ТЭЦ, шлаков, различных песков [51-53]. Большое внимание уделяют отходам производства, различным шлакам и золам. При помощи ячеистого бетона решается важная народнохозяйственная задача – утилизация отходов и улучшение экологии.

Однако проблема использования отходов не только важна, но и очень сложна. Особенно в производстве изделий из ячеистого бетона, так как свойства отходов крайне неоднородны. Химический и минералогический составы колеблются в значительных пределах. А, ячеистый бетон очень чувствителен на небольшие колебания по химическому составу и минералогическому составу даже взятых в разных местах одного отвала, как,

например, электротермофосфорные шлаки, и зависят от вида удаления, улова, температуры сжигания угля и т.д., как, например, у золы [29, 44, 53].

Именно нестабильностью сырья объясняется относительно малый процент использования отходов промышленности в строительных материалах и, в частности, в изделиях из ячеистого бетона [25, 29].

Важными исследованиями, актуальность которых ощущается и поныне, явились поиски новых пено- и газообразователей. Исследование нового газообразователя на базе пергидроля для ячеистого бетона провели П.Д.Кевеш, Э.Я.Эршлер. Новые пенообразователи для ячеистого бетона «ПС» разработали Л.М.Розенфельд и алюмосульфонафтенный пенообразователь А.Т.Баранов [25].

Жаростойкие ячеистые бетоны были разработаны К.Д.Некрасовым, М.Я.Кривицким [63]. В настоящее время возник вопрос об изучении его стойкости и трещиностойкости в процессе эксплуатации [29, 64, 65]. Такие работы проведены Б.Ф.Васильевым, Е.С.Силаенковым [66-69]. Технологическим способам повышения стойкости изделий и конструкций из ячеистого бетона и методам оценки степени их влияния на эксплуатационные характеристики посвящены работы А.Т.Баранова, Ю.М.Бутта, К.К.Куатбаева, Е.С.Силаенкова, Т.А.Уховой, А.Е.Шейкина [66-70].

Не менее важен вопрос о разработке эффективных изделий и конструкций, и методов их расчета, а также исследовании механических и теплофизических свойств ячеистого бетона. Такие работы были успешно выполнены В.В.Макаричевым, Н.И.Левиным и другими.

СССР по объему производства ячеистого бетона (около 6,0 млн. м³ в год) занимал первое место в мире, а в пересчете на душу населения резко отставал от других стран, к примеру, в Чехословакии его производили 2,9 млн. м³ в год, а в Польше – 5,5 млн. м³ в год. В первую очередь это объяснялось недостаточным вниманием со стороны государства к этой отрасли, недооценка его уникальных свойств. После шестидесятих годов по передовым лицензиям не было построено ни одного завода нового поколения, не вели по системе народного образования специальную подготовку инженерных и рабочих кадров, многие строители не знали и не знают специфических свойств ячеистого бетона и способов его правильного применения [29, 44].

В 70–80-х годах научно-исследовательскими организациями Минстройматериалов СССР, Минстройдормаша и другими разработаны и внедрены в производство ряд новых технологических процессов и оборудования с целью дальнейшего совершенствования производства, расширения его объемов, улучшения качества изделий из ячеистого бетона, экономии трудовых и материальных ресурсов.

На заводах в Павлодаре и Темиртау освоили производство крупноразмерных армированных изделий. Причем на заводе в Темиртау широко используют кварцево-полевошпатовые пески, рекомендованные учеными НИИСтройпроекта г. Алматы. Коллективами этих заводов накоплен

большой опыт по производству изделий из ячеистого бетона, что позволило им превзойти проектную мощность и занять первые места среди десяти предприятий бывшего союза по выпуску крупноразмерных армированных ячеистобетонных изделий [7].

Сравнительно невысок выпуск ячеистобетонных стеновых блоков в Казахстане – 192,5 млн. шт. при общей мощности заводов 243,1 млн. шт. Заводы расположены в Актюбинской (мощностью 40 млн. шт.), Карагандинской (113,1 млн. шт.), Павлодарской (90 млн. шт.) областях. Цех блоков ячеистого бетона находится в составе Актюбинского завода силикатных строительных материалов. Крупное производство блоков организовано на заводах г.Темиртау (комбинат «Промстройиндустрия») и Павлодарском комбинате железобетонных изделий №4. Производятся блоки из ячеистого бетона на Акмолинском и Шардаринском заводах [29].

Ячеистобетонные плиты и блоки теплоизоляционные выпускает Усть-Каменогорский комбинат строительных материалов – 13 тыс.м³, Темиртауский комбинат «Промстройиндустрия» – 93, комбинаты железобетонных изделий №1 и №4 в Павлодаре – 38 и 21 тыс. м³ [29].

Накопленный опыт изготовления и применения в строительстве изделий и конструкций из ячеистого бетона в СССР показал, что направление развития данной отрасли является наиболее эффективным и перспективным.

Госстроем СССР в середине 80-х годов были проанализированы и обобщены данные всех союзных отраслевых министерств, НИИ, ВУЗов, проектных и строительных организаций по экономической, социальной и экологической эффективности строительства и к 1995 г. намечалось строительство 200-250 заводов ячеистого бетона нового поколения, мощностью 150-200 тыс. м³ каждый, что нашло отражение в постановлении от 9 августа 1988 г. №157 Госстроя СССР. Этим постановлением была утверждена научно-производственная программа «Система эффективного строительства жилых и общественных зданий из ячеистых бетонов». Для выполнения программы намечалось строительство вышеуказанного количества заводов по всей территории союза. Преимущественно точками строительства новых заводов ячеистого бетона были выбраны регионы, имеющие соответствующее сырье, опыт производства, строительства и эксплуатации, научную и подготовительную базу. Так, по Казахстану планировалось построить в 18 городах и поселках заводы ячеистого бетона нового поколения общей мощностью 3,2 млн. м³ в год, в областях Актюбинской, Акмолинской, Семипалатинской, Жамбылской, Карагандинской, Кызылординской, Кустанайской, Восточно- и Северо-Казахстанской, Жезказганской, Талдыкурганской, Кокчетавской и Уральской.

Необходимо отметить, что, учитывая специфичность технологии, свойств, возведения и эксплуатации зданий и сооружений из ячеистого бетона, данным постановлением Госкомитету СССР по народному образованию, вменялось начать подготовку инженеров-технологов,

конструкторов и квалифицированных рабочих для обеспечения работы на создаваемых предприятиях. Сегодня необходимо извлечь из этой программы все выгоды, заложенные для строительной практики Республики Казахстан на современный этап и на перспективу [44].

Программа строительства заводов в Казахстане не состоялась в связи с распадом СССР.

Среди вузов СССР, одним из первых, исследовательские работы в области ячеистых бетонов автоклавного твердения начали проводить в Казахском технологическом институте (КазТИ) г. Чимкента, созданного в июле 1943 года на базе Киевского строительного техникума. Здесь в начале 1960 года преподаватель Комарова Нива Николаевна, на свой страх и риск, с лаборантом Тилеубаевым Шамшильдой Патчибековичем собрали лабораторный автоклав с рабочим давлением до 20 атмосфер и температурой более 200⁰ С, оснастив его автоматикой. Отметим, что из более 150 вузов и филиалов строительного профиля в СССР только в 6 вузах имелись автоклавы для проведения лабораторных работ и научных исследований.

Кафедра «Строительные материалы» с появлением автоклава стала проводить лабораторные работы и дипломные исследовательские работы под руководством опытных педагогов: Комаровой Н.Н., Шарафиевой З.Ш., Лысенко Н.П., Грозного В.М., Алтаевой С.Н., Байжанова Д.К., Ахметова А.Р., Исмаилова А.А., Калшабековой Э.Н., Темиркулова Т.Т.; инженеров Тилеубаева Ш.П., Аскарбекова А., Оразбаева М., начали готовить специалистов-технологов для заводов сборного железобетона, в том числе и для заводов по выпуску ячеистого бетона и силикатного кирпича. Производственные и преддипломные практики студенты проходили на республиканских заводах ячеистого бетона, Чардаринском КСМ, Павлодарском КЖБИ-4, Нарвском комбинате ячеистого бетона Эстонии, Люберецком и Московском силикатном заводах [44].

На автоклаве КазХТИ в течение четверти века проводились научные исследования по совершенствованию технологии производства ячеистых бетонов и по использованию отходов промышленности в виде ЭТФшлаков и флотохвостов, барханного песка и другого некондиционного сырья, результаты внедрялись на Чардаринском КСМ, где был цех автоклавного ячеистого бетона. В содружестве с Ленинградским ИСИ под руководством профессора Боженова П.И., используя результаты, полученные в нашей лаборатории, защитили диссертации: Шарафиева З.Ш., Комарова Н.Н., Байжанов Д.К., Жунисов С.Ж., Исмаилов А.А., Копжасаров Б.Т.

В лаборатории была создана мини линия производства ячеистого автоклавного бетона. Помощь в создании линии оказал Павлодарский завод ячеистого бетона и силикатного кирпича КЖБИ-4, в лице директора завода Эм М.А., который был рецензентом книги Ахметова А.Р. «Технология и свойства ячеистого бетона» 1992 г.

Исследования продолжились по совершенствованию заводской технологии производства ячеистого бетона с использованием золы-унос

Ермаковской ТЭС, местного сырья, отходов промышленности и некондиционного сырья. В исследованиях приняли участие к.т.н. Копжасаров Б.Т., инженеры

Дмитриев С.В., Оразбаев М., студенты Умарова Н., Ахметов Д., Тенякова Н. и многие другие.

Бурное развитие применения изделий и конструкций из ячеистого бетона в Казахстане началось после приобретения независимости. В таких городах как Нур-Султан, Актюбинск, Алматы, а также в других городах стали вводить в действие заводы третьего поколения. В Нур-Султане по технологии немецкой фирмы «Маза-Хенке» работают заводы ТОО «Альянс МТС» и «Экотон плюс». Производимая продукция не уступает зарубежным, по качеству.

1.5 Выводы

1 Ячеистые газосиликатные бетоны являются самым эффективным материалом и имеют хорошие теплоизоляционные свойства, они долговечные, огнестойкие и легко обрабатываемые. Благодаря этим свойствам их используют в строительной практике Казахстана в качестве ограждающих изделий и конструкций в различных зданиях и сооружениях.

2 По сравнению с другими видами бетонов, которые требуют детальный подход к технологии изготовления и изучения их свойств, ячеистые газосиликатные бетоны имеют несколько уникальных особенностей.

3 Есть возможность настроить технологию с компьютеризацией и оптимизацией технологического процесса на заводах Казахстана, выпускающих ячеистый газосиликатный бетон по немецким технологиям фирмы «Маза-Хенке» с применением сырья местного происхождения, и производить продукты в соответствии с современными требованиями Евростандарта.

4 Назрела необходимость тесной связи нашего вуза с действующими заводами третьего поколения по производству автоклавного ячеистого газосиликатного бетона.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Сырьевые материалы

Вид и качество применяемых материалов значительным образом влияют на физико-механические и эксплуатационные свойства газосиликатного бетона.

Экспериментальные исследования необходимые для производства газосиликатного бетона автоклавной обработки проводились в лабораторных условиях, а конечные результаты – в производственном секторе завода по выпуску газосиликатобетонной продукции.

В работе использованы следующие материалы: портландцемент М400 Шымкентского цементного завода, гранулированный электротермофосфорный шлак, полиминеральный барханный песок Шардаринского месторождения, природный волластонит, известь воздушная, строительный гипс, алюминиевая пудра ПАП-1, вода.

2.1.1 Цемент

Для производства автоклавного газосиликатобетона применяется портландцемент марки ПЦ 400 и ПЦ 500, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия». Для всех цементных заводов существуют колебания состава цемента, поэтому необходим подбор состава и режим изготовления автоклавного газосиликатобетона с применением цемента конкретного завода изготовителя. Для производства не применяется высокосульфатные гидрофобные, сульфатостойкие и пуццолановые цементы.

Химический и минералогический составы портландцемента (ПЦ 400 Д0) Шымкентского цементного завода приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 – Химический состав портландцемента

№ составов	Содержание, % по массе							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO _{св}	R ₂ O	П.П.П.
1	61,80	22,40	4,15	3,10	1,82	0,63	0,80	5,30
2	62,50	21,45	3,85	3,25	1,63	0,57	1,25	5,50

Таблица 2.2 – Минералогический состав портландцемента

№ составов	Содержание, % по массе				
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Пром. в-во
1	58,00	20,00	7,00	8,00	7,00
2	56,00	21,00	8,00	9,00	6,00

Химико-минералогический состав портландцемента удовлетворяет требованиям СН-277-80.

Физико-механические свойства портландцемента Шымкентского цементного завода приведены в таблице 2.3.

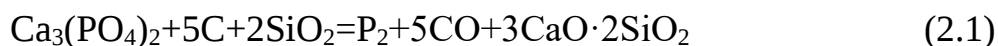
Таблица 2.3 – Физико-механические свойства цемента (ГОСТ 10178-85. «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»)

№	Удельная поверхность, м ² /кг	В/Ц раствора (1:3) с расплавом конуса)113 мм	НГ цемент ного теста, %	Сроки схватывания, час-мин		Предел прочности, МПа					
						7 суток		14 суток		28 суток	
				начало	конец	R _{изг}	R _{сж}	R _{изг}	R _{сж}	R _{изг}	R _{сж}
1	340	0,40	26,00	0-55	3-55	1,95	19,6	3,08	36,2	5,70	42,8

2.1.2 Гранулированный электротермофосфорный шлак

При проведении экспериментальной части работы для составления сырьевых композиций вяжущих материалов были использованы гранулированный электротермофосфорный шлак заводов ТОО «Казфосфат», маломagneзиальная воздушная известь Састюбинского цементно-известкового завода [71].

Электротермофосфорные шлаки получают в ходе переработки фосфорных руд. Восстановление фосфора из фосфатов углеродом в присутствии двуокиси кремния происходит по основному суммарному уравнению:



Восстановление фосфора в печи идет при температурах 1350-1500°C.

При возгонке в электропечи образуются фосфорсодержащий печной газ (основной продукт) и отходы производства – шлак, феррофосфор. Огненно-жидкий шлак сливается в специальные ковши шлакошлюзы и вывозится на переработку или перерабатывается непосредственно у печей на шлаковый песок и гранулят. Феррофосфор поступает на установку розлива, охлажденные слитки поступают на склад. Отходящий печной газ через электрофильтры поступает в систему конденсаторов. Сконденсированный фосфор собирается в приемниках [72].

Химический состав гранулированных электротермофосфорных шлаков приведен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Химический состав электротермофосфорных шлаков

№ п/н	Содержание оксидов, %							Стекло фазы, %
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	F	
1	40,90	47,30	0,99	3,40	2,30	2,50	2,32	95,00
2	41,90	46,56	1,55	2,70	3,40	2,00	1,80	94,20
3	42,30	45,98	0,88	2,96	2,90	2,02	1,82	93,00
4	42,70	46,70	2,89	0,89	2,25	1,74	2,40	92,00
5	43,60	45,92	2,60	0,42	3,10	1,45	2,25	87,90
6	43,60	45,60	0,82	2,60	3,60	0,90	2,40	85,00
7	43,85	46,20	1,07	2,50	3,15	0,91	2,20	72,00
8	42,96	45,71	2,00	2,15	3,55	0,86	2,34	70,00
9	43,40	44,90	1,80	2,50	3,70	1,09	2,15	67,00
10	43,61	46,10	0,90	2,20	3,45	0,96	2,30	65,00
11	43,50	46,20	0,93	2,30	3,55	0,83	1,96	63,50

Цвет гранулированного шлака - серый, структура пористая.

Петрографические исследования показали, что основная масса фосфорных шлаков представлена стекловидным веществом. Содержание стекла составляет от 63,50 до 95,00%, остальная масса представлена кристаллическими фазами.

Основной кристаллической фазой фосфорных шлаков является псевдоволластонит (α -CaO·SiO₂) в виде призматических кристаллов с показателями светопреломления $\eta_g=1,654\pm0,002$, $\eta_p=1,610\pm0,0015$; количество этой фазы в шлаке составляет 3-4%. Обнаружено также содержание меллита – Ca₂(Al, Mg, Si)Si₂O₇. При повышенном содержании фосфорного ангидрита в шлаке было обнаружено наличие минерала силикокаронотита 5CaO·P₂O₅·SiO₂ показателями светопреломления: $\eta_g=1,656\pm0,002$, $\eta_p=1,640\pm0,0015$, а при малом содержании P₂O₅ самостоятельных фосфорсодержащих минералов не обнаружено, возможно, они входят в состав псевдоволластонита.

Фторсодержащий минерал представлен фторапатитом Ca₅F·P₃O₁₂ с показателями светопреломления: $\eta_g=1,633\pm0,01$, $\eta_p=1,630\pm0,002$;

Таким образом, фосфорные шлаки содержат фазы с различной степенью химической активности. Важное значение имеет содержание остеклованных частиц, чем их больше, тем однороднее состав шлака и больше их химическая активность.

2.1.3 Полиминеральный барханный песок

В качестве кремнеземистого компонента использовался полиминеральный барханный песок Шардаринского месторождения нескольких партий, которые почти не отличаются друг от друга по минералогическому и зерновому составам.

Средний химический состав полиминеральных барханных песков приведен в таблице 2.5.

Таблица 2.5– Химический состав полиминеральных барханных песков

№	Содержание, % по массе					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	П.П.П.
1	71,36	12,45	9,03	1,30	1,22	4,50

Количественно-минералогический анализ барханного песка показал, что он полиминеральный и состоит из обломков кварца и зерен калиевых полевых шпатов – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$. Размеры крупных обломков в диаметре составляют от 1 мм до 1,5 мм, наименьших от 0,3 мм до 0,5 мм, преобладающие размеры составляют 0,5 – 1,0 мм. Содержимое кварца – 51%; полевошпатовых минералов 28%; глинистых минералов с тонкодисперсным кальцитом – 8%; кальцит – 10%; биотит, авгит, роговая обманка – 3%.

Как показали результаты анализов, минералогический состав полиминеральных барханных песков существенно отличается от стандартных песков.

2.1.4 Природный волластонит

Научно-исследовательские и практические работы выполнены с учетом требований современного строительного рынка и специфики местных условий работы строительных предприятий.

Свойства поромассы и гипсопоробетона в значительной степени зависят от качества используемых материалов. Поэтому подбор их должен производиться достаточно тщательно. Экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях с проверкой основных результатов на предприятиях Казахстана [73].

Волластонит представляет собой силикат кальция, отвечающий формуле $CaSiO_3$, (CaO–48,3%, SiO₂–51,7%), с удлиненными таблитчатыми и игольчатыми кристаллами. В природе в чистом виде волластонит не встречается.

Он всегда находится в парагенезисе с реликтами зерен кварца, кальцита, магнезита, гранатов и другими контактными минералами. Д.С.Белянкин и В.П.Петров [74] при изучении скарнов кристаллов волластонита установили наличие в них мелких иголок ксонотлита. Авторами было отмечено, что ксонотлит является обязательным и обычным промежуточным продуктом, возникающим при гидротермальном синтезе волластонита.

В исследованиях использовали волластонитовый концентрат (в дальнейшем волластонит) Верхнебадамского месторождения. Химический состав, использованных в исследованиях проб волластонитового концентрата показан в таблице 2.6. Месторождение расположено в Тoleбийском районе Южно-Казахстанской области, в 50 км к юго-востоку от г.Ленгер, в 29 км от асфальтированной дороги, имеет широкое площадное распространение и большие промышленные перспективы. Прогнозные запасы волластонита – 4 млн.т. Работает обогатительная фабрика. По данным [75], содержание волластонита в залежах до 75%, содержание оксидов железа до 4,5%, кальцита до 25%, кварца до 20%.

Таблица 2.6 – Химический состав использованных в исследованиях проб волластонитового концентрата

№	Содержание %									П.П.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	
1.	43,17-46,16	2,32-2,56	0,78-0,90	36,0-37,87	1,91-2,22	до 0,01	0,49-0,56	1,11-1,20	0,06-0,10	9,33-11,41

В таблице 2.7 приведен минералогический состав волластонитового концентрата.

Таблица 2.7 – Минералогический состав волластонитового концентрата

№ сос таво в	Содержание, % по массе					
	Ca ₃ (Si ₃ O ₉)	CaCO ₃	MgCO ₃	R ²⁺ 3R ³⁺ +2(SiO ₄) ₃	R ₂ ²⁺ [Si ₂ O ₆]	K[AlSi ₃ O ₈], Na[AlSi ₃ O ₈], Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈]
1	81-86	5-8	1-4	1-3	1-2	до 2%
2	56,00	21,00	8,00	9,00		

Содержание карбонатов в принятых к исследованиям пробах волластонита изменялось от 2,2 до 7,85 % по CO₂.

2.1.5 Известь воздушная

Известь Састюбе удовлетворяет требованиям ГОСТ 9179-2018 «Известь строительная», температура гашения 60-75⁰С, скорость гашения 10-15 минут. Активность извести 60-75%.

2.1.6 Строительный гипс

При проведении экспериментальных исследований использовали строительный гипс марки Г-7 Таразского гипсового завода, строительный гипс Г-7 АО «Гипс». Основные свойства использованных разновидностей гипса представлены в таблице 2.8. Свойства гипсовых вяжущих определяли по ГОСТ 23789-2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». В соответствии с требованиями ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия». Определяли нормальную густоту, сроки схватывания, предел прочности при сжатии и изгибе через 2 ч после формовки и в высушенном до постоянной массы состоянии. Все вяжущие соответствовали требованиям ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия».

Таблица 2.8 –Основные свойства использованных разновидностей гипса

		Сроки	Предел прочности, МПа	Остаток
--	--	-------	-----------------------	---------

Гипс	Нормальная густота, %	схватывания, мин		при сжатии		при изгибе		на сите №002, %
		начало	конец	через 2 ч	После высушения	через 2 ч	после высушения	
Строительный Г-7	59	7-5	16	7,6	10,6	3,7	4,5	15,4

2.1.7 Алюминиевая пудра

В качестве газообразователя в лабораторных исследованиях использовали алюминиевую пудру ПАП-1, отвечающую требованиям ГОСТ 5494-95. «Пудра алюминиевая пигментная. Технические условия». Содержимое активного алюминия в марке ПАП-1 составляет 70-95%.

2.1.8 Вода

Вода для приготовления бетонной смеси должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия». В воде, используемой для приготовления бетона, должны отсутствовать примеси масел, кислот, сильных щелочей, органических веществ и производственных отходов. Удовлетворительной считается вода питьевого качества или вода из бытового водопровода. Вода обеспечивает гидратацию цемента. Любые примеси в воде могут значительно снизить прочность бетона и вызвать нежелательные преждевременное и замедленное схватывания цемента, образования пятен на поверхности готового изделия. Температура воды не должна быть ниже 15°C, поскольку снижение температуры ведет к увеличению времени схватывания бетона.

2.2 Методы испытаний

2.2.1 Определение удельной поверхности сырьевых материалов

Определение производится на приборе ПСХ – 2. Прибор состоит из кювета, плунжера, манометра, крана, резиновой груши и соединительных трубок.

Вычисление удельной поверхности определяют по формуле

$$S = K \frac{M\sqrt{T}}{P} \text{ см}^2/\text{г} \quad (2.2)$$

где К – постоянная прибора; $M\sqrt{T}$ – табличные величины, находящиеся в зависимости от измерения высоты слоя навески и температуры воздуха; Р – величина навески, в г.

2.2.2 Реологические свойства газосиликатных бетонных смесей

Реологические свойства газосиликатобетонной смеси определяют:

1. Текучесть определяли на приборе Суттарда (рисунок 2.1).

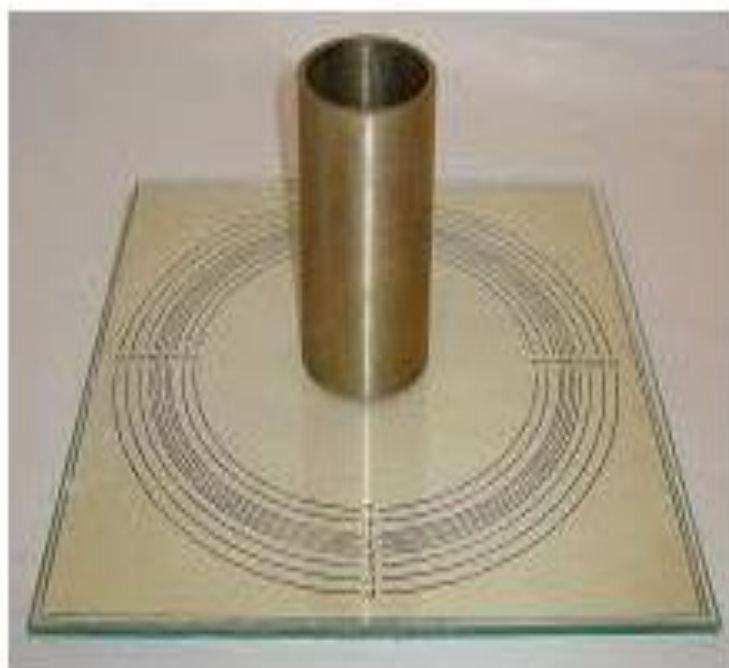
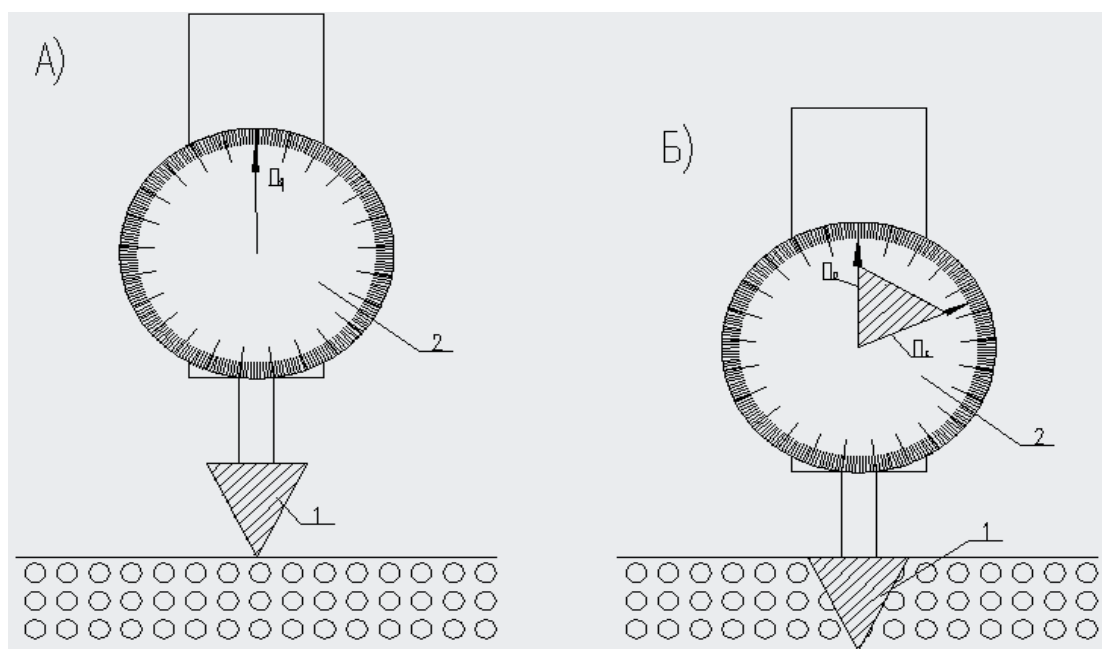


Рисунок 2.1—Определение текучести смеси на приборе Суттарда

2. Величину пластической прочности газосиликатобетонной смеси, а также кинетику роста устанавливали при помощи пластометра разработанного НИПИСиликатобетоном по ТУ 21-31(020)-6-79 (рисунок 2.2).



1-конус, 2-индикатор часового типа.

Рисунок 2.2 – Пластометр.

Пластическую прочность ($R_{пл}$) вычисляют в случае основного конуса по формуле:

$$R_{пл} = K1 * П \quad (2.3)$$

где $K1$ – коэффициент пластометра указан в паспорте; $П$ –отсчет по индикатору в момент полного погружения конуса, см.

Пластическую прочность $R_{пл}$ вычисляли по формуле:

$$R_{пл} = K \frac{P}{H^2}; \quad (2.4)$$

где K – коэффициент пластометра, равный 0,416; P – вес конуса, г; H – высота погружения конуса, см.

2.2.3 Процесс приготовления раствора газосиликатобетонной смеси

Готовятся исходные материалы – песок, гранулированный электротермофосфорный шлак, известь, цемент, добавка, природный волластонит, вода, газообразователь. Сперва в газобетоносмеситель заливается вода, далее равномерно высыпается песок, затем вяжущее в виде цемента и электротермофосфорного шлака, известь, тонкомолотый природный волластонит, гипс. Раствор хорошенько перемешивается до получения однородной смеси (в зависимости от качества цемента от 5 до 15 минут), после этого добавляется добавка нитрит-нитрат кальция (в количестве 2% от массы цемента), предварительно растворенная в воде, и только в конце добавляется газообразователь и тщательно перемешивается в течение 1-2 минут. Изготовленную газосиликатобетонную смесь разливают в формы для готовой продукции. Формы заливаются примерно на 1/2 - 2/3 её высоты. Спустя 2-3 часа прекращается процесс образования пор и «вспучивания» газосиликатобетонной смеси. В начале газосиликатобетонная смесь заливается в формы и поднимается, затем срезается поверхность блока (срезается или выравнивается) и накрывается полиэтиленом либо влажной тканью. Как только газосиликатобетонные блоки наберут определенную прочность, их направляют на автоклавную обработку. После автоклавной обработки извлекают изделия из форм, далее готовые изделия направляются на склад.

2.2.4 Физико-механические свойства ячеистых бетонов

Физико-механические свойства газосиликатного бетона определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 12852.0-77 «Бетон ячеистый. Общие требования к методам исследований».

1. Прочность на сжатие и растяжение по ГОСТ 10180-2012 «Методы определения прочности по контрольным образцам».

2. Прочность при изгибе с помощью прибора МИИ-100 на образцах размером 4х4х16 см.
3. Плотность – по ГОСТ 27005-86 «Бетоны легкие и ячеистые».
4. Влажность – по ГОСТ 12730-78 «Методы определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости».
5. Усадку при высыхании – по ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые».

3 УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОСИЛИКАТНОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛЛАСТОНИТА

С целью увеличения физико-механических свойств ячеистого бетона (в первую очередь прочности на растяжение при изгибе), по СН-277-80, пункт 2.6 рекомендуется, в качестве волокнистой добавки применять асбест 5-го и 6-го сортов, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 12871-2013 «Хризотил. Общие технические условия».

Асбест использовался, в различных материалах, широко благодаря своим свойствам упрочнения, негорючести и дешевизне.

К началу 1990-х гг. мир окончательно раскололся на два лагеря – защитников и противников применения асбеста в различных отраслях промышленности и строительстве.

Защитниками применения асбеста – выступили обладатели самых крупных месторождений хризотил-асбеста – Россия, Казахстан и Канада [76].

Противниками применения асбеста выступили страны, где нет месторождений асбеста – Франция, Германия и США. Каждая из этих стран преследуют свои экономические интересы и стараются лоббировать законы и

результаты исследований о вреде или неопасности применения асбеста. Ранее эксперты ВОЗ выступили с заявлением, где призвали все страны мира, включая Казахстан, Узбекистан и Туркменистан, вести полный запрет на добычу, использование, производство и продажу всех видов асбеста [77].

Специалисты выделяют две группы асбеста — амфиболовую и хризотилую.

Наибольшую опасность представляет амфиболовый асбест. Кислотостойкий, амфиболовый асбест практически не выводится из организма и вызывает заболевание раком. В настоящее время добыча и использование амфиболового асбеста запрещены во всем мире.

В Казахстане амфиболовый асбест не добывался и не добывается.

Результаты научных исследований Национального центра гигиены труда и профзаболеваний РК и Карагандинского медицинского университета показали, что хризотил асбест Казахстана не опасен для здоровья, так как он легко разлагается под действием кислот и поэтому быстро выводится из организма [78].

Хризотил – асбест входит в состав более тысячи изделий (в виде труб, шифера, керамических изделий, огнеупоров и других изделий) в самых различных областях промышленности и строительства. Казахстан обладает единственной в Средней Азии сырьевой базой хризотил-асбеста и производит 400 тысяч тонн хризотил-асбеста в год. Разведанных запасов руды хризотил-асбеста Казахстану хватит на 100 лет.

Проанализировав экономическую ситуацию складывающейся в мировой строительной практике применения асбеста и её экспортную поставку за рубеж (95%), мы в своих исследованиях пошли по пути поиска альтернативной замены хризотил асбеста, с целью повышения прочности газосиликатного бетона на изгиб. Этой альтернативной заменой хризотил асбеста нашими исследованиями установлен – волластонит. Ценность волластонита выражается еще и в том, что армирующие свойства равны хризотил асбесту и не теряют своих свойств в условиях повышенных температур и давления. Разведанные запасы природного волластонита Казахстана значительны.

Таблица 3.1 – Запасы основных волластонитовых месторождений Казахстана

Страна	Фирма	Месторождение	Запасы, млн. тонн
Казахстан	ЗАО «Глобал»	Босагинское	7,0
	ТОО «Олва»	Алайгырское	14,5
	ТОО «Геосистем»	Аксоранские	10,0
	АО Корпорация «Базис»	Верхнее-Бадамское	4,0
	Восточный Казахстан	Хайрузовское	5,0
	ЗАО «Алаш»	Акжал-Аксоранское	20,0
Всего:			50,5
Казахстан	АО «Костанайские	Жетыгаринское	37,0

	минералы»		
Всего:			37,0

Волластонит, что очень важно и для ячеистых бетонов, обладает очень хорошими теплозащитными свойствами и ограничения по содержанию волластонита в воздухе такие же, как и для ПДК обычной пыли – 15 мг/см^3 , в то время как у асбеста и талька допустимы две частицы на 1 см^3 за 8 часов работы [79-83].

3.1 Применение волластонита в строительных материалах

Для исследования возможности применения волластонита в ячеистых бетонах, как автоклавного, так и неавтоклавного твердения, мы проанализировали исследования, проведенные на цементах, бетонах и других материалах [84-90].

При производстве цемента используются различные минеральные добавки, природа и активность которых определяет кинетику образования дополнительных структур, влияющих на состав и свойства цементного камня в целом. Возможности использования волластонита в качестве минеральной добавки при производстве цементов показали, что цементы с добавкой 10-30% волластонита в отличие от цемента, содержащего диатомит (распространенная минеральная добавка к цементам), являются малоусадочными, более воздухо-, атмосферо- и морозостойкими [82, 85].

Установлено, 10-15% добавка волластонита не влияет на прочность цемента, в то время как добавка диатомита уменьшает ее намного, в этом отношении волластонит превосходит и глинит, и глиеж, которые тоже являются малоусадочными и более стойкими к внешним воздействиям добавками, чем диатомит. Цементы с 6-30% волластонита при длительном твердении в воде (1-720 дней) твердеют, не теряя прочности (по сравнению с чистым) на изгиб и сжатие, обладают высокой водостойкостью. При гидротермальном твердении 10-15% добавка волластонита заметно увеличивает прочность на изгиб, сохраняя прочность на сжатие, что очень важно и для ячеистых бетонов [85-87].

Улучшение свойств цементов при использовании добавки волластонита объясняется авторами меньшим выщелачиванием извести из C_3S цемента, а также свойством продукта гидратации и преобразования волластонита в процессе гидролиза и твердения цемента, который в затвердевшем цементе представляет собой плотный по структуре однокальциевый гидросиликат, более устойчивый к воздействиям атмосферных факторов.

Вязущее, состоящее из клинкера с добавкой двуводного гипса (4-6%) и волластонита (15-30%) существенно повышает воздухо-, атмосферо- и морозостойкости цементов и понижает усадочные явления и проницаемость цементного камня. Повышается активность вяжущего, а также механическая прочность в начальные сроки твердения [91].

Отличающееся повышенной морозостойкостью и коррозионной стойкостью вяжущее состоит из гранулированного доменного шлака (80-

95%), щелочного активизатора (1-10) и волластонита (4-10). В исследованиях использовали доменный шлак Тульского металлургического завода и волластонит, которые высушивали до влажности 1%, а затем подвергали совместному измельчению в шаровой мельнице до удельной поверхности 3200 см²/г. В качестве волластонита использовали природный волластонит Каргалинского месторождения (Узбекистан) и синтетический псевдоволластонит. В качестве щелочного компонента использовали соду и метасиликат натрия [92].

Коррозийную стойкость исследовали по отношению к агрессивным 10%-м растворам сильвинита и карналита, являющихся основным сырьем при производстве удобрений на калийных комбинатах. Коэффициент стойкости, определяемый отношением показателей прочности при изгибе образцов, хранившихся в агрессивном растворе, к показателям прочности образцов водного твердения, для образцов с использованием волластонита лежал в интервале 1,02-1,21. Для образцов с использованием фосфорного шлака вместо волластонита этот коэффициент был равен 0,66-0,77.

Повышенную морозо- и коррозийную стойкость образцов с волластонитом авторы объясняют тем, что при твердении предлагаемого вяжущего процесс кристаллизации гелевидной составляющей значительно ускоряется за счет присутствия в вяжущем центров кристаллизации, роль которых играет практически инертный волластонит, т.е. в твердеющей системе происходит направленный процесс кристаллизации с одновременным понижением основности новообразований, что очень важно при производстве автоклавного ячеистого газосиликатного бетона на цементе [92, 93].

Применение волластонита в цементных растворах и бетонах рассмотрено в исследованиях по растворам и бетонам использовали обычный портландцемент М400 и волластонитовую породу Западно-Джангалыкского месторождения (SiO₂–47,4%, CaO–45,76, Fe₃O₄–0,71, MnO–0,53), которую использовали в виде молотой (остаток 3-7% на сите 008) добавки к цементу (т.е. как заменитель цемента), а также как заполнитель в растворах и бетонах (фракции 0,14-20 мм). Волластонитовый заполнитель авторы называют волластонитовым песком [94].

При замене волластонитом до 40% цемента водопотребность цементно-волластонитовой смеси несколько увеличивается (с 27,5% до 28,75%), а сроки схватывания соответствуют требованиям, предъявляемым к цементам. Прочность цементного вяжущего при изгибе при использовании в составе растворов (вяжущее : песок : вода–1:3:0,4) после твердения через 28 суток уменьшается с увеличением содержания волластонитовой добавки, как для волластонитового песка, так и для вольского (в этом случае снижение прочности меньше). При этом отмечается, что прочность на изгиб вяжущего (добавка волластонита 0-40%) лежит в пределах 4,9-5,9 МПа и соответствует показателям прочности цементов. При использовании волластонитового песка в качестве заполнителя прочность на изгиб возрастает до 6,4- 8,7 МПа,

что значительно выше прочности обычных цементов, и при этом существенно возрастает прочность при сжатии [95, 96].

При исследовании бетонной смеси (вяжущее : песок : щебень : вода – 1:1,51:2,57:04, удельный расход вяжущего 475 кг/м³) часть цемента заменяли волластонитовой добавкой, а в качестве заполнителей применяли гранитовые и волластонитовые пески и щебни. Для всех заполнителей прочность бетона через 28 суток твердения возрастает при замене до 10-15% цемента волластонитом, а при дальнейшем увеличении доли добавки – снижается. При использовании волластонитовых заполнителей или их смеси с гранитами прочность бетона при замене до 35-40% цемента волластонитовой добавкой больше, чем прочность бетона, изготовленного из бетона и гранитовых заполнителей. Максимальная прочность (50 МПа) достигалась при замене 10% цемента волластонитовой добавкой и использовании гранитного щебня и волластонитового песка.

Возрастание прочности при использовании волластонитовых добавок и заполнителей авторы [94] объясняют тем, что, во-первых, частицы волластонита при гидратации и твердении цементных минералов способствуют ускорению зародышеобразования кристаллической структуры и тем самым увеличивают скорость упрочнения цементного камня, а во-вторых, продолговатая форма частиц волластонита играет роль армирующего компонента и на шероховатой их поверхности прочно закрепляются гидратированные минералы цемента.

Кроме того, при уменьшении доли цемента в составе бетона толщина гидратированного слоя цемента приближается к толщине гидратированных частиц, имеющих сильную адгезию с поверхностью заполнителя. Тогда волластонитовый заполнитель или его смесь с гранитовым, обладающим большей прочностью, чем гидратированный слой цемента, склеенные этим слоем, образуют практически однородную высокопрочную структуру бетона.

Основной вывод исследователей заключается в том, что применение волластонита в составе цементных вяжущих и бетона в качестве молотой добавки или заполнителя позволяет получить высокопрочные бетоны и строительные растворы при сравнительно низком удельном расходе цемента.

Возможность упрочнения специальных марок бетона, с помощью волластонитовых материалов, исследовалась в жестком бетоне (67% портландцемента М500 и 33% веселовского песка), используемых в качестве армировочной связи для высоковольтных изоляторов [87]. В качестве добавки использовали волокнистую фракцию, получаемую путем рассеивания продуктов дробления кусков руды (западно-джангалыкская волокнистая порода белой окраски с сероватым оттенком и стеклянным блеском, содержащая 92-93,5% волластонита и кварц) размером 30-250 мм сначала на щековой дробилке, затем на механических вальцах.

Волластонитовую волокнистую фракцию вводили в бетон вместо веселовского песка, а также уменьшая содержание портландцемента. Во всех случаях предел прочности при изгибе (через 7 суток) возрастал в 1,9-2,4 раза.

Из приведенных данных следует, что наилучшие характеристики были у состава 67% цемента и 33% волластонита: предел прочности при изгибе (7 суток) - 15,6 МПа, при сжатии (29 суток) - 102,7 МПа (соответствующие показатели исходного образца - 6,4 и 66,5 МПа). С уменьшением доли цемента (замена цемента волластонитом) прочностные характеристики уменьшаются, но все равно остаются выше исходных. Так при 50% цемента и 50% волластонита соответственно имеем 11,9 и 73,2 МПа. Эти данные могут существенно изменить и прочностные показатели растворов, из которых получают ячеистые бетоны.

В результате исследований [94, 97] пришли к выводу о возможности на основе портландцемента М500 с помощью волокнистых волластонитовых фракций получить специальные марки бетона 700-1000, что в перспективе позволит строить более легкие, более прочные и менее массивные бетонные конструкции, удешевит стоимость строительства и снизит расход портландцемента.

Установлено, что замена в цементных растворах кварцевого песка волластонитом повышает их химическую стойкость, а использование волластонита вместо веселовского песка позволяет получать высокопрочные цементные растворы. Так предел прочности на изгиб (через 28 дней) при использовании волластонита – 9,14 МПа, вольского песка – 5,4-6,2 МПа, а по ГОСТу для высшей марки портландцемента «600» - 65 МПа [98].

В исследовании влияния добавок волластонита на свойства известково-кремнеземистого камня, плотного силикатного бетона и силикатного кирпича использовали фракции с длиной кристаллов 1,5 мм и 0,8 мм, а также фракции с удельной поверхностью 3000 см²/г, которые отбирали после дробления на щековой дробилке волластонитовой руды Западного Джангалыка.

Известково-кремнеземистое вяжущее готовили совместным помолом гидрооксида Са и вольского кварцевого песка. При концентрации волластонита 1-3% по массе прочность камня увеличивается при изгибе на 70-90%, а при сжатии - на 70-100%, причем наибольшее увеличение достигается при введении фракции 1,5 мм. При концентрации волластонита больше 5% прочность камня уменьшается, но остается выше контрольной. Пористость уменьшилась на 3-5%.

При изготовлении плотного силикатного бетона вяжущее готовили путем совместного помола извести и песка с добавлением 5% гипса. Наибольшее значение прочности на изгиб 5,3±0,5 МПа и на сжатие 40±6 МПа достигнуто при концентрации 2,5-3,25% волластонита (исходная прочность 4 и 22 МПа соответственно). Пористость уменьшилась на 6%. Обнаружено также резкое уменьшение микропористости.

Для изготовления силикатного кирпича использовались известь и песок. Введение дробленной до прохождения через сито 0,5 волластонитовой породы в количестве 0,5-0,6% от массы сухой силикатной смеси приводит к увеличению прочности кирпича при изгибе с 3,3 до 5,2 МПа, при сжатии с 13,8 до 31,5 МПа и к увеличению марки со 125 до 300.

На основании термографического и рентгенофазового анализа делается вывод, что на поверхности кристаллов волластонита в известково-кремнеземистом камне нарастает слой гидратных новообразований кристаллов тоберморита и CSH (II), т.е. кристаллы волластонита выполняют роль кристаллических затравок и подложек для кристаллизации низкоосновных гидросиликатов Са. Отмечается также, что кристаллы волластонита играют роль микроармирующего наполнителя [90].

Основной вывод авторов из проведенных исследований следующий: природный волластонит, а также материалы, содержащие в своем составе кристаллы волластонита, например, электротермофосфорные шлаки, являются эффективной добавкой для повышения качества силикатных строительных материалов.

Исследования влияния добавок волластонита на свойства известково-цементных строительных растворов показали, что добавка 5% природного волластонита заметно повышает их прочность, воздухо- и морозостойкость [96, 99].

В Алма-Атинском НИИСтромпроекте установлено: что введение в шихту кирпича 15-20%, необогащенной волластонитовой руды Босагинского месторождения, повышает предел прочности на сжатие со 15,0 до 27,5-30,0 МПа, сокращает усадку с 8,5 до 7-7,5%, снижает водопоглощение с 12,8 до 8,6-9,4%, при морозостойкости более 50 циклов [90].

Керамический теплоизоляционный материал на основе необогащенной волластонитовой руды Койташского месторождения и ангреновской глины рекомендуется для тепловой изоляции промышленного оборудования вместо диатомитовых и трепельных теплоизоляционных изделий, широко применяемых в промышленности. В качестве газообразователя используются алюминиевая пудра и натриевая щелочь, а в качестве стабилизатора вспученной массы - полуводный гипс. Вспученные образцы сушат при 100-105⁰С и, повышая температуру со скоростью 200⁰С, обжигали их при 1100⁰С. Объемная масса 700 кг/м³, пористость 50-55%, предел прочности при сжатии – до 19 кг/м³. Основные кристаллические фазы – волластонит, муллит, кварц, анортит.

Легковесный огнеупорный пористый материал на основе волластонитового концентрата, имеющий объемную массу 700-950 кг/м³ и предел прочности на сжатие до 5,0 МПа, применяется как огнеупорный легковес. Вместо диатомитового и шамотового легковесов, для изоляции высокотемпературных (до 900⁰С) агрегатов (котлы, дымовые трубы и т.п.), в качестве конструктивно-изоляционного стенового материала (навесные панели, плиты), а также для облицовки интерьеров зданий [84].

Анализ показывает, что физико-механические и эксплуатационные характеристики строительных материалов можно повысить при помощи применения волластонита в цементах, бетонах, растворах, кирпичах и других строительных материалах, а в некоторых случаях он дает возможность достигать прочности на сжатие более 100 МПа и изгиб более 15 МПа на

растворах (которые составляют первоначальную основу ячеистых бетонов – до ввода порообразователей), то есть в будущем можно ожидать получение ячеистых газосиликатных бетонов более высоких марок.

Так же решается вопрос о возможной замене в СН 277-80 п.2.6 вместо асбеста на волластонит.

3.2 Характеристика природного волластонита, структура, химический состав

Волластонит – минерал, названный в 1818 году в честь английского химика У.Х.Волластона (1766-1828гг.), группы волластонита семейства пироксеноидов класса цепочечных силикатов. Впервые описан Штютце в 1793 году под названием досчатый шпат. Это название, а также табличатый шпат, используется рядом авторов и в настоящее время. На территории СССР впервые обнаружен в 1884 году Н.И.Кокшаровым.

Волластонит имеет три полиморфные разновидности: волластонит I или собственно волластонит, устойчивый при нормальных температуре и давлении, дающий большое число полиморфов; псевдоволластонит – высокотемпературная форма; волластонит II – высокогабаритическая разновидность [98]. Волластонит I является минералом скарнов – горных пород, сложенных известково-магнезиально-железистыми силикатами и алюмосиликатами, - и может кристаллизоваться из богатых кальцием магматических расплавов. Псевдоволластонит фиксируется в продуктах угольных пожаров и шлаках. Волластонит II пока известен только в искусственных продуктах. Оптические и физико-механические свойства известных модификаций волластонита описаны А.Н.Винчеллом и Г.А.Винчеллом [100].

Волластонит β – формы (β – $\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$) – единственный среди модификаций волластонита цепочечный силикат. Минерал триклинной сингонии, $a=7,88$; $b=7,27$; $c=7,03$ Å, $\alpha \approx 90$ град. Может содержать ионы железа и марганца, изоморфно замещающие некоторое количество ионов кальция. Для β – волластонита характерны удлиненные таблитчатые и игольчатые кристаллы. При раскалывании кристаллов образуются зерна игольчатой формы. Игольчатые кристаллы волластонита формируются также в результате свободного роста из расплава при относительно низкой температуре. Природный волластонит, представляющий собой цепочечный моносилкат кальция (β – $\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$), имеет стеклянный до перламутрового блеск, радикально-шестоватую форму агрегатов, совершенную спайность в одном направлении, находится в парагенезисе с известковыми гранатами, кальцитом, магнезитом и другими контактными минералами. Волластониты различных месторождений отличаются как по структуре, так и по наличию в них примесей. Состав волластонита может меняться в довольно широких пределах. Особенно велика возможность замены кальция железом и марганцем. Применяемое содержание волластонита в породе колеблется от 56 до 90%. Содержание сопутствующих минералов колеблется в пределах:

кальцита от 7 до 20, кварца – от 3 до 8 , пироксена – от 3 до 11%. За последние 20-30 лет на мировом рынке сырьевых материалов наблюдается рост потребления волластонита. В силу своих минералогических особенностей, химического состава и физических свойств (белизна, волокнистость, совершенная спайность, стеклянный блеск, химическая инертность) природный волластонит представляется перспективным сырьем для некоторых областей промышленности и строительства. Практическую ценность волластонита определяют способность расщепляться на тончайшие упругие волокна, высокая механическая прочность волокон на разрыв, термостойкость, химическая стойкость, тепло-, звуко- и электроизоляционные свойства, высокая сцепляемость волокон с цементом, смолами и другими органическими и неорганическими связующими.

Волластонит – перспективный природный минерал, которым в ряде отраслей можно частично или полностью заменить асбест, слюду, тальк, стекловолокно. Волластонитовая руда и концентраты нетоксичны, невзрывоопасны, негорючи, не выделяют вредных веществ. Добавки волластонита позволяют получать традиционные материалы нового качества, создавать новые технологии, снижать издержки на производство керамики, сухих строительных смесей, модифицированных бетонов, пластмасс, лакокрасочных материалов, бумаги, фарфора, резины. Малая усадка, хорошая формуемость, высокая механическая прочность привели к широкому применению волластонитсодержащих материалов.

Наибольшая часть волластонитовых руд разрабатываемых месторождений используется в керамической промышленности, в производстве глазурей и эмалей. Другим крупным потребителем волластонита является лакокрасочная промышленность. Зарубежный опыт применения волластонита в различных областях показывает, что этот материал является весьма перспективным для ряда отраслей промышленности. Некоторый опыт применения этого материала имеется также в Казахстане и странах СНГ.

Для расширения сферы применения волластонита активизируются работы по его использованию в производстве композиционных строительных материалов и изделий на основе цемента – силикотобетонов, сухих строительных смесей и др. [98]. В каждом конкретном случае необходим рациональный подбор сырьевых компонентов, разработка технологических параметров производства и оптимизация составов для получения материалов с заданными свойствами.

Актуальной и своевременной является разработка с использованием волластонита пористых теплоизоляционных и звукопоглощающих силикотобетонных материалов, соответствующих современным требованиям строительства и архитектуры, технологичных в изготовлении и применении, с несложным производством, которое можно было бы организовать на базе действующих предприятий. Использование волластонита снижает себестоимость продукции, открывает значительные возможности

применения недефицитного сырья, обладающего ценными свойствами. Волластонит как сырье для получения поризованных материалов до сих пор практически не изучен. Немногочисленные литературные источники позволяют прогнозировать получение поризованных материалов, специальных бетонов ячеистой структуры на основе природного волластонита, удешевление себестоимости продукции, снижение энергозатрат.

Принадлежность волластонита к классу цепочечных силикатов определяется тем, что кремнекислородные тетраэдры в его структуре образуют цепочки, к семейству пироксеноидов тем, что число тетраэдров в периоде повторяемости нечетное: к группе волластонита тем, что это число равно трем. Волластонит представляет собой метасиликат кальция CaSiO_3 [101].

Волластонит существует в двух полиморфных модификациях: низкотемпературной и высокотемпературной (псевдоволластонит). Псевдоволластонит впервые получен искусственным путем в 1868 году, позднее обнаружен в нескольких местах земного шара в природных условиях, а также является обычной составной частью металлургических шлаков. Как искусственный продукт впервые описан в 1885 году под названием буржуазит. В настоящее время иногда используется другое название псевдоволластонита - цикловолластонит. Псевдоволластонит относится к классу силикатов с кольцевыми группами кремнекислородных тетраэдров. Его кольцевая группа состоит из трех тетраэдров.

Кристаллическая структура волластонита относится к низшей группе, образуя как триклинную (волластониты и псевдоволластонит), так и моноклинную (параволластонит) системы (рисунок 3.1), кристаллохимическая формула волластонита записывается в виде CaSiO_3 .



Рисунок 3.1– Структура волластонита

Такая форма записи выражает соотношение между элементами, входящими в состав волластонита. Широко используется, особенно в энциклопедиях и справочниках кристаллохимическая формула $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$, которая кратна числу тетраэдров в периоде повторяемости кремнекислородных цепочек [101, 102].

Иногда используется запись 6CaSiO_3 для волластонита и 12CaSiO_3 для параволластонита, кратная числу тетраэдров в элементарной ячейке. Используется очень часто стехиометрическая формула CaO_xSiO , а также ее дуалистическая форма записи CS.

Плотность волластонита лежит в пределах 2,8-3,1 г/см³, твердость по шкале МООСА 4,5-5,5 [85].

При дроблении получают кристаллы длиной в несколько мкм, причем при любой степени измельчения частицы волластонита разрушаются по плоскостям контакта кристаллов, сохраняя игольчатую форму и характеристические отношения [102].

3.3 Запасы и месторождения волластонита Казахстана

Залежи природного волластонита Казахстана связаны с контактно-метаморфическими и контактно-метасоматическими образованиями, которые формировались в местах гранитоидных интрузий с карбонатными породами, и показаны в виде различных скарн и роговиков. Возраст толщ, превращенных в волластонитные скарны и роговики, колеблется от среднего кембрия до нижнего карбона.

Присутствие карбонатных и карбонатно-кремнистых толщ, прорванных интрузивными телами, и карбонатно-силикатных пород, прошедших метаморфизм в условиях амфиболитовой и гранулитовой фракций, считаются важными критериями для определения растущих площадей.

К наиболее значимым месторождениям Казахстана относятся: Карагандинская область (Босагинское, Аксоранское, Алайгырское, Сюрприз, Аббайкенское месторождения), Южно-Казахстанская область (Верхне-Бадамское и Ирисуйское месторождения), Восточно-Казахстанская область (Хайрузовское месторождение) [75].

По анализу, имеющегося геологического материала по волластонитовым месторождениям Мира (таблица 3.2) видно, что месторождения распределены неравномерно и основными промышленными месторождениями владеют лишь несколько стран – США, Мексика, Китай, Индия, Казахстан, Узбекистан.

Таблица 3.2 – Запасы основных волластонитовых месторождений мира

Континент	Страна	Фирма	Месторождение	Запасы, млн. тонн	Добыча, тыс. тонн
1	2	3	4	5	6
	США	NYCO	Уилсборо	15,0	85
		R.T.Vanderbilt			40

		Amer.Wollastonite Mining	Gilbert, Nevada	1,0	10,0
	Мексика	Minera NYCO		100	17
Америка	Чили	Eprom			1,0
	Канада	Orleans Resouces	Quebec	8,7	
		Super Twins Resorce	Columbia	15,0	
		US Borax	Seeleys Bay Ontario	12,0	
Всего				152	143
Европа	Финляндия	Partec IMLtd	Лаппееранта	4,0	29
	Нидерланды	Анкерпот			12
	Греция	Mevior	Киммерия	0,7	
	Испания	Gwalia Consolidated	Salamanka	20,0	
	Швеция	Aros Mineral	Banmossen	1,7	
	Германия	R.K.GmbH, Possehl GmbH	Иск.волластонит		10 20
	Югославия		Косово		
Всего				5-8	73
Азия	Китай	Lishu W Mining	Jilin Province	21,0	70,0
		Liaoning I M Ltd	Yunan Province	100,0	170,0
		другие	Faku Country	10	10,0
	Всего			131	250
	Индия	Волкем		10	80
	Япония	Ямато, Кере		0,12	14

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6
Всего				142	344
Африка	Нимибия	Усакос			1,0
	Кения	Ath River Mining	Lolkindongai distr	0,3	1,0
Всего				0,5	2,0
Австралия	Австралия	Minerals Co	New South Wales	0,6	
	Зеландия	Tesson Ressourcerc	South Island	0,06	
Всего				0,7	
Страны СНГ	Россия		Слюдянское	3,0	
		«Сибирская артель»	Лебедское	5,0	
	Узбекистан		Койташское	4,5	
	Казахстан	ЗАО «Глобал»	Босагинское	7,0	
		ТОО «Олва»	Алайгырское	14,5	
		ТОО «Геосистем»	Аксоранские	10,0	
		АО Корпорация «Базис»	Верхнее-Бадамское		
		Восточный Казахстан	Хайрузовское	5,0	
		ЗАО «Алаш»	Акжал-Аксоранское	20,0	
Всего				81,0	
Всего в мире				381	562

Таким образом, Республика Казахстан обладает богатейшими промышленными запасами волластонитовых руд. Организация добычи волластонита позволит создать мощную сырьевую базу для производства высококачественного сырья для многих отраслей промышленности, в том числе и для заводов ячеистого газосиликатного бетона.

3.4 Исследование влияния волластонита на свойства газосиликатных бетонов

Исследователи отмечают, что цементы с добавкой волластонита, при гидротермальном твердении (пропаривание), заметно увеличивают прочность на изгиб и сохраняют прочность или ведут к увеличению прочности на сжатие. На основе портландцемента М500 и волластонита возможно получить специальный класс бетона тяжелого В70-В100.

В исследованиях по плотным силикатным бетонам и силикатным кирпичам автоклавного твердения с добавлением волластонита отмечается значительное увеличение по прочности на сжатие и изгиб, что позволило увеличить марку силикатного кирпича с 125 до 300 то, есть прочность увеличилась более чем в 2 раза.

Методами рентгеновского дифракционного анализа, дифференциального термического анализа, ИК-спектроскопии и сканирующей

электронной спектроскопии исследовали гидратацию волластонита в гидротермальных условиях при автоклавной обработке. При этом тонкодисперсные (удельная поверхность $4000 \text{ см}^2/\text{г}$) пробы синтетических волластонита и псевдоволластонита помещали в автоклаве в виде порошка или теста, выдерживали в течение 6-336 ч при $200\text{-}240^\circ\text{C}$, высушивали в ацетоне и эфире, и анализировали [90].

В результате исследований установлено, что $\beta\text{-CS}$ и $\alpha\text{-CS}$ в порошкообразном состоянии слабо реагируют с водяным паром. Ксонотлит был обнаружен только в продуктах обработки $\beta\text{-CS}$ в течение 168 ч при 220°C или в течение 24 ч при 240°C . Пробы в виде теста прогидратировались в изученных условиях более интенсивно, поскольку через раствор реакция проходит с большей скоростью. Кроме ксонотлита в продуктах гидратации обнаружили CSH-фазу [90, 102].

В научно-технических источниках по применению волластонита в строительных материалах, особое внимание уделяется синтетическому метасиликату кальция в виде волластонита. Синтетический волластонит с успехом можно применять для повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик ячеистых бетонов (особенно газосиликатобетонов).

Однако анализ извлечения синтетического волластонита и наши исследования ячеистого бетона указывают на то, что материалы и соответствующие химические и минералогические соединения участвуют в процессе получения синтетического волластонита, именно они, значительным образом, могут воздействовать на свойства ячеистых бетонов. В диссертации мы будем пояснять это своими замечаниями. В результате, стало ясно, что для получения синтетического волластонита реализовано множество различных методов. Методы твердофазного синтеза (к этим методам относятся наибольшее количество работ по синтезу волластонита) имеют наибольшее практическое значение по сравнению с другими методами. Особый акцент делается на способы получения волластонита путем дегидратации гидросиликатов кальция.

При твердофазном синтезе в качестве кальцийсодержащих компонентов используются мел, известняк, известь, мрамор, мулуза (отход пиления известняка), фосфогипс (отход производства фосфорной кислоты), отходы содового производства и др. В качестве кремнийсодержащих компонентов используются трепел, диатомит, опока, кристобалит, тридимит, клиноптилолит, монтмориллонит, новоселовский песок, кварцевый песок, кварцевая мука, кварцевое стекло, жильный кварц, бой стекла, зола рисовой шелухи, отходы производства сажи, отходы производства белой сажи, отходы производства фтористого алюминия и др. Используются также природные смеси кальций- и кремнийсодержащего сырья, такие, как туф и кремнеземистый известняк [103].

Использование аморфного кремнезема в виде трепела, диатомита и опоки в цементах или в качестве кремнеземистого компонента в ячеистых

бетонах приводит к снижению прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$), и вызывают значительные внутренние напряжения в теле ячеистых бетонов, в процессе автоклавной обработки, которые могут привести к потере изделиями и конструкциями своих технических и эксплуатационных свойств.

Для получения синтетического волластонита применяются разнообразные добавки, которые ускоряют процесс, снижают температуру синтеза, повышают выход волластонита и т.д. В то же время, эти добавки могут быть в первичном кальций- или кремнийсодержащем сырье, либо добавляться в качестве отдельных компонентов. Зачастую рекомендуются фтор- и литийсодержащие добавки, применяемые для ускорения процесса синтеза, снижения температуры и повышения выхода волластонита.

Фтористые соединения можно обнаружить в промышленных отходах фосфогипса и фтористого алюминия, а также в природном минерале как сподумен. Плавленый шпат, карбонат лития, а также добавки, содержащие и фтор и литий (лепидолитовые отходы, фторид лития) применяются в виде литийсодержащих добавок.

Содержащиеся в отходах содового производства соединения хлора имеют важную роль в процессе синтеза волластонита. Состав из кальцинированной соды и жидкого стекла применяется для ускорения процесса синтеза и интенсификации выхода метасиликата кальция. Сульфат аммония употребляется для снижения количества белита в готовом продукте. Для исключения возникновения белита применяется сульфат меди, он также используется в качестве катализатора и плавня. Шлаки гальванической промышленности можно применять в качестве медьсодержащего компонента.

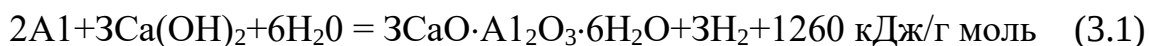
Инициаторами направленного синтеза являются окись магния, цинка, берилля, стронция, никеля (II), кобальта (II), железа (III), хрома (III). С их помощью увеличивается чистота получаемого изделия за счет обеспечения более полного взаимодействия первичных компонентов. Для того чтобы, получить белый конечный продукт рекомендуется в качестве инициатора синтеза применять окись алюминия или магния с добавкой карбонат натрия или калия, или гашеную известь.

Силикаты $AlPO_4$ или CaF_2 применяются как минерализатор во время синтеза волластонита в системе $CaO - SiO_2 - (Ca, Na, Al)$.

Фтор применяется как добавка при получении синтетического волластонита.

В процессе приготовления газосиликатного бетона, пористая структура образуется в результате газообразования (вспучивания), то есть одновременного протекания химической реакции между алюминиевой пудрой и щелочами (гидратом оксида кальция, раствором едкого натра и т.д.).

О взаимодействии между частицами алюминиевой пудры с гидратом оксида кальция можно судить по следующей химической реакции.



Зная молекулярные массы (Al-27; Ca-40,1; O-16; H-1 и C-12), можно найти, что на 54 ч. по массе Al требуется затратить 222,3 ч. по массе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и 108 ч. по массе воды. Продуктом реакции будет (по массе) 378 ч. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 6 ч. H_2 . Газовыделение наступает при определенной начальной концентрации водородных ионов (рН) массы 12,9 – при применении негашеной извести и 8 – то же, но при 40°C.

Нами экспериментально установлено, что присутствие фтора замедляет газовыделение, смесь газосиликатобетонная получается тяжелой, то есть недовспученной. Поэтому при экспериментах с синтетическим волластонитом необходимо учитывать эти обстоятельства.

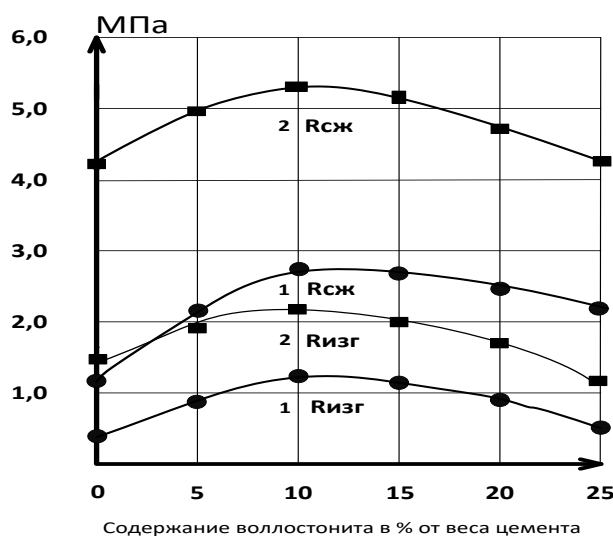
Мы методом математического планирования экспериментов оптимизировали основные технологические параметры.

Опыты проводились на оптимальных составах газосиликатного бетона, таким образом, водотвердое отношение (В/Т) было равно 0,42, отношение кремнеземистого компонента к вяжущему (С) было – 1, плотность газосиликатного бетона составила $D700 \text{ кг/м}^3$, температура смеси равнялась 40°C, расплыв по Суттарду – 24 см [104].

Для сравнения влияния режимов тепловлажностной обработки на свойства газосиликатного бетона с волластонитом исследовали и неавтоклавный газобетон. Режимы тепловлажностной обработки у неавтоклавного газобетона были 3+6+3 часа при температуре $90 \pm 5^\circ\text{C}$, а автоклавная обработка 2+8+2 ч, при температуре $174,5^\circ\text{C}$ и давлении 0,8 МПа. Прочность растворов определяли на образцах 7х7х7 см, а прочность газобетона и газосиликатобетона на 10х10х10 см и 7х7х21 см.

Как видно из рисунка 3.2. и таблицы 3.2. оптимальная величина добавки волластонита, взамен части цемента, равнялась 12%, когда прочность на сжатие ($R_{сж}$) и прочность на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) были максимальными.

У неавтоклавного газобетона, раствор увеличил свою прочность (плотность раствора при В/Т=0,42 равнялась 1480 кг/м^3) на 18,6%.



1 - Неавтоклавный газобетон. D700;
2 - Автоклавный газосиликатный бетон. D700.

Рисунок 3.2 – Влияние волластонита на свойства неавтоклавного газобетона и автоклавного газосиликатного бетона

Прочности на сжатие ($R_{сж}$) и растяжение при изгибе ($R_{изг}$) при 12% добавки волластонита, возросли на 41,0% и 27,5% соответственно.

Отношение $\frac{R_{изг}}{R_{сж}}$ равнялось 0,42.

Изменения физико-механических свойств неавтоклавного газобетона и газосиликатного бетона автоклавного твердения от добавки волластонита приведены в таблицах 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Физико-механические свойства неавтоклавного газобетона

№	Плотность кг/м ³	Прочность, МПа		$R_{изг}/R_{сж}$, МПа	с волластонитом		
		$R_{сж}$	$R_{изг}$		$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{изг}/R_{сж}$
1	700	1,13	0,32	0,28	2,75	1,16	0,42

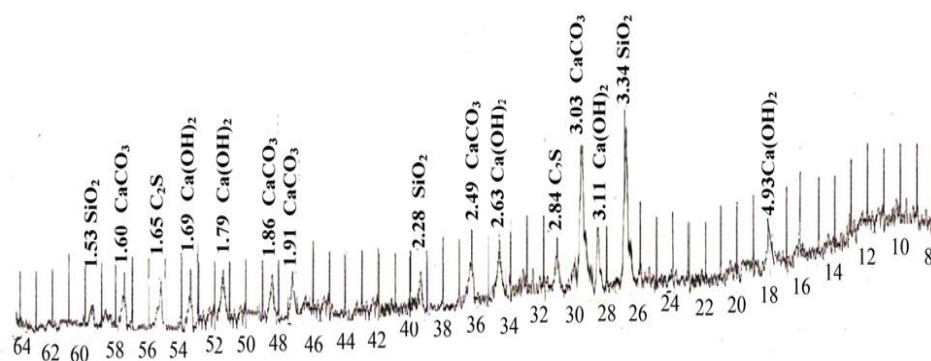
Таблица 3.4 – Физико-механические свойства автоклавного газосиликатного бетона

№	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		$R_{изг}/R_{сж}$, МПа	с волластонитом		
		$R_{сж}$	$R_{изг}$		$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{изг}/R_{сж}$
1	700	4,28	1,36	0,31	5,35	2,14	0,39

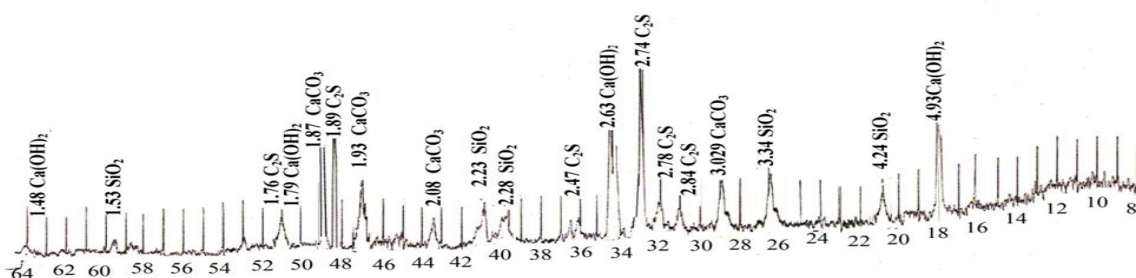
Прочность раствора увеличилась на 21,5%, а прочность на сжатие ($R_{сж}$)

и растяжение при изгибе ($R_{изг}$) на 25,0% и 54,4% соответственно. Отношение $R_{изг}/R_{сж}$ было равно 0,39 [104].

Исследования образцов проводили в Лаборатории физико-химических методов исследования им. С.Т.Сулейменова «Сапа» при ЮКГУ им.М.Ауэзова методом рентгенофазового анализа на приборе ДРОН-3 в интервале углов $8-64^\circ$, а метод термографического анализа проводился на приборе Q-дериватограф от 0 до 1000° . Результаты рентгенофазовых и дифференциально-термических анализов показали, что продукты гидратации образцов пропаренного газосиликатного бетона представлены в основном гидроксидом кальция Ca(OH)_2 ($d=4,93$; $3,11$; $2,63$; $1,93$; $1,79$; $1,69$; $1,485$; $1,45\text{\AA}$), кальцитом CaCO_3 ($d=3,03$; $2,49$; $2,27$; $2,088$; $1,87$; $1,626\text{\AA}$), эттрингитом ($d=9,73$; $5,61$; $4,69$; $3,88$; $3,48$; $3,24$; $2,56$; $2,209$; $1,95\text{\AA}$) и скрытокристаллическими гидросиликатами кальция типа C_2SH_2 (рисунок 3.3).



А –автоклавный газосиликатный бетон



Б –неавтоклавный газобетон

Рисунок 3.3 – Дифрактограммы растворов (автоклавного газосиликатного бетона и неавтоклавного газобетона)

Наличие перечисленных новообразований подтверждается кривыми эндоэффектов ДТА при $150...160^\circ\text{C}$; $220-240^\circ\text{C}$; $520...540^\circ\text{C}$; $25...865^\circ\text{C}$

(рисунок 3.4). Два первых эндоэффекта вызываются потерей и испарением свободной капиллярной воды, присутствующей в гелеобразных продуктах, два последних - разложением гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и карбоната кальция.

В образцах автоклавного твердения образуются в основном следующие гидросиликаты кальция: мелкокристаллический с межплоскостными значениями $\text{CSH}(\text{B})$ ($d = 3,07\text{--}2,80\text{--}1,83\text{--}1,67\text{\AA}$); также присутствует $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$ ($d = 4,256\text{--}3,9\text{--}3,54\text{--}2,87\text{--}2,8\text{--}2,65\text{--}1,82\text{\AA}$); тоберморит ($d=11,35\text{--}3,08\text{--}2,97\text{--}1,67\text{--}1,54\text{\AA}$) (рисунок 3.5).

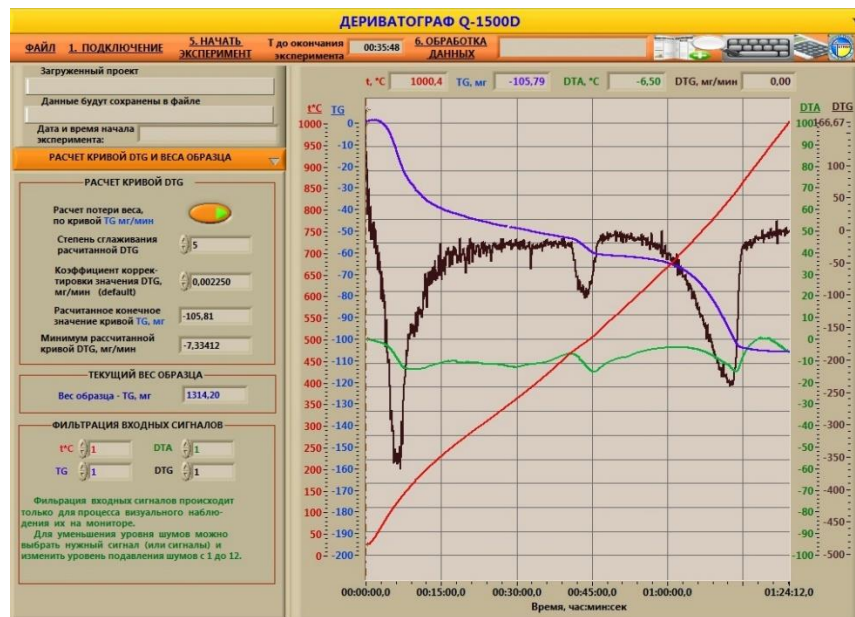
На термограмме присутствует типичный для низкоосновных гидросиликатов кальция экзотермический эффект при 850°C , соответствующий переходу продукта обезвоживания в волластонит. Кривые ДТА не имеют резких переломов, при нагревании равномерно теряют воду в интервале $100\text{--}700^\circ\text{C}$ (рисунок 3.6). Остановка при $200\text{--}220^\circ\text{C}$ указывает на испарение капиллярной влаги, т.е. на уплотнение геля. Эндоэффект при 460°C является результатом разложения гидросиликата кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$, при $565\text{--}580^\circ\text{C}$, $710\text{--}740^\circ\text{C}$ происходит разложение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 . Экзотермическая остановка при 850°C характерна для тоберморита [105].

Данные рентгенофазового и дифференциально-термического анализов свидетельствуют, что образцы газосиликатобетона пропаренного отличаются от образцов исходного плотного раствора большей интенсивностью пиков на дифрактограммах и большей глубиной эндоэффектов на термограммах, присущих вышеперечисленным новообразованиям.

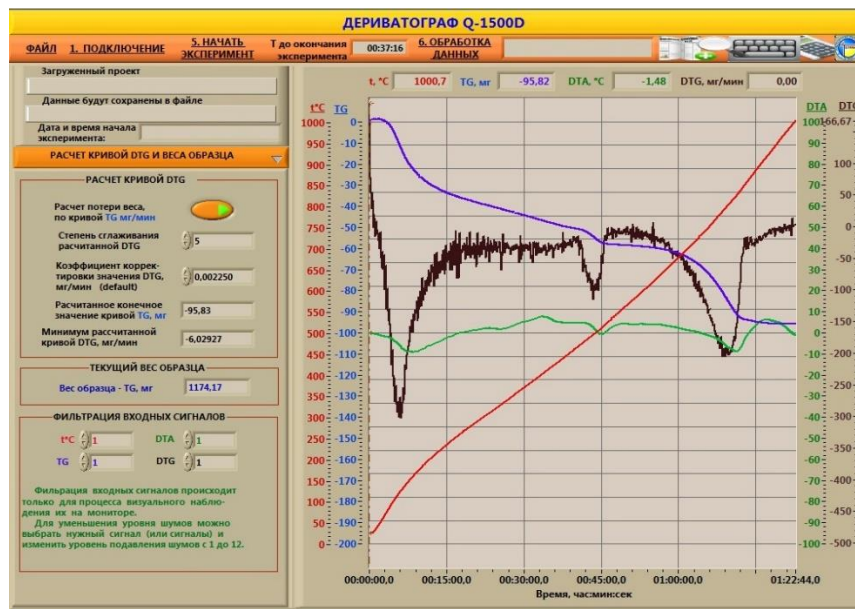
Сравнительный анализ образцов газосиликатобетона и плотного раствора автоклавного твердения показывает, что в тонких стенках газовых пор повышается содержание низкоосновных гидросиликатов кальция. Об этом свидетельствует повышение интенсивностей пиков на дифрактограммах (рисунок 3.5), характерных низкоосновным гидросиликатам кальция. Возрастает величина экзотермического эффекта при $805\text{--}850^\circ\text{C}$, пик смещается несколько влево, что свидетельствует о повышении количества продуктов низкоосновных гидросиликатов кальция в образцах газосиликатобетона.

Данные рентгенофазового и термографического анализов свидетельствуют о более глубоком гидратационном процессе в стенках газовых пор по сравнению с плотным раствором.

Наши дальнейшие исследования пошли по пути исследователей, которые установили, что строительные материалы, содержащие в своем составе кристаллы волластонита, например, электротермофосфорные шлаки, являются эффективной добавкой для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств силикатных материалов [106].

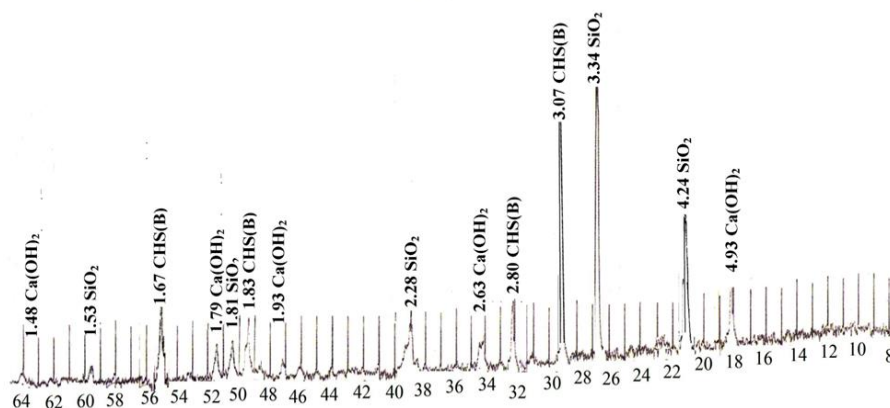


А – автоклавный газосиликатный бетон

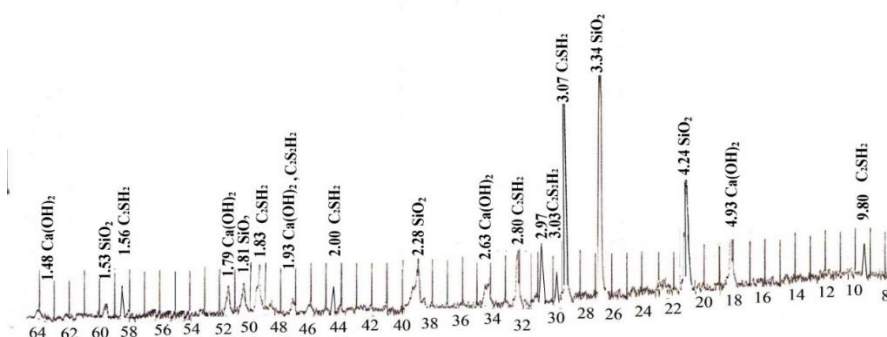


Б – неавтоклавный газобетон

Рисунок 3.4 – Термограммы автоклавного газосиликатного бетона и неавтоклавного газобетона

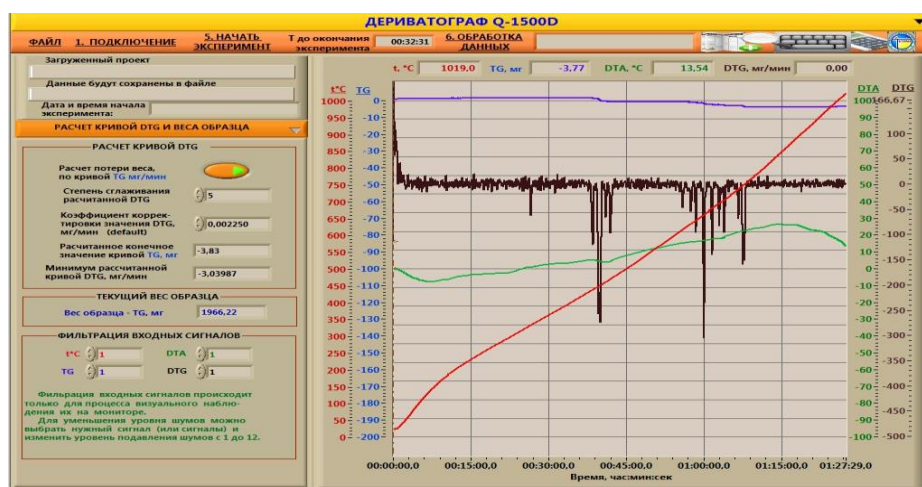


А – неавтоклавный газобетон

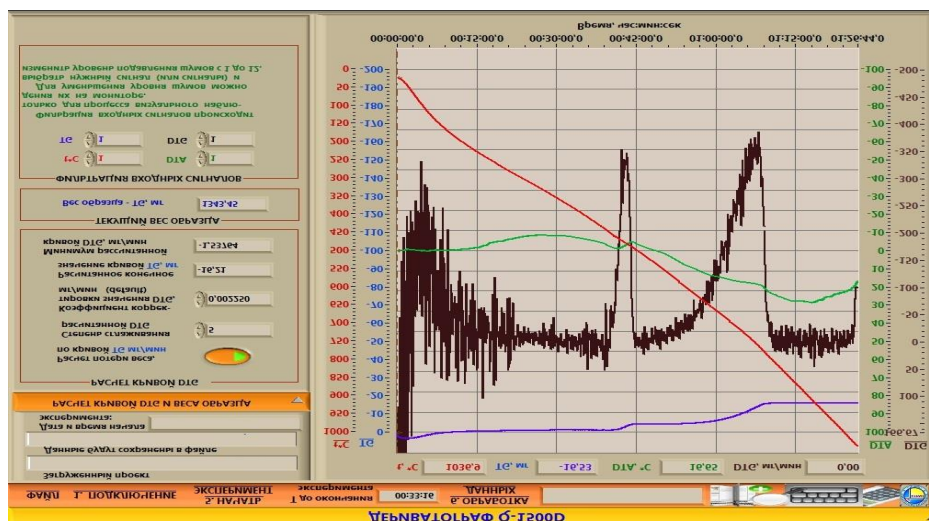


Б – автоклавный газосиликатный бетон

Рисунок 3.5 – Дифрактограммы неавтоклавного газобетона и автоклавного газосиликатного бетона



А – неавтоклавный газобетон



Б – автоклавный газосиликатный бетон

Рисунок 3.6– Термограммы неавтоклавного газобетона и автоклавного газосиликатного бетона

Заслуживает внимание и высказывание исследователей о том, что перспективным видом сырья для керамической и строительной индустрии Казахстана могут стать и шлаки электротермофосфорного производства, выход которых составляет 7,5 т на 1 т фосфора. Это обусловлено тем, что химический состав электротермофосфорных шлаков в большинстве своем близок по составу волластониту, а рентгенографические исследования показали, что основным продуктом кристаллизации шлаков является псевдоволластонит, образующийся при охлаждении вблизи $t=800^{\circ}\text{C}$. Использование фосфорных шлаков в производстве строительной керамики снижает формовочную влажность, повышает коэффициент сжатия до 2,16. Образцы отличаются термо- и морозоустойчивостью, отсутствием деформаций и точностью размеров. При производстве бетонов повышенной прочности можно применять шлаки фосфорного производства.

Благодаря замене части песка и цемента на шлаковую составляющую мы получили следующие результаты: в бетоне были использованы цемент марки М400, песок, электротермофосфорный шлак следующего химического состава: SiO_2 - 38,93%, Fe_2O_3 - 0,17%, Al_2O_3 - 4,5%, $\text{CaO} + \text{MgO}$ - 39%, P_2O_5 - 2,75%. Основная составляющая шлака – волластонитовое стекло. Снижение содержания цемента в смеси бетона на 9% и полная замена песка на шлак не сказались на качестве бетона. Образцы оказались более стойкими к воздействию воды, их влагоемкость оказалась ниже влагоемкости контрольного образца на 7%, что объясняется отсутствием в затвердевшей части бетона свободного гидрата окиси кальция, глинозем находится в низкоосновных соединениях. Прочность на сжатие образцов со шлаковой составляющей также оказалась выше на 10% по отношению к контрольному образцу.

По нормативным требованиям в ячеистых бетонах можно использовать гранулированный электротермофосфорный шлак (СТ РК 2301-2013).

Главным компонентом электротермофосфорного шлака является содержание стеклофазы, поскольку стекловидная фаза является основной в шлаке, то её состав и структура оказывают решающее влияние на свойства шлака и свойства ячеистого бетона [107].

Так при содержании P_2O_5 равном 2,75% наличие стеклофазы составляет 97,2%, причем содержание P_2O_5 в шлаке можно регулировать на заводе технологическими приемами при кремневосстановительном процессе.

Эксперименты показывают (таблица 3.5), что 30,0% замена кремнеземистого компонента песка на молотый электротермофосфорный шлак и добавление 12% волластонита от веса цемента существенно повышают физико-механические свойства газосиликатного бетона.

Таблица 3.5 – Физико-механические свойства газосиликатобетона с добавкой электротермофосфорного шлака и волластонита

№	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		$R_{изг}/R_{сж}$, МПа	с волластонитом и электротермофосфорным шлаком		
		$R_{сж}$	$R_{изг}$		$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{изг}/R_{сж}$
1	700	3,1	0,8	0,26	4,5	1,2	0,40

Прочность на сжатие ($R_{сж}$) и растяжение при изгибе ($R_{изг}$), при добавлении волластонита и замены (30%) песка на электротермофосфорный шлак, увеличились на 45,1 и 52,2% соответственно. Отношение $R_{изг}/R_{сж}$ было равно 0,40, данный показатель выше показателей газосиликатных бетонов на обычном кварцевом песке [104].

Следовательно, в получении газосиликатных бетонов, наравне с заменой асбеста на природный волластонит, возникает возможность применения отходов фосфорной промышленности и одновременно улучшить прочностные характеристики, как на сжатие, так и на растяжение при изгибе.

3.5 Исследование реологических свойств газосиликатного бетона с добавкой волластонита

Для получения газосиликатного бетона с заданными свойствами необходимо оптимальное сочетание процессов газовыделения газообразователем, тепловыделения и гидратации вяжущего, набора пластической прочности, обеспечивающих качественную структуру и минимальную осадку газосиликатобетонной массы. На технические свойства газосиликатного бетона и производительность технологического цикла в целом оказывает большое влияние интенсивность протекающих в газосиликатобетонной смеси физико-химических процессов, связанных с количественным и качественным состоянием фаз и механических свойств газосиликатобетонной смеси до автоклавной обработки. В этот период в смеси протекают процессы формирования ячеистой структуры и ее закрепление.

Именно газосиликатобетонная смесь при оптимальных условиях протекания процесса структурообразования закладывает основу получения максимальных физико-механических характеристик и дальнейшую эксплуатационную стойкость изделий из газосиликатного бетона любой плотности.

Газосиликатобетонная смесь – это высококонцентрированная суспензия, обладающая свойствами упруговязкопластичных систем. Эта смесь постепенно схватывается и отвердевает.

Вспучивание газосиликатобетонной смеси является результатом одновременного протекания химической реакции между алюминиевой пудрой и щелочами (гидратом оксида кальция, раствором едкого натра и др.) в присутствии и при участии воды и физико-химического процесса схватывания этой массы.

Технологические свойства всех видов бетонных смесей в основном зависят от их структуры и свойств сырьевых компонентов [108].

Наиболее общие взгляды на формирование дисперсной структуры вяжущих систем проходящих в четыре, качественно отличающиеся, стадии, отражающие развитие коллоидной структуры в процессе твердения выражены в трудах [109].

Первая стадия – интенсивная гидратация, взаимодействие воды с поверхностью частичек исходного вяжущего, осаждение гидратов на их поверхности. Возникающие на частичках клинкера оболочки из гидратных новообразований являются первичной коллоидной структурой. По мере развития этих оболочек возникает «межчастичная» агрегация, или вторичная коллоидная дисперсная структура. К концу первой стадии создаются более стесненные условия, и образуется пространственный каркас периодической коллоидной структуры, а между структуризованными агрегатами этой структуры образуются прослойки воды. После этого вновь преобладает процесс гидроотсоса вследствие иммобилизации воды уплотненной дисперсной структурой. В этот момент система наиболее восприимчива к внешним воздействиям.

Вторая стадия – развитие пространственной периодической коллоидной структуры – индукционный период. Продолжительность этого периода зависит от степени пересыщения, природы кристаллизующегося вещества и растворителя, содержания в растворе различных примесей.

Предполагается, что в течение периода индукции идет образование мельчайших кристаллов, рост которых лимитируется диффузией. Процессы гидратации и структурообразования в начале замедлены. Степень гидратации незначительна, наблюдаются деструктивные явления. При одном и том же пересыщении продолжительность индукционного периода существенно зависит от присутствия в растворе растворимых и нерастворимых примесей. Вторые способствуют увеличению периода индукции. Растворимые же примеси могут сокращать или удлинять период индукции, при изменении степени растворимости кристаллизующейся соли из раствора,

адсорбироваться на зародышах и маленьких кристалликах, а также входить в химическое взаимодействие с кристаллизующимся веществом, например, при образовании комплексных соединений. Длительность периода индукции можно изменить физическим воздействием на раствор, например, вибрацией, интенсивным перемешиванием.

Третья стадия – образование пространственного каркаса конденсационно-кристаллизационной структуры. Интенсивно идут процессы структурообразования и гидратации.

Четвертая стадия – наблюдается основное повышение прочности. Скорость гидратации наименьшая. Предполагается, что нарастание прочности происходит за счет субмикроструктурной, медленно развивающейся структуры гидросиликатов, обуславливающих неупругие свойства цементного камня.

Свойства материала, формирующиеся в процессе твердения зависят не только от характеристики и состояния вяжущего, но и от согласования во времени физико-механических воздействий со структурообразованием, то есть высокое качество материала обеспечивается проведением технологических процессов в определенной стадии развития дисперсной структуры.

Исследование кинетики нарастания пластической прочности проводится с целью определения времени выдержки изделий до срезки горбушки, или до резки массивов при резательной технологии производства, а также времени до установки изделий на пост тепловлажностной обработки [110].

Сокращение длительности выдержки изделий до тепловлажностной обработки позволяет увеличить цикл оборота форм в производственных условиях.

Здесь уместно повторить, что при производстве ячеистых бетонов с использованием обычных кварцевых песков наблюдается медленный темп нарастания пластической прочности. Соответственно, время срезки горбушки достигается только через 4-5 часов, поэтому в производственных условиях используют специальные мероприятия по обеспечению ускорения темпа нарастания пластической прочности газосиликатобетонной смеси, как дополнительная выдержка в термокамерах при температуре 70-80⁰С или ввод в смесь специальных добавок [110].

Исследование кинетики нарастания пластической прочности газосиликатобетонной смеси (рисунок 3.7, кривая 2) показало, что рост пластической прочности у газосиликатобетона с добавкой волластонита идет равномерно с небольшим опережением роста пластической прочности у обычного газосиликатобетона (рисунок 3.7, кривая 1) без добавки.

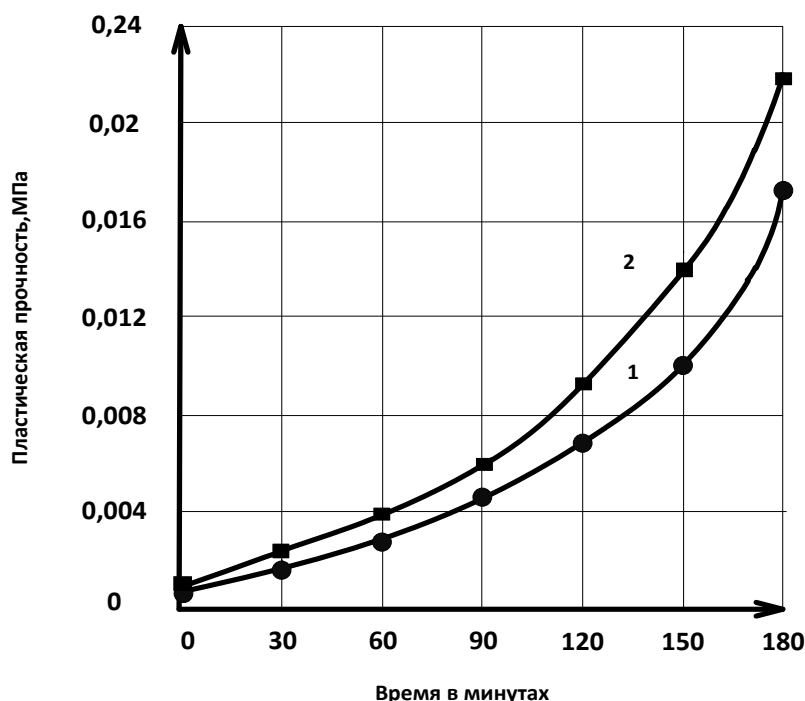
Время достижения пластической прочности достаточной для резки горбушки, у кривой 2 с добавкой волластонита (0,012 МПа) достигается через 135 минут, вместо газосиликатобетона без добавки (рисунок 3.7, кривая 1).

Время достижения прочности газосиликатобетонной смеси 0,02 МПа,

достаточной для резки массива на изделия, составляет для газобетона с добавкой волластонита порядка 156-160 минут, а без добавки через 185 минут.

Эти характеристики роста пластической прочности удовлетворительны были бы для производства ячеистых силикатных бетонов по старой польской технологии «Униполь» для заводов в Павлодаре КЖБИ 4 и Темиртау, где резка массива на изделия близка показателям 0,02-0,03 МПа.

Что касается новой технологии производства ячеистого силикатного бетона по лицензии немецких фирм «Маза-Хенке» и «Верхан», когда газосиликатобетонный массив перед резкой на изделия переворачивается на 90 градусов, сырец должен иметь пластическую прочность равную 0,05 МПа. Если начать переворачивать с прочностью сырца равную 0,02-0,03 МПа, то смесь просто разрушится.



1 – газосиликатный бетон D 700; 2 – газосиликатный бетон с волластонитом D 700

Рисунок 3.7–Кинетика роста пластической прочности

Время резки массива на изделия в течение 180 минут соответствует нормам, принятым на старых заводах, работающих по технологии «Униполь».

Установленные технологические параметры производства ячеистого силикатного бетона с добавкой волластонита обеспечили также и оптимальное сочетание процессов газовыделения с набором пластической прочности, что дало возможность придать газосиликатобетонной смеси оптимальную структуру пор и межпоровой перегородки и минимальную

осадку газосиликатобетонной массы.

Небольшое опережение роста пластической прочности газосиликатобетонной смеси с добавкой волластонита, объясняется тем, что добавка волластонита повышает активность вяжущего, а также механическую прочность в начальные сроки твердения. Из чего следует, что применение добавки метасиликата кальция в виде волластонита в условиях промышленности дает возможность исключить специальные мероприятия по обеспечению темпов повышения пластической прочности, которые не только невыгодны, но и неудобны, потому как требуются дополнительные устройства по их применению.

В заводском производстве ячеистого силикатного бетона, известны случаи, когда из-за трудностей по стабилизации роста пластической прочности (как правило, в большинстве случаев замедляется рост схватывания газосиликатобетонной смеси) приходится отказываться от использования отходов производств, сулящих значительные экономические выгоды предприятию.

3.6 Газосиликатный бетон на основе барханного песка и волластонита

В предыдущих исследованиях, мы использовали, в качестве кремнеземистого компонента, для приготовления ячеистого силикатного бетона кварцевый песок по СН 277-80 п.2.2, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736-2014 с содержанием кварца не менее 85%, то есть песок чистый и практически моноструктурный. Поэтому нами проведены исследования влияния добавки волластонита, когда в качестве кремнеземистого компонента в ячеистых силикатных бетонах применяется полиминеральный барханный песок.

В ячеистых бетонах стали применять барханные пески благодаря трудам Алматинского НИИСтромпроекта и ЮКГУ им М.Ауэзова [7, 44, 55].

Известно мнение профессора Боженова П.И., что результаты применения чистых продуктов не всегда совпадают с данными, получаемыми в загрязненных. Внедрение примесей вызывает искажение кристаллической решетки, уплотнение и часто может улучшить показатели свойств изделий. Поэтому не следует бояться загрязнений, надо исследовать поведение данного сырья, и тогда может оказаться, что не всегда надо требовать очистки исходных материалов, которая удорожает производство [108].

На Юге Казахстана экономически выгодно использовать огромные запасы барханных песков.

Особенностью барханных песков является отличие их как по химическому, так и по гранулометрическому составам от традиционных кремнеземистых компонентов [111].

В ячеистых бетонах используется тонкодисперсные материалы, а в создании барханных песков участвовали вековые природные процессы и соответственно приносили соответствующие химические и физические

изменения в структуру песка, значительно ослабляя её прочностные свойства, в связи с чем при дроблении барханных песков потребляется меньшее количество энергии на 10-15%, по сравнению с чистыми песками и тем самым повышается производительность заводских помольных агрегатов и уменьшается их износ [112].

В экспериментах в качестве кремнеземистого компонента использован барханный полиминеральный песок Шардаринского карьера. Петрографический анализ полиминерального песка показал, что он состоит в основном из кварца, полевого шпата с преобладанием ортоклаза (калиевый полевой шпат) и известняка. В песке встречаются глинистые обломки полуокатанной и окатанной формы.

В количественном соотношении в песке содержится: кварца 52-55%, полевого шпата 20-24%, глинистых обломков до 10%, кальцита 10-11% и 4% других минералов (авгит, биотит, роговая обманка).

Гранулометрический состав полиминерального барханного песка приведен в таблице 3.6.

Насыпная плотность равна 1420 - 1440 кг/м³, плотность истинная 2,61 - 2,63 г/см³. Песок барханный относится к мелкозернистым полиминеральным пескам. Барханный песок существенно отличается от принятых традиционных песков по минералогическому и гранулометрическому составам.

Таблица 3.6 – Гранулометрический состав песка

Размер отверстий сит, мм.	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Модуль крупности
2,5	-	-	
1,25	-	-	
0,63	0,23	0,23	
0,315	6,7	6,93	
0,14	47,9	54,83	
Прошло через сито 0,14	45,17	100,00	0,61

В наших экспериментах удельная поверхность дробленного барханного песка находилась в пределах 2300-2700 см²/гр. Для получения газосиликатобетона пониженной плотности применяются композиции вяжущего с кремнеземистым компонентом, характеризующиеся повышенной удельной поверхностью. При этом интенсифицируется процесс твердения и достигается требуемая плотность за счет уменьшения толщины межпоровых перегородок и наоборот. Тонкодисперсные компоненты обеспечивают более плотное использование вяжущих свойств, так как при этом повышается действующая общая поверхность реагирующих компонентов. Реакция при гидротермальных условиях протекает более быстро и полно, что оказывает положительное влияние на формирование структуры газосиликатобетона, прочность которой возрастает за счет образования цементирующего

вещества низкой основности [113].

Таким образом, дисперсность компонентов во многом определяет свойства газосиликатобетона.

Газосиликатобетон является эффективным материалом, применяемым в строительстве, особенно для строительства малоэтажных домов в сельской и городской местности Казахстана.

Основными критериями оценки автоклавного газосиликатобетона являются показатели его свойств, таковыми в основном являются: прочность при сжатии и растяжении при изгибе при данной средней плотности, теплопроводность и эксплуатационная стойкость.

В данный момент, при значительно выросшей технической оснащенности заводов новейшим оборудованием, различных порообразователей, имеются все возможности для улучшения технологии производства газосиликатобетонов с целью повышения их физико-механических и эксплуатационных свойств. Повышению физико-механических свойств газосиликатного бетона может сопутствовать и применение волластонита, обладающего армирующим и упрочняющим свойствами.

Это его свойство при добавлении в газосиликатный бетон в оптимальном количестве, по нашему мнению, должно способствовать уплотнению и упрочнению растворной части ячеистого силикатного бетона за счет армирования микроструктуры цементного камня. А это, в свою очередь, должно привести к улучшению строительно-технических свойств ячеистого бетона в целом. В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент марки 400. Как видно из рисунка 3.8, добавление в состав раствора добавки волластонита вместо кремнеземистого компонента барханного песка вызвало рост прочности, как на сжатие, так и на растяжение при изгибе, причем наиболее интенсивно при 10% добавки. Во время добавки дисперсно-армирующего микроволокна волластонита в количестве 10% прочность на сжатие ($R_{сж}$) возросла на 6,1%, а прочность на растяжение при изгибе на 18,3%, последующее нарастание прочности как на сжатие ($R_{сж}$), так и на растяжение при изгибе, показало менее усиленное свойство и фактически выравнилось при 50% замене кремнеземистого компонента на волластонит.

Таким образом, добавка волластонита значительно повышает показатель прочности на растяжение при изгибе, тем самым, доказывая свои хорошие армирующие свойства.

Для исследования новообразований с добавкой волластонита в смеси нами были сняты дифрактограммы с содержанием волластонита в количестве 50% от количества кремнеземистых компонентов в виде барханных песков. На рисунке 3.9 видны дифракционные максимумы с межплоскостными значениями $d=7,7-3,83-3,52-2,97-3,31-2,55-2,47-2,18-1,72-1,53\text{\AA}$, они относятся к кристаллической решетке волластонита, а также присутствуют дифракционные максимумы, принадлежащие продуктам гидратации цемента с волластонитом; гидросиликаты типа C_2SH_2 с межплоскостными значениями

$d=9,8-3,07-2,80-2,00-1,83-1,52\text{\AA}$.

Таким образом, повышение физико-механических свойств растворов, содержащих волластонит, можно объяснить армирующим влиянием кристаллических волокон волластонита на цементный камень и образованием гидросиликатов C_2SH_2 .

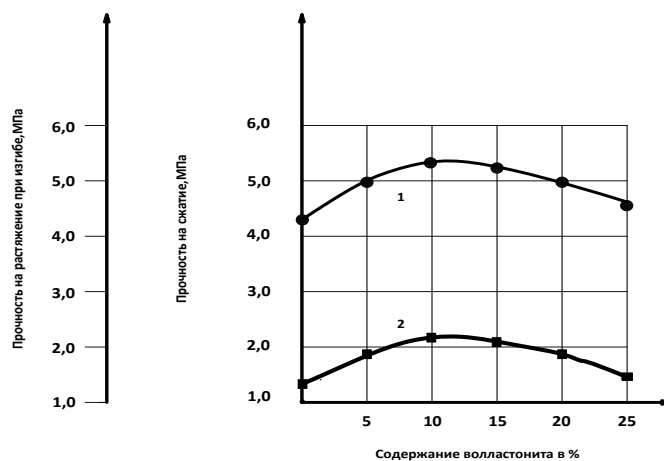
Нами проведены исследования на газосиликатобетоне автоклавного твердения с использованием загрязненного барханного песка и добавки волластонита. Как видно из таблицы 3.7, замена барханного песка на волластонит (15%) привел к росту, как прочности на сжатие ($R_{сж}$), так и прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) газосиликатобетонов, а отношение $R_{изг}/R_{сж}$ возросло на 0,8.

Таблица 3.7 – Физико-механические свойства газосиликатобетона на барханном песке с добавкой волластонита

№	Вид бетона	Плотность, кг/м ³	Барханный песок, %	Волластонит, %	Прочность, МПа		$R_{изг}/R_{сж}$
					$R_{сж}$	$R_{изг}$	
1	Газосиликатобетон	700	100	0	4,28	1,36	0,31
		700	85	15	5,35	2,14	0,39

Нашими исследованиями установлено, что добавка волластонита (метасиликата кальция) в газосиликатобетон приводит к существенному росту прочности, как на сжатие, так и на растяжение при изгибе, то есть она обладает хорошими армирующими свойствами.

Таким образом, возможно в СН 277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона» в пункт 2.6 включить: В качестве волокнистой (армирующей) добавки следует применять инертный волластонит (метасиликат кальция) вместо асбеста.



1 - прочность раствора на сжатие – $R_{сж}$; 2 - прочность раствора на изгиб – $R_{изг}$

Рисунок 3.8– Изменение свойств раствора при замене барханного песка волластонитом

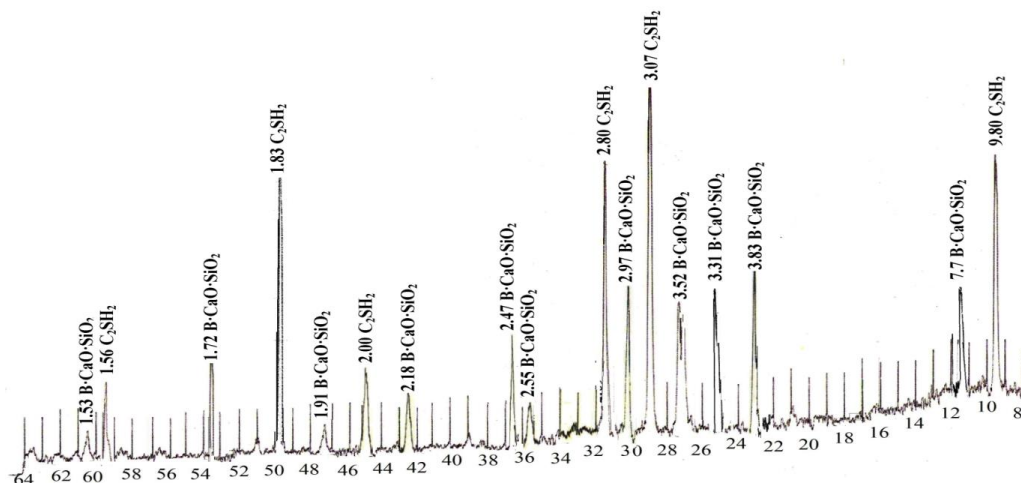


Рисунок 3.9 –Дифрактограмма раствора с волластонитом

По результатам положительных экспериментальных исследований получено решение о выдаче патента на полезную модель «Способ изготовления газосиликатного бетона». Копия решения о выдаче патента на полезную модель представлена в приложении Б.

3.7 Выводы

1 Широкое использование природного волластонита (метасиликата кальция) в производстве изделий и конструкций из газосиликатного бетона весьма перспективно, из-за богатейших промышленных запасов волластонитовых руд Казахстана и весьма положительного влияния на все физико-механические и эксплуатационные свойства.

2 Установлено, что в нормативный документ СН-277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона» в пункт 2.6 можно включить: В качестве волокнистой (армирующей) добавки следует применять инертный природный волластонит (метасиликат кальция) вместо асбеста.

3 Установлено, что на поверхности кристаллов волластонита в известково-кремнеземистых композициях (в процессе автоклавного синтеза) нарастает слой гидратных новообразований низкоосновных гидросиликатов кальция, а сами кристаллы волластонита играют роль арматуры.

4 Установлено, что 30,0% замена песка на ЭТФшлак и добавление 12% волластонита от веса цемента, существенно повышают физико-механические свойства газосиликатного бетона, особенно прочность на растяжение при изгибе на 52,2% при плотности 700 кг/м³.

5 Установлено, положительное влияние добавки волластонита на газосиликатобетоны как автоклавного, так и неавтоклавного твердения, причем эффект роста физико-технических свойств наблюдается и при использовании полиминерального барханного песка.

4 ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОСИЛИКАТНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОТЕРМОФОСФОРНЫХ ШЛАКОВ И БАРХАННОГО ПЕСКА

4.1 Краткая характеристика используемого сырья

Как известно некоторые отходы близки по своему химическому и минералогическому составам к природному сырью. В то же время по степени дисперсности, значительно меньшей загрязненности различными примесями превосходят природное сырье. Исследованиями Алматинского НИИСтромпроекта и ЮКГУ им.М.Ауэзова установлено, что для производства ячеистого бетона можно использовать различное сырье – малокварцевые, полевошпатовые и барханные пески. На Юге Казахстана необходимо использовать огромные запасы барханных песков Кызыл-Кумов, причем необходимо учитывать неоднородность составов даже у разных карьеров и месторождений [114]. Недостаточность изученности многих вопросов о пригодности загрязненных песков различных месторождений, особенно его влияние на стойкость изделий из ячеистого бетона в процессе эксплуатации, сдерживает широкое его использование. Сдерживающим фактором является отсутствие необходимой аппаратуры по быстрому химическому и минералогическому анализам сырья для коррекции составов в производственных условиях.

П.И.Боженков говорил, что результаты применения чистых продуктов не всегда совпадают с данными, получаемыми в загрязненных [108]. Внедрение примесей вызывает искажение кристаллической решетки, уплотнение и часто может улучшить показатели свойств изделий. Поэтому не следует бояться загрязнений, надо исследовать поведение данного сырья, и тогда может оказаться, что не всегда надо требовать очистки исходных материалов. Всякая очистка приводит к удорожанию и продукта, и само производство.

Барханные пески значительно отличаются как по химическому, так и по гранулометрическому составам от традиционных кремнеземистых компонентов. Перед промышленностью стройиндустрии стоит одна из важных задач – расширение сырьевой базы заполнителей в производстве газосиликатных бетонов за счет применения местного некондиционного сырья.

В связи с ограниченными запасами чистых кварцевых песков в Средней Азии и Казахстане замена их местными полиминеральными барханными песками, залежи которых не ограничены, является актуальной задачей и имеет большое практическое значение [115].

Использованию мелкозернистых песков в производстве растворов бетонов посвящены работы Советских ученых П.И.Боженкова, Ю.М.Баженова, В.Н.Байкова, А.В.Волженского, А.В.Саталкина, И.А.Кириенко, К.К.Куатбаева, А.Т.Алиева, В.Д.Глуховского, З.Ш.Шарафиевой, Н.Н.Комаровой [112, 113, 115].

В этих работах также было установлено, что мелкозернистые пески в бетонах вызывают перерасход вяжущего, в связи с чем, свойства бетона ухудшаются. Для сокращения расхода вяжущего и снижения усадочных деформаций они рекомендуют обогащать растворные и бетонные смеси крупными песками, применяя виброперемешивание и виброуплотнение бетонной смеси.

В исследованиях, проведенных профессором В.Д.Глуховским, было установлено, что конструктивные бетоны на портландцементе и дисперсных заполнителях или других вяжущих на основе кальция, получить не удастся. Это обусловлено тем, что новообразования, возникающие в результате гидратации цементных минералов, практически не вступают в химическое взаимодействие с наиболее дисперсными глинистыми частицами заполнителей. Шлакощелочные вяжущие в отличие от кальциевых, ввиду высокой активности щелочных соединений, позволяют использовать в производстве бетонов различные виды некондиционных заполнителей, содержащие в своем составе большое количество глинистых, пылевидных и других веществ алюмосиликатного состава. Возможность использования мелкозернистых заполнителей в получении шлакощелочных бетонов авторы работ объясняют тем, что едкие щелочи, возникающие в процессе гидратации вяжущего материала, взаимодействуют с глинистыми минералами заполнителя, образуя нерастворимые щелочные гидроалюмосиликаты – аналоги природных цеолитов, обладающие вяжущими свойствами. Едкая щелочь также химически активизирует поверхность песчаных и пылеватых частиц. Продукты взаимодействия глинистых частиц с едкими щелочами, являются как бы дополнительным вяжущим. Таким образом, они наряду с продуктами гидратации шлакощелочного вяжущего цементируют песчаные и полностью пылевидные частицы заполнителя, покрывая поверхность последних, уплотняют структуру и повышают прочность камня [116].

Исследователи указывают, что одним из достоинств шлакосиликатного бетона является возможность применения в качестве мелкого заполнителя песка, содержащего значительное – количество глинистых примесей.

Таким образом, наличие процессов химического взаимодействия щелочных соединений с дисперсными алюмосиликатами обуславливает применение в бетонах, в виде заполнителей более мелкодисперсных песков, чем в традиционных бетонах на основе портландцемента.

На основе барханных песков автором [55] получен мелкозернистый автоклавный бетон с пределом прочности 19,5 МПа. В исследованиях [55, 113] доказано, что на основе барханных песков Шардаринского месторождения можно получить плотные и газосиликатные бетоны автоклавного твердения, а также мелкозернистый пропаренный бетон. Прочность при сжатии автоклавного бетона плотной структуры, при составе: известь – 10%, молотый песок – 20% и немолотый песок – 10%, составила 28,9 МПа, а прочность газосиликатного бетона со средней плотностью

700÷1100 кг/м³ составила 5,3-14,2 МПа. Предел прочности при сжатии мелкозернистого пропаренного бетона, в зависимости от соотношения вяжущего: песок, составил 10,0÷60,0 МПа. Мелкозернистый бетон на барханном песке Ашхабадского месторождения с модулем крупности 0,4 показал, что замена приводных заполнителей, полиминеральными тонкодисперсными песками снижает себестоимость 1 м³ бетона на 8% [55, 117].

Как известно барханные пески в своем составе, кроме кварца содержат значительное количество полевошпатовых и глинистых минералов, кальцита, слюд и других минералов, присутствие которых считается нежелательным.

Степень взаимодействия полевошпатовых минералов, входящих в состав песка, с известью при автоклавной обработке изучалась многими исследователями.

Исследованиями, проведенными автором [113,115], было установлено, что для получения плотных автоклавных бетонов допустимо использование полиминеральных песков с содержанием полевых шпатов до 30% при наличии кварца не менее 50%. Отмечена, также необходимость увеличения температуры тепловой обработки, при котором повышается интенсивность химического взаимодействия сырьевой смеси.

Исследованиями на нашей кафедре З.Ш.Шарафиевой и Н.Н.Комаровой доказано, что наряду с кварцем вступают во взаимодействие с известью и полевые шпаты [113,115].

Куатбаев К.К. считает, что влияние на степень взаимодействия полевого шпата с известью оказывают его состав и структура цементирующего вещества. Растворение полевошпатовых минералов в присутствии извести повышается, а по интенсивности взаимодействия с Ca(OH)_2 эти минералы располагаются в возрастающем порядке: нефелин-альбит-микроклин. Тоберморит и CSH(I) появляются на поверхности или между частицами полевого шпата, а высокоосновные гидросиликаты кальция, гидроалюминаты образуются вблизи зерен извести или в порах образцов [7, 29].

Исследуя взаимодействия полевошпатовых песков с доменными шлаками при автоклавной обработке К.К.Куатбаев пришел к выводу, что по своим свойствам эти изделия равноценны изделиям на кварцевом песке, объясняя это более интенсивной гидратацией шлаковых стекол, за счет увеличивающейся щелочности среды, ввиду присутствия КОН или NaOH.

В результате многочисленных опытов доказано, что полевошпатовый минерал не является вредной примесью, а присутствие их в песке при более высоком давлении пара в автоклаве способствует повышению прочности изделий.

Содержание глинистых минералов в полиминеральных песках также оказывает заметное влияние на свойства материалов [7, 67].

Взаимодействие глинистых примесей с Ca(OH)_2 были изучены профессором П.И.Боженковым [115]. В результате исследований было

установлено, что глинистые минералы при автоклавной обработке способны вступать в реакцию, и продуктами реакции являются гидроалюминаты и гидросиликаты кальция.

Далее, исследуя фазовый состав новообразований, возникающих при твердении шлакощелочного вяжущего на основе фосфорных шлаков в сочетании с глинистыми и полевошпатовыми минералами, присутствующими в барханном песке, установил, что последние вступают в химическое взаимодействие со щелочью, образующейся при диссоциации, в частности метасиликата натрия, и связывают ее в нерастворимые щелочные гидроалюмосиликатные образования. В результате, в искусственном камне наряду с низкоосновными гидросиликатами тоберморитовой группы, формируются щелочные гидроалюмосиликаты типа нефелин-гидрата, лейцита, калиевого и натриевого анальцима, которые могут служить дополнительным структурообразующим элементом в бетоне и оказывающие существенное влияние на основные свойства бетонов на мелкозернистом заполнителе [115].

Б.Н.Виноградов, обобщая результаты исследований по применению полиминеральных песчано-глинистых пород-лессов и лессовидных суглинков при изготовлении различных строительных материалов и изделий, установил, что на их основе вполне возможно получение ячеистых и легких бетонов. Предел прочности ячеистых бетонов при сжатии составляет – 2,1; 6,2 и 13,8 МПа, а легких бетонов – при оптимальном содержании активной СаО составляет – 25,0 МПа [118].

В работе авторов [36, 70, 113] показано, что присутствие кальцита в мелкодисперсных песках нежелательно, но при совместном действии с полевыми шпатами оказывают положительный результат. При наличии слюды прочность образцов значительно падает, но при одновременном действии слюды, кальцита и полевого шпата образцы приобретают достаточную прочность. Результаты этих опытов использованы при исследовании возможности применения барханных песков различных месторождений, содержащих очень большое количество полевых шпатов, кальцита, глинистых агрегатов для получения силикатных автоклавных материалов.

Обобщая результаты научно-исследовательских работ можно сделать вывод, что примеси, содержащиеся в барханных песках химически активны при взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при запаривании, и если содержание отдельных минералов не превышает допустимые пределы, барханные пески можно использовать в качестве кремнеземистого компонента при производстве автоклавных материалов.

Таким образом, проведенные многочисленные исследования показали возможность использования полиминеральных барханных песков с наличием примесей и других минералов, для производства различных видов бетона.

Учитывая неоднородность состава полиминеральных песков различного месторождения, бесспорной является необходимость в каждом конкретном

случае проводить комплексное исследование на возможность использования песков каждого из месторождений для производства строительных изделий.

4.1.1 Гранулированный электротермофосфорный шлак

Пробы шлака отбирались на отвале.

Активность шлака подсчитывали по формуле П.И. Боженова:

$$K_{осн} = \frac{(CaO+0,93MgO)-(0,5Al_2O_3+0,35Fe_2O_3+0,7SO_3)}{0,93SiO_2} \quad (4.1)$$

где: числитель формулы соответствует процентному содержанию извести, оставшейся в свободном состоянии после образования моноалюмината и моноферрита, а также извести, связанной в $CaSO_4$.

Таким образом, числитель показывает сколько процентов извести может вступать в реакцию с SiO_2 , а знаменатель – потребность извести для образования моносилката. Кроме основных окислов, фосфорные шлаки содержат оксиды фосфора и фтор. В результате автоклавной обработки эти оксиды также будут принимать участие во взаимодействии с другими оксидами шлака и поэтому необходимо внести поправку в формулу 4.1.

Исходя из положения, что P_2O_5 связывается в апатит $Ca_3(PO_4)_2$, а фтор во фторапатит $Ca_5(PO_4)_3 \cdot F$, формула 4.1 после корректировки приняла следующий вид:

$$K_{осн} = \frac{(CaO+0,93MgO)-(0,55Al_2O_3+0,35Fe_2O_3+0,7SO_4+1,18P_2O_5+1,05F)}{0,93SiO_2} \quad (4.2)$$

Химический состав шлаков приведен в подразделе 2.1.2 с указанием $K_{осн}$ шлака.

Анализ шлака показал, что он удовлетворяет требованиям СТ РК 935-92.

Петрографические исследования показали, что содержание стекла составляет от 65% до 95%, остальное кристаллическая фаза. Так как P_2O_5 является стеклообразующим окислом, то от его количества зависит и количество стекла. Нашими исследованиями установлено, что действительно содержание P_2O_5 в охлаждаемом расплаве существенно влияет на количество образующейся стеклофазы, так при содержании P_2O_5 равном 2,75 наличие стеклофазы составляет 97%, а при содержании P_2O_5 равном 1,4% стеклофаза составляет 88% [119, 120].

Основной кристаллической фазой фосфорных шлаков является псевдоволластонит (α - $CaO \cdot SiO_2$) в виде призматических кристаллов с показателями светопреломления $\eta_g=1,654 \pm 0,002$, $\eta_p=1,610 \pm 0,0015$; количество этой фазы в шлаке составляет 3-4%. Обнаружено также содержание меллита – $Ca_2(Al, Mg, Si)Si_2O_7$. При повышенном содержании фосфорного ангидрита в шлаке было обнаружено наличие минерала силикокаронотита $5CaO \cdot P_2O_5 \cdot SiO_2$ показателями светопреломления: $\eta_g=1,656 \pm 0,002$, $\eta_p=1,640 \pm 0,0015$, а при малом содержании P_2O_5

самостоятельных фосфорсодержащих минералов не обнаружено, возможно, они входят в состав псевдоволластонита.

Качество шлака тем выше, чем больше количество стеклофазы в нем. Исследования фазового состава фосфорных шлаков, гранулирующихся непосредственно на выходе из печи, показало, что количество стекловидной фазы доходит до 97-98 % [121].

Поскольку стекловидная фаза является основной в гранулированном шлаке, ее состав и структура оказывают решающее влияние на его свойства. В исследованиях ряда авторов показано, что пятиокись фосфора P_2O_5 обладает поверхностно-активным свойством и является стеклообразующим окислом. Содержание в шлаке P_2O_5 можно менять технологическим приемами при кремневосстановительном процессе, а это очень важно с точки зрения получения прочных и качественных изделий из ячеистого бетона. С повышением температуры скорость восстановления SiO_2 возрастает, а это приводит к тому, что скорость восстановления SiO_2 и P_2O_5 выравнивается, в итоге повышение температуры приводит к возрастанию конечного P_2O_5 в шлаке.

Для бетонов автоклавного твердения, в том числе и для ячеистой структуры П.И.Боженков рекомендует в сырьевую смесь добавлять корректирующие добавки, чтобы $K_{осн}$ лежал в пределах 0,8 – 1,3. При наших испытаниях $K_{осн}$ был больше единицы.

Экспериментальным путем определяли возможность применения ЭТФшлаков в качестве цементирующего вещества. Брали чистое цементирующее вещество фосфорный шлак и с добавкой извести готовили совместным помолом материала до удельной поверхности 4000 $см^2/гр$ на ПСХ-2. Готовили смесь нормальной консистенции и формовали образцы, которые после 2-х часов выдержки запаривали в автоклаве при давлении 1,2 МПа по режиму 2+8+2 часа.

В таблице 4.1 приведены данные по прочности образцов на чистом шлаке с разными значениями $K_{осн}$ и с добавкой извести.

Анализ данных (таблица 4.1) показал, что при автоклавной обработке чистые и шлаки разной основности имеют достаточно высокие прочности. Так образцы с $K_{осн}=1.1$ имели прочность 60,6 МПа, увеличение $K_{осн}$ до 1,11 и 1,13 не привело к увеличению прочности, а наоборот они имели низкую прочность 24,0 и 29,9 МПа.

Экспериментально установлено, что коэффициент основности не дает полной картины изменения прочностных показателей. Добавка извести в количестве 0,5% способствует росту прочности всех образцов без исключения.

Максимальная прочность 82,0 МПа получена при добавке извести в количестве 1,0% при $K_{осн}=1,1$ и 69,0 МПа при $K_{осн}=1,06$.

Таблица 4.1 – Прочность автоклавных образцов разного состава

№	Состав смеси %		K _{осн} и прочность R _{сж} , МПа			
	известь	шлак	1,06	1,1	1,11	1,13
1	0	100	40,5	60,6	24,0	29,9
2	0,5	99,5	51,0	70,0	32,0	35,1
3	1,0	99,0	69,0	82,0	43,4	50,2
4	2,0	98,0	54,0	73,0	54,7	55,2
5	3,0	97,0	40,1	65,0	41,5	45,1

Для образцов с K_{осн}=1,11 и 1,13 получены максимальные прочности 54,7 и 55,2 МПа соответственно при 2,0% добавки извести.

Таким образом, можно полагать, что чистый шлак при автоклавной обработке обладает вяжущими свойствами, достаточными для получения на его базе изделий ячеистого бетона. При применении шлака разной основности в качестве цементирующего вещества существуют оптимальные количества добавляемой извести с целью увеличения прочностных показателей.

Установлено, что изменение химического состава шлаков и его фазовое содержание в значительной мере влияет на степень активности шлака и в конце определяет прочностные показатели.

При проведении экспериментов было установлено [122, 123], что сроки хранения известково-шлакового вяжущего, существенно сказываются на прочности образцов, особенно при использовании извести-кипелки по сравнению с известью пушонкой, это объясняется тем, что при хранении идет сорбция влаги воздуха и постепенное гашение извести-кипелки и перехода её в пушонку.

Процесс «старения» или снижения активности известково-шлакового вяжущего требует тщательного исследования, так как и в производственных условиях это будет сказываться на качестве выпускаемой продукции.

Добиться выпусков шлаков, имеющих стабильный химический состав, трудно, но осуществимо, применяя различные технологические приемы при производстве фосфора. Так при кремневозстановительном процессе, возможно регулировать содержание в шлаке P₂O₅, который является стеклообразующим окислом и он несомненно оказывает влияние на формирование минерального состава шлака и на степень его активности.

В наших экспериментах было видно (таблица 4.2), что содержание P₂O₅ в пробах шлака колеблется в значительных пределах от 0,67 до 2,75 и соответственно содержание стеклофазы также меняется от 62 до 97%.

При содержании P₂O₅ равном 2,02 стеклофаза составляет 94%, а при содержании P₂O₅ равном 1,4% содержание стеклофазы составляло 88%.

Таблица 4.2 – Влияние содержания P_2O_5 в шлаке на количество стеклофазы и прочность

№	Содержание P_2O_5	Количество Стеклофазы %	Величина $K_{осн}$ шлака	Прочность МПа
1	1,73	92	1,06	40,5
2	2,45	96	1,1	60,6
3	2,02	94	1,1	56,1
4	1,06	85	1,1	23,5
5	0,67	62	1,11	11,2
6	0,92	86	1,11	24,0
7	1,40	88	1,13	29,9
8	2,75	97	1,15	63,0

Анализ прочностных показателей образцов на шлаке с разными $K_{осн}$ показал (таблица 4.2), что содержание стеклофазы оказывает существенное влияние на их величину. Так для шлаков с $K_{осн}=1,1$ рост содержания стеклофазы с 85% до 96% увеличивает прочность с 23,5 до 60,6 МПа.

На рисунке 4.1 представлена зависимость прочности образцов от содержания стеклофазы в шлаке. Как видно, рост прочности на чистом фосфорном шлаке с увеличением содержания количества стеклофазы резко возрастает. Ранее мы установили, что процентное содержание стеклофазы в шлаке зависит от количественного содержания P_2O_5 регулируемое технологическими приемами при производстве фосфора.

Наши эксперименты показали, что при оценке фосфорных шлаков в качестве цементирующей связки необходимо учитывать величину $K_{осн}$, и количество стеклофазы в ней, а при увеличении прочностных характеристик необходимо вводить корректирующую добавку известь. Вводимое количество извести можно определить расчетным путем или экспериментально.

Известь, создавая щелочную среду, способствует растворению исходного вещества, способных к более эффективному участию в реакциях синтеза при автоклавной обработке. Нами экспериментально установлено, что при производстве газосиликатного бетона можно использовать фосфорный шлак, с учетом его химического и особенно стеклофазного содержания, в качестве цементирующего вещества, с целью получения изделий со стабильными свойствами в производственных условиях.

В утвержденных нормах на шлак, содержание P_2O_5 должно быть не более 2,5% (СТ РК 781-2004). С учетом этого для получения качественного газосиликатного бетона, можно ограничить нижний предел содержания P_2O_5 равным 1,5%, а верхний предел оставить равным 2,5%, в этом случае содержание стеклофазы составляет 90-95%.

В итоге нами установлено, что электротермофосфорный шлак в сочетании с барханными песками и природным волластонитом с

добавлением извести является ценным сырьем для получения газосиликатных бетонов, удовлетворяющих возросшим требованиям Евростандарта.



Рисунок 4.1– Влияние содержания стеклофазы на прочность

4.1.2 Влияние экономичных щелочных добавок на гидратацию шлакоцементных смесей

Фосфорный шлак (ФС) является отходом фосфорного производства, полученный с помощью электротермического метода, выход которых составляет 7 т на 1 т фосфора [124]. Годовой объем производства фосфора в Китае и США составляет 8 и 3,6 млн тонн соответственно [125-127]. Использование суспензии фосфора решает экологическую проблему за счет повторного возобновления части ископаемого сырья, тем самым снижая воздействие на окружающую среду двумя способами: не создается хранилище суспензии и уменьшается необходимость извлечения сырья за счет повторного использования шлама.

В настоящее время фосфорный шлак используется для производства различных строительных материалов. Он является ценным сырьем, используемым в качестве заполнителя в бетонных изделиях, и в качестве активной минеральной добавки в цементной промышленности и в качестве основы для производства стеклокерамических материалов. Фосфорный шлак, состоящий в основном из оксидов кальция и кремния [128], менее активен, чем доменный шлак [129]. Шлаковый P_2O_5 оказывает сильное замедляющее действие на время твердения цемента, в то время как недостаточный расчет Al_2O_3 влияет на прочность цемента [130]. Существуют различные методы, позволяющие удалить термические, химические и механические недостатки [131, 132, 133, 134]. Для придания фосфорному шлаку цементирующие свойства и активировать его скрытые гидравлические свойства требуются различные химические вещества (слабая и сильная щелочь) [134, 135, 136,

137]. Алюмосиликатные материалы без скрытых гидравлических или цементирующих свойств могут быть активированы только сильными щелочными активаторами [138]. Слабощелочные активаторы можно использовать с промышленным шлаком [135].

Щелочные добавки (щелочной расплав натрия, метасиликат, дисиликат натрия, сода и другие щелочные соли и щелочноземельные металлы) обычно используются для производства щелочно-активированной вяжущей среды. Это увеличивает себестоимость продукции и препятствует ее массовому применению в технологиях производства строительных материалов. Поэтому необходимо создание новых видов вяжущих сред на основе фосфорных шлаков с использованием дешевых местных щелочных добавок.

Однако фосфорный шлак имел различный химический состав. Поэтому процесс определения оптимального состава шлаковой вяжущей среды, независимо от щелочной добавки, требует множества экспериментов.

Большое влияние на растворимость величин SiO_2 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ оказывает величина pH-среды. Исследования, проводимые О.П. Мчедловым-Петросяном [139] показали, что растворимость SiO_2 становится заметной при $\text{pH} > 10$, причем до $\text{pH} = 12,18$ SiO_2 находится в основном в равновесии с ионом HSiO_3^- , а при $\text{pH} > 12,18$ – с ионом SiO_3^{2-} . Что касается $\text{Ca}(\text{OH})_2$, то ее растворимость с повышением pH падает, характерным является то, что при $\text{pH} = 12,65$ соотношения ионов кальция и ионов метакремневой кислоты становятся близким к единице, при $\text{pH} > 12,65$ это соотношение уменьшается, т.е. основность падает, а при $\text{pH} < 12,65$, наоборот увеличивается, т.е. основность повышается. По данным Кондо Р., Уэда Ш. [140] растворимость материала зависит от плотности, величины удельной поверхности, параметра пара при гидротермальной обработке, а также от pH- среды. Ими доказано, что гидратация стекла, содержащего 50% CaO и 20% SiO_2 происходит при $\text{pH} > 11-12$.

Вышесказанное дает основание считать, что основным признаком гидравлических вяжущих свойств у минеральных веществ является способность их при контакте с водой создать щелочную среду, обеспечивающую гидратацию вяжущего вещества.

Известны методы определения оптимальных составов сырьевых смесей на основе шлаков и зол. В этих способах методика определения оптимального состава вяжущего материала на основе шлаков и зол складывается из следующих операций: 1) экспериментальный подбор состава сырьевых смесей, путем формирования образцов из 10-11 видов смесей различного состава; 2) совместный помол сырьевых компонентов в шаровой мельнице; 3) формование; 4) тепловлажностная обработка; 5) физико-механические испытания образцов и выбор оптимального состава смесей по наибольшей величине прочности образцов. В случае изменения химического состава сырья эксперименты повторяются, иначе может нарушиться технологический режим производства.

Целью данного исследования было создание методики для определения того, как процесс изменения активности/ содержания известняков (щелочей) или сульфатов влияет на эффективность гидратации шлака и цемента.

Состав фосфорношлакового вяжущего, состав вторичной цементной пыли электрофильтров (ПЭФ), химический состав фосфорного шлака и их влияние на pH представлены в таблицах 4.3-4.5.

Таблица 4.3 – Оптимальные составы цементирующей среды фосфорного шлака

№	Содержание, %		
	Фосфорный шлак	ПЭФ	Известь воздушная
1	88	12	-
2	90	-	10

Таблица 4.4 – Зависимость величины pH-среды и изменение активности ИШВ от количества и активности извести воздушной

№п/н	Состав сырьевой смеси, %		Активность извести, %	Активность смеси, %	pH-среды	Показатели предела прочности, МПа	
	Фосфорный шлак	Известь воздушная				R _{сж}	R _{изг}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	99,5	0,5	78	11,23	12,00	14,80	1,80
2	99,0	1,0		11,76	12,30	18,00	2,50
3	98,5	1,5		12,00	12,32	24,50	3,10
4	98,0	2,0		12,50	12,41	29,60	4,60
5	95,0	5,0		13,00	12,46	36,ф	4,80
6	90,0	10,0		13,78	12,60	41,00	5,50
7	85,0	15,0		14,52	12,67	37,40	4,60
8	80,0	20,0		14,85	12,70	34,15	4,70
1	99,0	1,0	65	10,40	11,30	14,72	2,10
2	98,5	1,5		11,15	11,60	19,50	3,80
3	98,0	2,0		11,77	11,82	23,00	3,50
4	95,0	5,0		12,70	12,00	28,70	4,30
5	90,0	10,0		13,55	12,41	34,60	5,2
6	85,0	15,0		14,00	12,60	38,50	5,0
7	80,0	20,0		14,73	12,76	33,40	4,6
1	99,0	1,0	54	8,35	11,00	12,6	1,8
2	98,5	1,5		9,87	11,36	18,2	2,3
3	98,0	2,0		11,20	11,65	22,4	3,0
4	95,0	5,0		12,00	11,90	26,7	3,6I
5	90,0	10,0		12,78	12,25	30,5	4,0
6	85,0	15,0		13,62	12,51	33,6	4,3
7	80,0	20,0		14,56	12,60	37,9	4,8
8	75,0	25,0		15,24	12,80	32,0	4,63

Проведено сравнение составов сырьевых вяжущих материалов на основе гранулированного фосфорного шлака ТОО «Казфосфат», негашеной извести Састюбинского Цементно-известкового завода и вторичной цементной пыли электрофильтров Шымкентского цементного завода).

Фосфорношлаковые вяжущие (ФШВ) получали измельчением шлака до 3500-4000 см²/г с щелочными добавками: известь негашеная (0,5-20%) и пыль электрофильтров (1-25%). Скорость гашения 5-7 минут; активность извести - 75-80% [71].

Оптимальный состав ФШВ был выбран экспериментально, путем изготовления образцов (4 x 4 x 16 см) из смесей с различным соотношением компонентов сырья. Соотношение вода-связующее составляло 0,20-0,60. Образцы твердели в лабораторной камере при температуре 85-90°C по режиму 3 + 8 + 3 часа.

Таблица 4.5 – Зависимость величины рН-среды и активности вяжущего от количества добавки ПЭФ, и от содержание щелочей в ПЭФ

№ п/н	Состав сырьевой смеси, %		Содержание щелочей Na ₂ O+K ₂ O, %	Активность смеси, %	рН-среды	Показатели предела прочности, МПа	
	фосфорный шлак	ПЭФ				R _{сж}	R _{изг}
1	95	5	1,9	10,92	11, 85	26,6	3,2
2	92	8		11,20	12,00	37,0	4,0
3	90	10		11,76	12,25	42,5	5,1
4	88	12		13,44	12,35	45,8	4,9
5	86	14		14,00	12,40	49 0	5,1
6	80	20		14,56	12,47	46,5	4,4
1	95	5	4,0	12,32	12,00	39,7	4,5
2	92	8		12,41	12,21	46,5	5,0
3	90	10		13,30	12,35	53,0	5,9
4	88	12		14,28	12,40	57,8	6,8
5	86	14		14,55	12,48	52,0	5,1
6	80	20		15,16	12,56	46,2	4,9
1	95	5	8,5	12,36	12,20	39,2	5,1
2	92	8		14,30	12,32	47,5	5,0
3	90	10		14,46	12,40	48,2	5,7
4	88	12		14,61	12,52	45,3	5,9
5	86	14		14,92	12,61	42,4	5,0
6	80	20		15,25	12,67	30,0	4,2

Для измерения рН использовали милливольтметр рН-121.

Физико-механические свойства ФШВ были определены в соответствии с BS EN 196-1: 2005 (196-1: 2005, 2016).

Исследуемые образцы обезвоживали, сушили в вытяжной тележке и измельчали до полного прохождения через сито с сеткой 104 меш / см для

проведения дифференциального термического анализа и рентгеновской флуоресценции.

Дифференциально-термический анализ (ДТА) сырья и затвердевшего ФШВ проводился на дериватографе Паулик-Паулик-Эрдей со скоростью нагрева 10°C/мин и массой образца 1 г; в качестве стандартного образца использовали оксид алюминия, который не вызывал тепловой эффект в исследованном диапазоне температур.

Рентгеновскую флуоресценцию проводили на установке ДРОН-3 с никелевым фильтром излучения при напряжении 35 кВ, силе тока 10 мА и скорости 2 град/мин. Форму и размер кристаллов вяжущего состава исследовали с помощью просвечивающего электронного микроскопа модели Tesla BS-242 E при увеличении на x3500, x6000 и x14000 [71].

Как показала практика, получаемые гранулированные фосфорные шлаки имеют непостоянный химический состав. Отбор проб только в течение месяца показал, что химический состав фосфорных шлаков имеет следующие колебания. Данные приведены в таблице 2.4 (см. подраздел 2.1.2). Из таблицы 2.4 видно, что содержания оксидов и стеклофазы в фосфорном шлаке колеблется в широких пределах и составляет, %: $\text{SiO}_2=40,90-43,85$; $\text{CaO}=44,90-47,30$; $\text{Al}_2\text{O}_3=0,88-2,89$; $\text{Fe}_2\text{O}_3=0,89-3,40$; $\text{MgO}=2,25-3,70$; $\text{P}_2\text{O}_3=0,86-2,57$; $\text{F}=1,82-2,40$; стеклофаза с 63,5% до 95,0%.

В сырьевую смесь в качестве щелочного активатора добавлялась известь негашеная. Известковый состав имеет недиссоциированные кристаллы сырого продукта и незначительное количество извести кипелки. Скорость гашения составляла 5-7 минут, то есть известь быстро гасится. Активность извести составляла 75-80% (второй сорт).

Пыль электрофильтров (ПЭФ) представляет собой мелкодисперсный, частично пережженный материал, цвет которого варьируется от светло-желтого до серого. По данным химического и рентгено-дифракционного анализа, пыль содержит значительное количество обожженной глины, неразложившейся и свободной извести. В его состав входят первичные минералы цемента, так как часть его поступает из зоны обжига и экзотермической реакции. Содержание щелочи в пыли составляла 1,20-8,50%. Щелочи бывают в виде растворимых и нерастворимых соединений. В водорастворимую часть входят в основном сульфаты и карбонаты: Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , Na_2SO_4 , KHCO_3 . Нерастворимые соединения включают силикаты щелочных металлов.

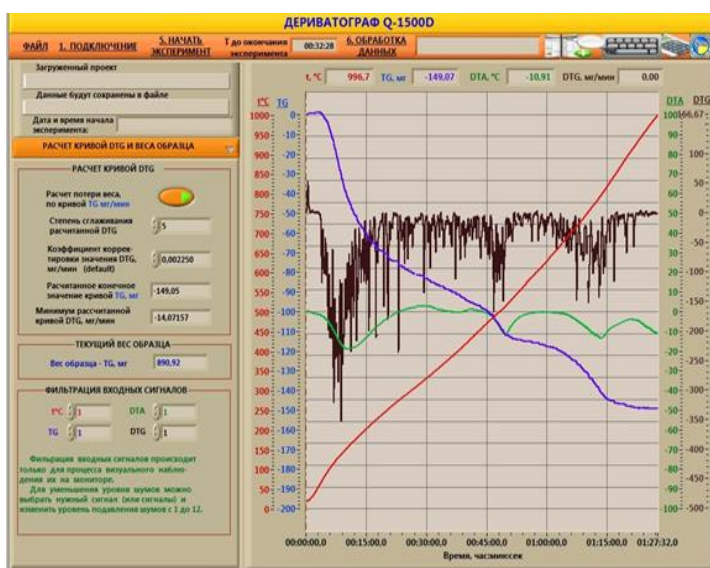
Добавление извести в вяжущее создает щелочную среду, в которой повышается гидратационная активность шлака. Действие добавки можно объяснить ускоренным гидролизом шлакового стекла с образованием гидросиликатов кальция в вяжущем. Прочность известково-шлакового вяжущего (ИШВ) определяется количеством продуктов новообразования, необходимых для цементирования частиц шлака. Количество и качество новообразований (при прочих равных условиях) зависит от расхода извести.

Увеличение концентрации извести в вяжущем от 0,5 до 10% увеличивает количество низкоосновных гидросиликатов кальция. Это вызвано разделением кристаллической решетки гидросиликата кальция из-за добавления и замещения ионов извести. Разделение кристаллической решетки способствует плотному слиянию частиц гидратной фазы и увеличивает прочность затвердевшего цементного теста.

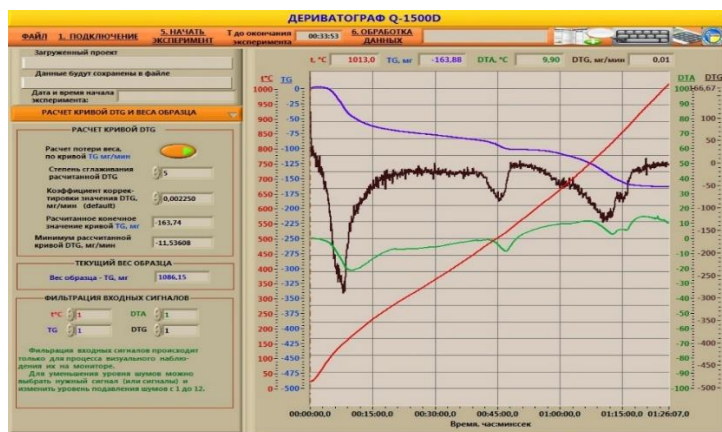
Дальнейшее увеличение количества извести приводит к качественным изменениям состава новообразований, в частности, к появлению высокоосновных гидросиликатов кальция и присутствию Ca(OH)_2 . Это ухудшает физико-механические свойства шлаковых вяжущих.

В системе шлак-известь-вода основными продуктами новообразований являются низкоосновные гидросиликаты кальция - CSH(I) и тоберморит.

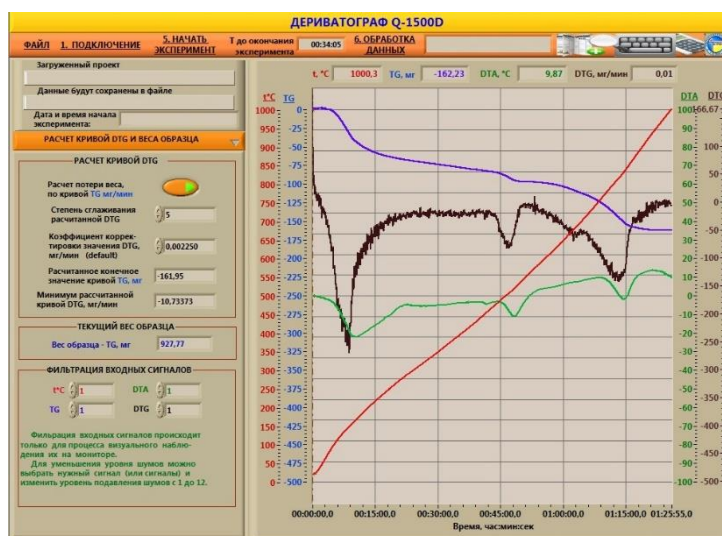
На рисунке 4.2 представлены термограммы шлакового вяжущего с добавкой извести, имеющей активность 54%. При 5% извести гель тоберморита и субмикрорекристаллические образования CSH(I) образуют шлаковый камень, о чем свидетельствует эндо-эффект, который соответствует потере воды при 130°C и первичной дегидратации при 230°C на тепловой кривой 1 (рисунок 4.2). Небольшое количество α - и γ -гидрата C_2S также образует образцы, что объясняет слабые эндоэффекты, соответствующие 410°C и 720°C . Эндо-эффект при 720°C также может быть связан с полной дегидратацией тоберморита.



А – 5% извести/95% шлака;



Б – 10% извести/90% шлака;



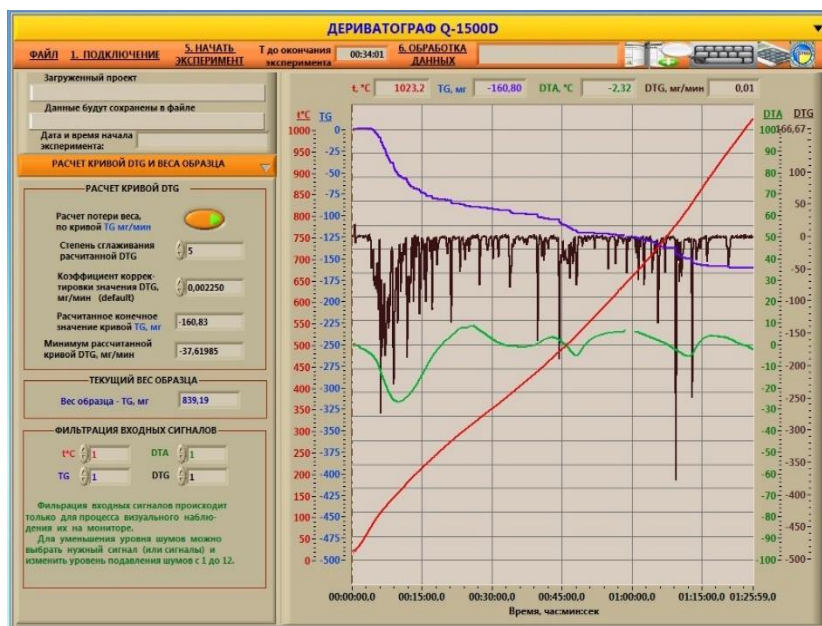
В – 15% извести/85% шлака. Активность извести – 54%

Рисунок 4.2 – Термограмма известково-шлакового вяжущего

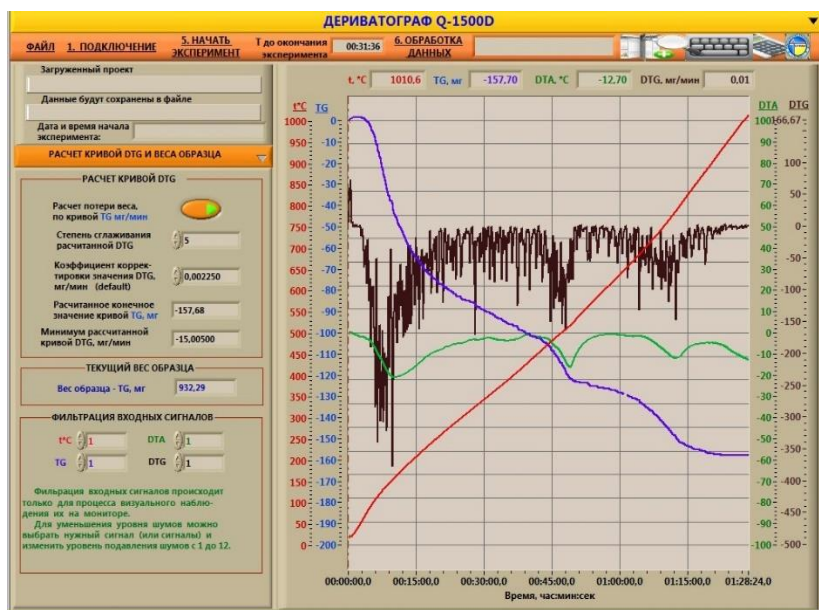
Такие же гидросиликаты кальция обнаруживаются в вяжущем с добавлением 10-15% извести (рисунок 4.3, кривые 2 и 3). По-видимому, увеличение концентрации извести и pH усиливает образование высокоосновных гидросиликатов кальция и снижает степень кристаллизации тоберморита. Это подтверждается отсутствием четкого эндоэффекта в диапазоне температур 210–240°C, что характерно для тоберморита, и несколько усиленным эндоэффектом в диапазоне температур 400–410°C и 720°C. В то же время повышенная содержание извести (15%) не должна рассматриваться как автоматическое увеличение pH, поскольку насыщение раствора относительно $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вызывает его осаждение в виде кристаллов, которые не способствуют активации растворения шлакового стекла и образованию высокоосновных гидросиликатов кальция. Термограммы ИШВ с 10-15% добавкой показывают четкие конечные эффекты дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Все термограммы показывают признаки экзоэффектов при

температуре 890°C, которые соответствуют кристаллизации остаточного шлакового стекла.

Результаты ДТА шлакового камня с добавкой извести имеющей активность 65% приведены на рисунке 2. Первый эндотермический эффект при 140°C, как для составов с известью имеющий активность 54% обусловлен потерей свободной и адсорбционной воды, связанный с гелевой и субмикрористаллической фазой цементирующих веществ тоберморитового геля и CSH (I).



А – 5% извести/ 95% шлака;



Б – 10% извести/90% шлака;

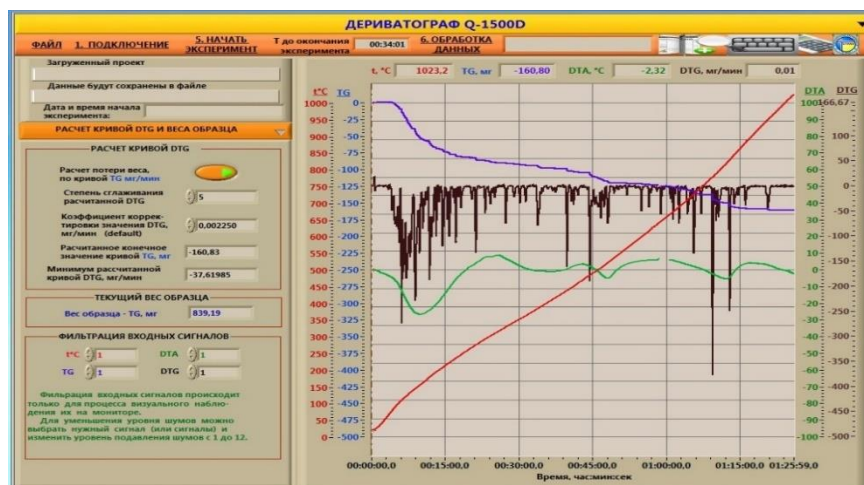


В – 15% извести/85% шлака. Активность извести – 65%.

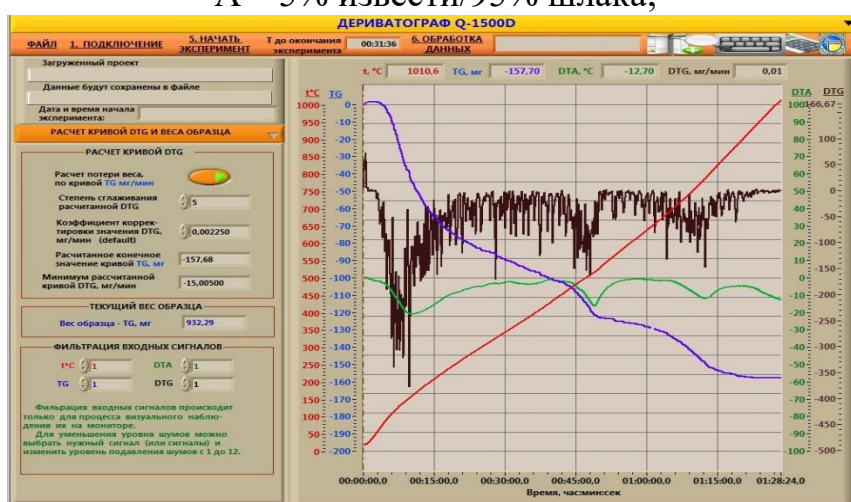
Рисунок 4.3 – Термограммы известково-шлакового вяжущего

Высокоосновные гидросиликаты кальция не были обнаружены тепловизором при содержании извести 5%. Увеличение концентрации извести в затвердевшем шлаковом камне до 10-15% не привело к значительному изменению образования высокощелочных гидросиликатов кальция. Эндоэффекты, соответствующие 420°C и 735-745°C, чрезвычайно слабы; в то же время, как и с известью с меньшей активностью, образуется гидроксид кальция (конечный эффект при 480°C); интенсивность эндоэффекта остается слабой при 10% (рисунок 4.3, кривая 2) добавке извести, а при 15% (рисунок 4.3, кривая 3) он соответствует таковому у аналогичной смеси с 54% -ной активностью извести. В то же время интенсивность экзоэффекта (при 890°C), соответствующего кристаллизации остаточного шлакового стекла, значительно ниже.

Увеличение активности извести до 78% (рисунок 4.4) привело к значительным изменениям в составе гидросиликатных фаз. Более определенный эндоэффект тоберморита наблюдается в области температур 220...250°C, усиливается эндоэффекты при температурах 420-440°C, а для составов с 10 и 15% добавки и при 740...760°C, которые могут быть отнесены к высокоосновным гидросиликатам кальция.



А – 5% извести/95% шлака;



Б – 10% извести/ 90% шлака;



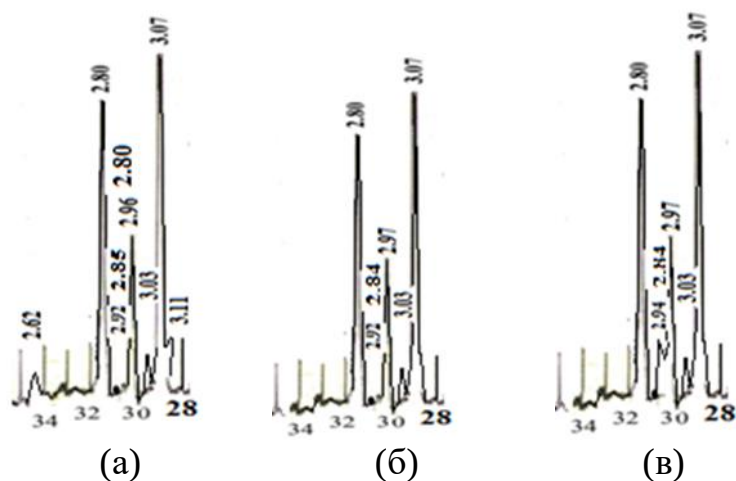
В – 15% извести/85% шлака. Активность извести – 78%.

Рисунок 4.4 – Термограммы известково-шлакового вяжущего
Изменения активности извести не приводят к пропорциональному изменению содержания гидрата кальция в затвердевшем камне, так, при

активности 54%, уже при введении 10% добавки шлак (рисунок 4.2, кривая 2) содержание гидрата окиси кальция значительно, еще больше оно в смеси с 15% извести. При активности 65% ввод 10% добавки еще не приводит к сколько-нибудь заметной кристаллизации Ca(OH)_2 и только при 15% эндотермический эффект при 480°C , соответствующий разложению гидрата кальция, аналогичен таковому на кривой 3 рисунок 4.2. Дальнейшее увеличение активности до 78% (рисунок 4.4) вновь приводит к увеличению пика соответствующий гидрату кальция уже при 10% добавки извести.

Таким образом, как увеличение содержания извести, так и повышение степени ее активности, сказывается на глубине протекания процессов разрушения исходного шлакового стекла, количестве и характере новообразований. Несмотря на то, что повышенное содержание извести и ее активность в целом и углубляет процесс гидратации, в тоже время происходит более раннее формирование менее устойчивых высокоосновных гидросиликатов кальция. Кроме того, самостоятельная кристаллизация Ca(OH)_2 в какой-то степени приводит к ее консервации, а, следовательно бесполезному избытку ее в системе на данном этапе процесса.

Рентгенофазовый анализ гидратированных ИШВ (рисунок 4.5) подтвердил характер образования гидросиликатных фаз установленный термографически. Главным новообразованием является тоберморит ($d=3,07; 2,97; 2,80; 1,845; 1,8384 \text{ \AA}^\circ$), в подчиненном количестве содержится с CSH (I) ($d=3,03; 2,80; 1,824 \text{ \AA}^\circ$). Для состава 10 и 15% извести характерно присутствие некоторого количества γ -гидрат C_2S ($d=2,92; 2,88; 2,85 \text{ \AA}^\circ$) и гидрата Ca(OH)_2 ($d=4,90; 3,11; 2,62; 1,922; 1,791 \text{ \AA}^\circ$).



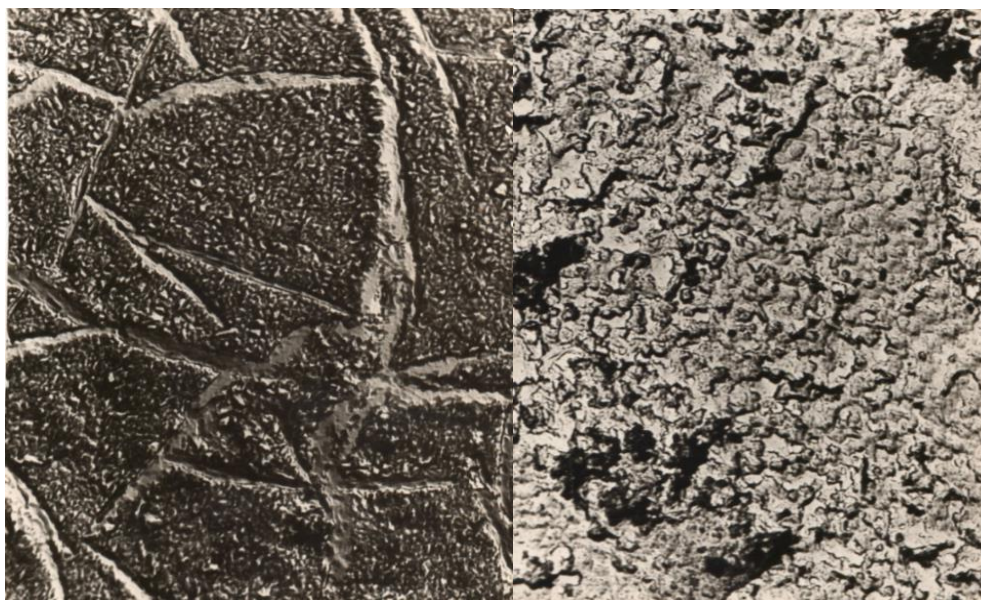
а – 5% извести/95% шлака; б – 10%извести/90% шлака; в – 15% извести/85% шлака. Активность извести – 78%

Рисунок 4.5 – Фрагменты дифрактограмм гидратированных известково-шлаковых вяжущих

Электромикроскопические исследования реплик со свежих скол гидратированных образцов при увеличении $\times 3500$ позволило выявить

структуру камня и морфологические особенности основных структурообразующих фаз.

В зависимости от содержания извести имеет место слабо развитый мелкобугровый рельеф с гладкими участками удлиненной формы. Области с различным рельефом поверхности не являются изолированными элементами структуры (рисунки 4.6, 4.7).



а

б



в

Рисунок 4.6 – Электронная микрофотография реплик с поверхности скола шлакового камня с добавкой 10% извести (х 14000)

При добавке 10% извести образуется сравнительно равномерная матрица гидросиликатов кальция, в которую погружены остальные фазы.

На электронномикроскопическом снимке (рисунок 4,6, 4,7) отмечены тонкокристаллические и пластинчатые образования плотной структуры, которые при сопоставлении данных других методов анализа (рентгенофазовый и ДТ) определяются как тоберморит; местами эти плотные образования пересекаются чешуйками и закручивающимися в трубочки пластинками, которые можно отнести к скрытокристаллическому CSH (I). При этом кристаллическая фаза плотно срастается с гелеобразной. Гелеобразная фаза соединяет кристаллическую часть в единый каркас без жесткого закрепления элементов структуры шлакового камня, снижая напряжение, возникающее в твердеющей структуре.

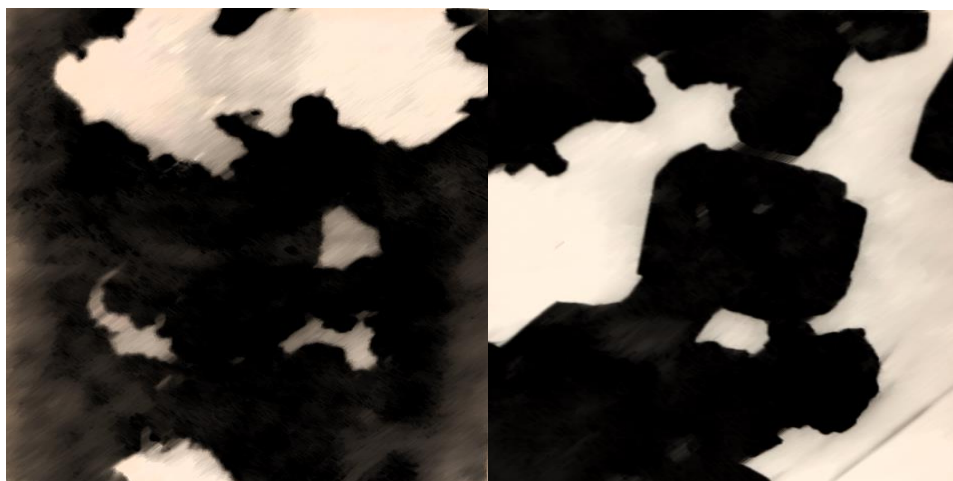
При увеличении $\times 14000$ в шлаковом камне с добавкой 10% извести видны кристаллы CSH (I), которые накапливаются в шарообразные агрегаты с диаметром 2-25 мкм (рисунок 4,8).



Рисунок 4.7 - Скопление кристаллов CSH (I) в шлаковом камне с добавкой 10% извести ($\times 14000$)

В рыхлой части глобул хорошо различны кристаллы игольчатой, волокнистой формы, длиной 0,1...1 мкм, пронизывающие в поперечном направлении отдельные агрегаты глобулы. Глобулы образовались, очевидно, на месте контакта зерен шлака с известью.

Встречаются крупночешуйчатые радиально-лучистые агрегаты-кристаллы гиролита. Кроме этих гидратов в затвердевшем камне наблюдается кристаллы тоберморита и α - гидрата C_2S (рисунок 4.8).



а

б

а Основные гидраты шлакового камня, содержание извести - 10%,
увеличение $\times 6000$, кристаллы тоберморита и CSH (I);
б-прорастание кристаллов α -гидрата C_2S и гиролита с гелеобразной фазой
CSH

Рисунок 4.8 – Основные гидраты шлакового камня с добавкой 10% извести
($\times 16000$)

На поверхности скола шлакового камня с 15% добавкой извести прослеживается блочно-ритмическая структура (рисунок 4.9). Некоторые блоки представлены как пакеты волокон гидросиликатов кальция, а некоторые содержат между собой параллельные кристаллы, их длина достигает до 15...20 мкм, а толщина – 1,5...2,0 мкм. Пластинчатые агрегаты, являющиеся, вероятнее всего, сростками портландита достигают до 10...25 мкм. Гелеобразная масса плотно срастается с кристаллической фазой шлакового камня. Кристаллическая фаза наблюдается в виде слоистых образований с выраженной спайностью. Из рисунка 4.11 видно, что при 15% добавке извести сформировалась плотная структура, в которой относительно равномерно распределены гидросиликаты и портландит. Для шлакового камня с 15% добавкой извести характерны чередование мелкозернистого рельефа поверхности излома с участками, имеющими в различных направлениях волокнистую структуру.



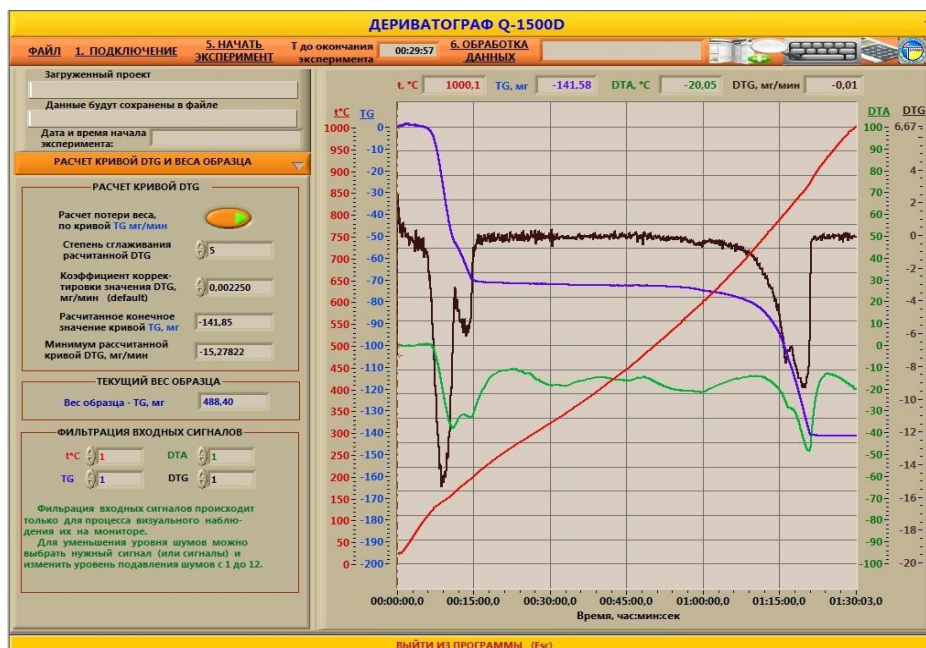
Рисунок 4.9 – Тоберморитовые кристаллы и портландитовые блоки, сросшиеся с гелеобразной фазой (шлаковый камень с 15% добавкой извести) x14000

Второй активирующей добавкой являлась ПЭФ. В отличие от извести, она отличается многокомпонентным составом. В ней содержится большое количество обожженной глины, неразложившейся и негашеной извести. Состав ПЭФ содержит небольшое количество первичного минерального цемента, кроме того, он чрезвычайно насыщен щелочным компонентом в виде сульфатов калия и натрия. В ПЭФ Шымкентского цементного завода общее содержание оксидов щелочных металлов колеблется от 1,2% до 8,5%. В исследуемой партии ПЭФ это содержание составило 4,0%.

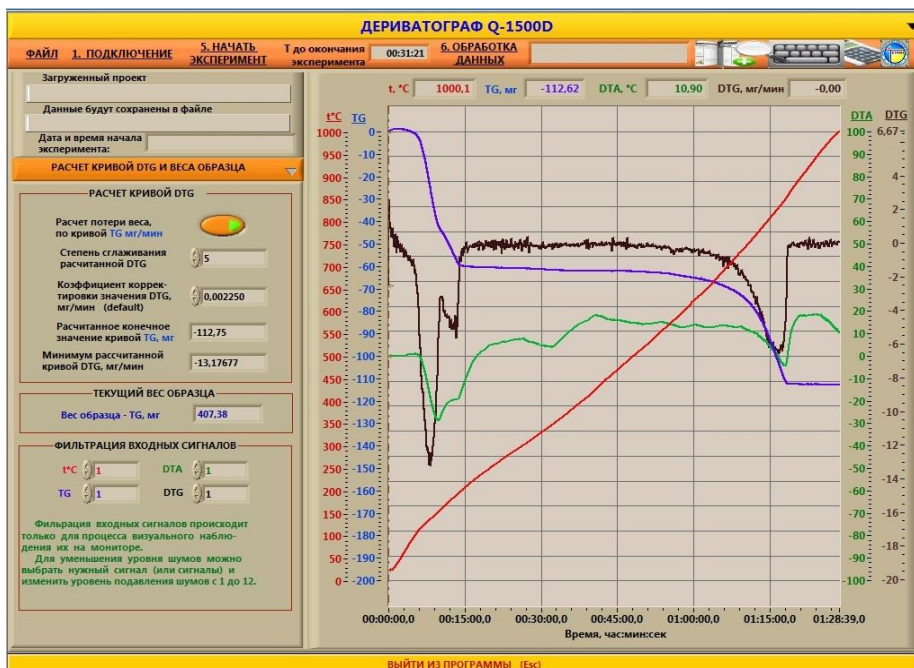
После добавления ПЭФ в шлак процессы гидратации на ранних стадиях твердения были более глубокими в пылев шлаковых вяжущих, чем в известковошлаковых вяжущих при тех же условиях твердения. Эти процессы усилились при увеличении количества добавок.

На термограммах затвердевшего камня (рисунок 4.10) фиксируются глубокие эндоэффекты при 140⁰С, которые связаны с первичным процессом гидратации – за счет потери воды из субмикроструктурных образований. В то же время, для всех составов не отмечаются пики в области температур 220...250⁰С и 410...440⁰С, что говорит, вероятно об отсутствии тоберморитовой фазы и высокоосновного гидросиликата типа α -гидрат C_2S , характерных для ИШВ камня. Характер гидросиликатных новообразований в составе, содержащем 8% пыли, может быть определен как CSH (I). Это иллюстрируется определяющим экзоэффектом при температуре 820⁰С (рисунок 4.10), хотя интенсивность его мала. С ростом содержания добавки уменьшается максимум при 820⁰С, одновременно появляются небольшие эндоэффекты и при 560...580⁰С и при 720⁰С, что может свидетельствовать об образовании небольшого количества высокоосновных гидросиликатов кальция переменного состава. Наибольшая пестрота состава

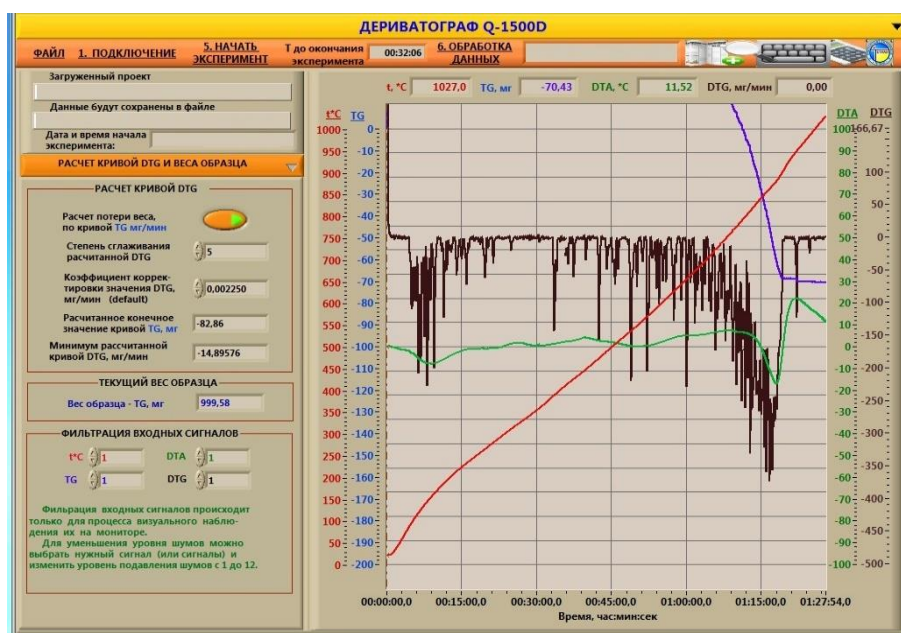
гидросиликатов кальция характерна для смеси с 20% пыли (рисунок 4.10, кривая 3).



А – 8% пыли/92% шлака;



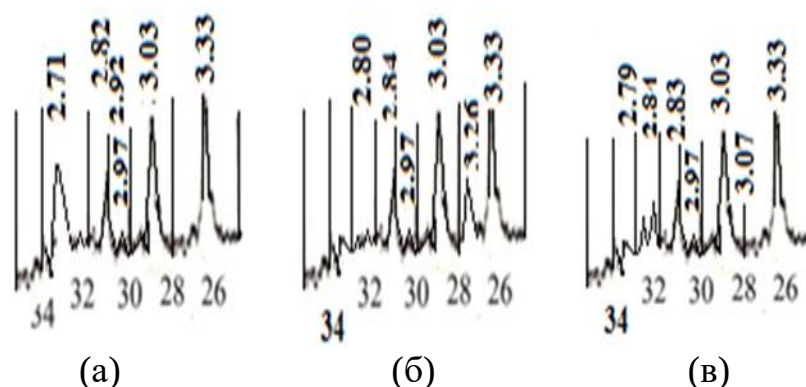
Б – 12% пыли/88% шлака;



В – 20% пыли/80% шлака.

Рисунок 4.10 – Термограмма пылешлакового вяжущего

Термографические определения хорошо согласуются с рентгенофазовым анализом. На всех рентгенограммах (рисунок 4.11) хорошо дифференцируются основные максимумы CSH(I) ($d=3,03$; $2,80$; $1,825\text{\AA}$), интенсивность которых растет с увеличением количества добавки. В тоже время, с ростом содержания добавки усиливается пестрота гидросиликатных образований за счет появления высокоосновных гидросиликатов кальция типа α -гидрат C_2S ($d=3,26$; $3,07$; $2,88$; $1,910\text{\AA}$) и C_2SH ($d=2,92$; $2,88$; $1,910\text{\AA}$), особенно характерно это для состава с 12% - ми пыли.



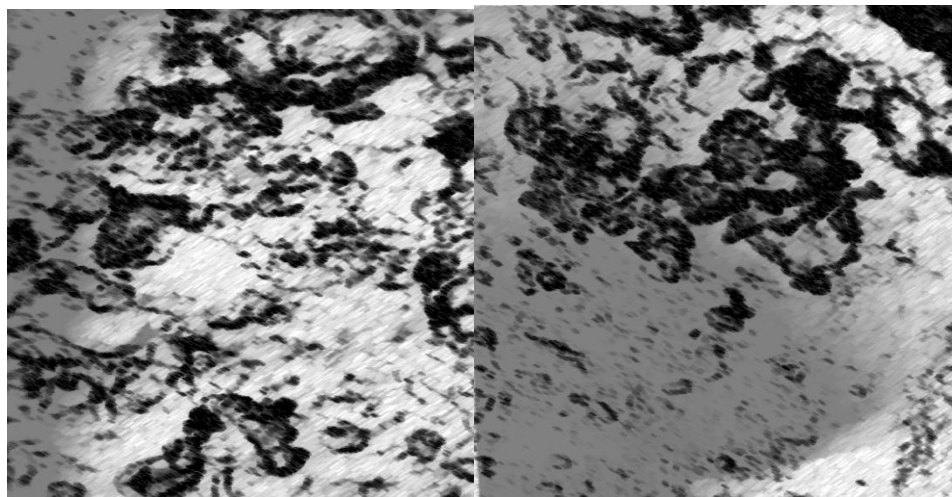
а – 8% пыли/92% шлака; б – 12% пыли/88% шлака; в– 20% пыли/80% шлака.
Содержание Na_2O+K_2O в пыли 4,0%

Рисунок 4.11 (а, б, в) – Фрагменты дифракторграмм гидратированных пылешлаковых вяжущих

Электронномикроскопические исследования гидратированных пылешлаковых смесей показали, что в отличие от известковошлаковых составов для них характерно менее равномерное распределение новообразований по объему образца, неравномерная зернистость, связанная с агрегированием-срастанием пластинчатых новообразований.

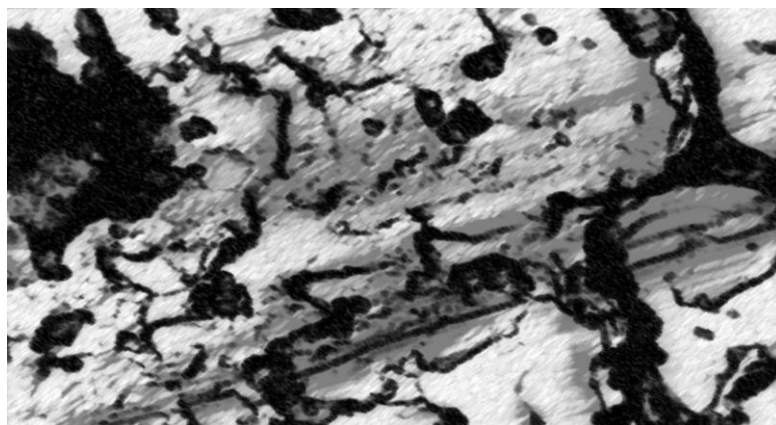
Микроструктура образцов на пылешлаковом вяжущем характеризуется в основном довольно плотным скоплением ромбических кристаллов кальцита (рисунок 4.12 а, в), сцементированных тонкозернистой массой тоберморита (рисунок 4.12 а, б) и гелеобразной гидросиликатной массой (рисунок 4.12 в).

Таким образом, результаты рентгенофазового, ДТ - и микроскопического методов анализов показали, что основными продуктами гидратации фосфорношлаковых вяжущих с активизаторами твердения (воздушная известь и пыль электрофильтров) являются тоберморитовый гель с субмикроромбическими новообразованиями CSH (I). Образование их в гидратируемых шлаковых вяжущих благоприятно действуют на прочность и долговечность, т.к. низкоосновные гидросиликаты кальция обладают наибольшей прочностью среди гидратных фаз затвердевшего цементного камня. Увеличение количества активизирующих добавок приводит к образованию высокоосновных гидросиликатов кальция типа α - и γ – гидрата C_2S , которые обволакивают ромбические кристаллы портландита ($Ca(OH)_2$).



а

б



В

Рисунок 4.12 – Электронная микрофотография реплики с поверхности скола шлакового камня с добавкой 12% ПЭФ (х 14000)

Данные по определению оптимального состава сырьевых смесей на основе фосфорношлаковых вяжущих с активаторами (известь воздушная и вторичная цементная пыль электрофильтров), pH и активности сырьевой смеси представлены в таблицах 4.4 и 4.5.

Оптимальное содержание извести в известковошлаковом растворе также зависит от активности исходного известкового компонента. При 78% активности извести оптимальное количество ее добавки составляет 10%, при этом прочность на сжатие известковошлакового камня составляет $R_{сж} = 41,0$ МПа, а при изгибе - $R_{изг} = 5,5$ МПа. При пониженной активности извести оптимальная концентрация добавок увеличивается на 15% в случае извести с активностью 65% ($R_{сж} = 38,5$ МПа, $R_{изг} = 5,2$ МПа) и на 20% в случае извести с активностью 54% ($R_{сж} = 37,9$ МПа, $R_{изг} = 4,8$ МПа).

Добавка ПЭФ также увеличивает активность вяжущих, но только до определенного уровня (таблица 4.4). Активирующий эффект ПЭФ выше, чем у извести, поскольку добавление ПЭФ создает более щелочную среду. Пыль из электрофильтров способствует образованию гидросиликатов кальция. Кроме того, цементная пыль действует как кристаллическая затравка, создающая центры кристаллизации новообразований.

По мере увеличения содержания щелочи в ПЭФ общее количество добавок уменьшается: в смесь следует добавлять 20% ПЭФ при концентрации щелочи 1,2%; 14% - при концентрации 1,9%; 12% - при концентрации 2,8 - 4,0%; 10% - при концентрации 8,5%. Наилучшая прочность ($R_{сж} = 57,8$ МПа, $R_{изг} = 6,8$ МПа) была достигнута при 4% активности ПЭФ и 12% содержания добавки.

Наиболее распространенной фазой в шлаке является стеклообразование, которое имеет более высокие гидравлические свойства, чем полнокристаллическая фаза из-за значительной скрытой энергии вяжущего. Добавление небольшого количества щелочи и сульфатов в стекловидный шлак активирует его скрытые гидравлические свойства. Воздействие

щелочных активаторов создает щелочную среду, необходимую для реакций между компонентами шлакового стекла.

Мы исследовали взаимосвязь между значениями pH исходных смесей и прочностью образцов (рисунок 4.13 и 4.14).

Рисунок 4.13 - Зависимость порога прочности $R_{сж}$ от pH для смесей из

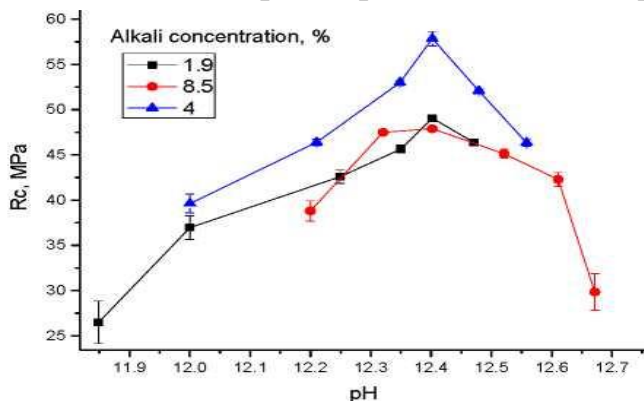
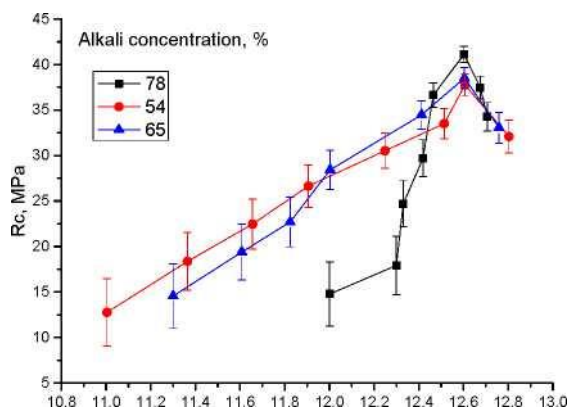


Fig. 13 Dependence of R_c strength threshold on pH for

фосфорного шлака и извести

Рисунок 4.14 - Зависимость порога прочности $R_{сж}$ от pH для смесей из



фосфорного шлака и пыли электрофильтров

Из рисунков 4.6 и 4.7 видно, что наибольшая прочность на сжатие образцов из известково-шлаковых смесей соответствует pH 12,60, а образцов из шлакопылевых смесей - pH 12,40.

Степень гидратации ФШВ в основном зависит от вида и содержания активизирующих компонентов. Установлено, что степень гидратации вяжущих колеблется в пределах 10...15%. При этом степень гидратации

твердеющих систем значительно возрастает с увеличением активности извести с 54 до 78%, а также от количества оксидов щелочных металлов ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) содержащихся в ПЭФ. Скорость протекания физико-химических процессов в шлаковой системе определяется величиной pH-среды, причем на основе проведенных исследований установлено, что оптимальная величина pH-среды для ИШВ соответствует 12,60, а для ПШВ -12,40. Полученные результаты иллюстрируют (таблица 4.6) зависимость концентрации OH^- в твердеющей системе от активности и содержания воздушной извести и ПЭФ. При активности извести 78% ее оптимальное содержание в вяжущем составляет 10% от массы фосфорного шлака, а pH-среды при этом равна 12,60. Для создания требуемой концентрации гидроксильных групп в системе при активности извести 65 и 54 % ее содержания в вяжущих соответственно возрастает до 15 и 20 % [71].

Таблица 4.6 – Оптимальный состав фосфорно-шлакового вяжущего

№	Состав, %		
	ПЭФ	Известь	ФШ
1	12	-	88
2	-	10	90

Активизирующая способность ПЭФ преимущественно зависит от содержания оксидов щелочных металлов ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$). При содержании ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) в пыли 1,9%, оптимальное количество последней в вяжущем составляет 14%. Увеличение щелочей до 4,0 и 8,5% приводит к снижению расхода пыли в вяжущем соответственно до 12 и 10%.

4.2 Влияние дисперсности барханного песка на прочность газосиликатного бетона

В создании барханных песков участвовали вековые природные процессы. Они естественно приносили соответствующие химические и физические изменения в структуру песка, ослабляя её прочностные свойства. Поэтому при дроблении барханных песков потребляется количество энергии на 10-15% меньше по сравнению с чистыми песками. В результате повышается производительность заводских помольных агрегатов и уменьшается их износ [112].

При производстве газосиликатобетона грубодисперсные кремнеземистые материалы непригодны, так как газосиликатобетонная смесь может расслоиться. Очень высокодисперсные требуют повышенного расхода воды для нормальной вязкости растворной смеси, а это отрицательно отражается на влажности изделий после твердения и приводит к уменьшению трещиностойкости, кроме дисперсности минерального сырья (вяжущего, кремнеземистого компонента) на свойства газосиликатобетона влияет гранулометрия. Однако этому вопросу до сих пор уделяется недостаточное внимание. Ясно одно, что по мере измельчения материала изменяется его гранулометрия, при этом на первой стадии измельчения

плотность материала достигает своего максимума и это отвечает наиболее плотной упаковке зерен, а следовательно, и оптимальной гранулометрии [6].

Для получения газобетона пониженной плотности применяются композиции вяжущего с кремнеземистым компонентом, характеризующиеся повышенной удельной поверхностью. При этом интенсифицируется процесс твердения и достигается требуемая плотность за счет уменьшения толщины межпоровых перегородок и, наоборот, для получения газосиликатобетона повышенной плотности требуются композиции, имеющие меньшую суммарную удельную поверхность. В этом случае снижение удельной поверхности следует осуществлять в рациональных пределах, так как грубодисперсные композиции непригодны для формирования макроструктуры газосиликатобетона. Проведенные исследования авторами свидетельствуют о том, что прочность газосиликатобетона при увеличении удельной поверхности флотохвостов повышается до определенных пределов, после чего следует ее снижение. Это объясняется тем, что с увеличением удельной поверхности без роста активности смеси, т.е. при том же количестве вяжущего, прочность уже не возрастает, так как повышается концентрация насыщенного раствора. По-видимому, от дисперсности кремнеземистого компонента зависит скорость его растворения, а, следовательно, и изменение степени пересыщения жидкой фазы, определяющее структуру и прочность возникающего кристаллического сростка [141].

Тонкодисперсные компоненты обеспечивают более плотное использование вяжущих свойств, так как при этом повышается действующая общая поверхность реагирующих компонентов. Реакция при гидротермальных условиях протекает более быстро и полно, что оказывает положительное влияние на формирование структуры газосиликатобетона, прочность которой возрастает за счет образования цементирующего вещества низкой основанности [115].

Таким образом, дисперсность компонентов во многом определяет свойства газосиликатобетона.

Профессор К.К.Куатбаев [55] изучал барханные пески Казахстана. Образцы из кварцевого, полевошпатового и барханного песков естественного гранулометрического состава с различным содержанием активной извести были подвергнуты автоклавной обработке при 0,9 МПа в течение 6 ч. При сравнимых условиях образцы на кварцевом барханном песке показали большую прочность. Однако прочность оптимальных составов на полевошпатовом песке также удовлетворяла предъявляемым требованиям массового жилищного и промышленного строительства.

Анализ данных Б.Н.Виноградова [118], из которых с исчерпывающей полнотой видно влияние минералогического состава песков на прочность образцов, подвергнутых автоклавной обработке.

Необходимость учета рациональной гранулометрии, при производстве автоклавных строительных материалов, становится особенно реальной при

изготовлении прочных изделий, так как зерновой состав песка является одним из основных факторов прочности автоклавного материала.

Для обеспечения прочностных характеристик необходимо получить материал, если найти наивыгоднейшее соотношение между количествами входящих в состав автоклавного материала: цементирующим веществом и зерновым составом заполнителя, так как на одних и тех же заполнителях, в известных условиях можно получать материалы с разными прочностными показателями. Это соотношение и определит состав автоклавного материала. Наивыгоднейшее соотношение между цементирующим веществом и зёрнами заполнителя может быть достигнуто при рациональном подборе зернового состава заполнителя, что позволит сократить качество цементирующего вещества. Поэтому при подборе состава газосиликатобетона ставилась цель – уточнить степень влияния гранулометрии песка на расход цементирующей связки и прочность материала.

Качественная оценка гранулометрии песка производилась по его величине удельной поверхности и пустотности.

Полиминеральные барханные пески Шардаринского месторождения имеют $M_{кр}=0,62$. Преобладающей стандартной фракцией в песке является наиболее мелкая 0,14мм. Фракций 0,6 мм и 0,3 мм содержится незначительное количество. Фракции мельче 0,14 мм содержатся около 45%. Песок естественной гранулометрии имеет удельную поверхность 480 см²/г и пустотность 38,5%.

Можно считать, что естественные пески содержат две наиболее мелкие фракции: 0,14 и мельче 0,14 мм.

В основу методики работы было принято положение, которое отражает зависимость прочности автоклавного материала от структуры: исходные смеси песка-заполнителя должны иметь минимальную пустотность и наибольшую удельную поверхность [142].

Обогащение местных мелкозернистых песков более крупным привозным песком экономически себя не оправдывает. Необходимо было найти возможность получить более плотные песчаные смеси с использованием только двух фракций, содержащихся в самом песке.

Одним из требований инструкции по изготовлению ячеистого бетона (СН 277-80) к сырью, это требования по дисперсности. Величина дисперсности барханного песка (кремнеземистого компонента) сказывается на характере новообразований при автоклавной обработке и влияет на прочностные характеристики ячеистого силикатного бетона, а также влияет на стойкость ячеистого бетона в процессе эксплуатации.

Рекомендуемая удельная поверхность, согласно нормативному документу, кремнеземистого компонента для ячеистого силикатного бетона разной плотности должна находиться в пределах 2300-2700 см²/гр при плотности 600 кг/м³ и 2000-2300 см²/гр при плотности 700 кг/м³ [142].

Прочность растворной составляющей ячеистого силикатного бетона при увеличении удельной поверхности барханного песка также повышается

(рисунок 4.15).

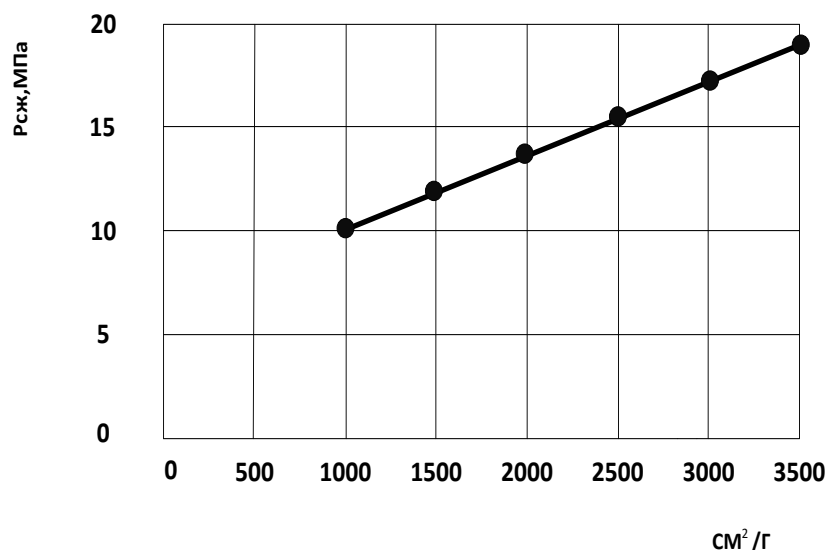


Рисунок 4.13 – Влияние тонкости помола барханного песка на прочность раствора газосиликатного бетона

Как и в случае с обычным песком, с увеличением дисперсности барханного песка растет скорость его растворения, а значит, изменяется степень пересыщения жидкой фазы, определяющее структуру и прочность, возникающего кристаллического сростка. Как видно из рисунка 4.15 рост прочности газосиликатного бетона линейно растет до удельной поверхности $3200 \text{ см}^2/\text{г}$, дальнейшее увеличение помола до тонкости $4000\text{--}5000 \text{ см}^2/\text{г}$ приводит к незначительному приросту прочности, а затраты на помол значительно возрастают, что в производственных условиях также экономически не целесообразны.

Рекомендуемой оптимальной поверхностью дробления барханного песка принимается величина равная $2300\text{--}2700 \text{ см}^2/\text{г}$, что близка к удельной поверхности дробления цемента в заводских условиях.

4.3 Оптимизация состава газосиликатного бетона

4.3.1 Моделирование процесса гидратации шлаковых вяжущих с оптимизацией технологии получения бетонов

Получение адекватной математической модели, описывающей влияние содержания фосфорношлаковых вяжущих, песка и формовочной влажности на целевые показатели (вяжущих, барханных песков и волластонита). Математическое моделирование технологических процессов (подбор состава газосиликатного бетона, исследование физико-механических свойств) упрощает их исследование и облегчает решение ряда задач в частности, связанных с выбором оптимальных режимов проведения процесса. Проблема математического моделирования становится особо актуальной, в связи с

непрерывным ростом применения компьютерной техники, облегчающей разработку и использование математических моделей. Для проведения эксперимента были приняты исходные параметры для определения предела прочности на сжатие, или предела прочности при изгибе, на кинетику образования искусственного камня. Нами использованы методы математического моделирования и оптимизации [143].

Приведенные ниже результаты решения данной задачи были получены с использованием специально разработанных программ для персонального компьютера системы Mathcad-14 и выполнены в три этапа:

- получение адекватной математической модели, описывающей влияние на пределы прочности при изгибе ($R_{изг}$), или пределы прочности при сжатии ($R_{сж}$), количества фосфорношлаковых вяжущих, количества песка, количества формовочной влажности на целевые показатели;

- имитационное моделирование влияния вышеуказанных факторов на целевые показатели;

- поиск выбора оптимальной величины $R_{изг}$, $R_{сж}$, количества фосфорношлаковых вяжущих, песка и формовочной влажности.

В качестве основного критерия качества газосиликатного бетона нами выбран показатель $R_{изг}$ или $R_{сж}$ [Y].

Далее этот выходной показатель обозначен как:

Y – показатель $R_{изг}$ и $R_{сж}$, МПа.

В качестве входных переменных (факторов) использованы следующие параметры:

X_1 – количества вяжущих материалов в смеси, %;

X_2 – количества барханных песков в смеси, %;

X_3 – количества волластонита в смеси, %.

С целью уменьшения количества экспериментов для получения математической модели был использован метод полного факторного эксперимента на трех уровнях – при максимальном, среднем и минимальном значениях каждого и входных переменных (факторов). На основе предварительного анализа исследуемой системы выбраны следующие диапазоны изменения этих факторов (таблица 4.7). В основе методов статического планирования эксперимента лежит использование упорядоченного плана расположения точек (входных параметров опытов) в факторном пространстве. Нами выполнены все расчеты с использованием натуральных (физических) значений параметров с использованием методов регрессионного анализа [144], реализованных программно.

Приведенные данные в экспериментальной части данной работы, количества вяжущих материалов (X_1) колеблется в пределах от 55% до 16%, барханного песка (X_2) от 40% до 70% и волластонита (X_3) от 5% до 14%.

Таблица 4.7 – Диапазоны исследования режимных параметров

Факторы	X ₁	X ₂	X ₃
Нижний уровень	0,16	0,70	0,14
Средний уровень	0,355	0,55	0,095
Верхний уровень	0,55	0,4	0,05

Для получения точной математической модели числовые данные известны и других добавок включены в данные вяжущих материалов.

Целью данного исследования являлось определение значимых коэффициентов b_i математической модели, адекватно описывающей исследуемый процесс, имеющий вид уравнения регрессии.

Для получения адекватной математической модели, описывающей влияние на пределы прочности при изгибе ($R_{изг}$), или пределы прочности при сжатии ($R_{сж}$)

$$R_n = b_o + \sum_{K=1}^n \sum_{i=1}^n b_k X_i^k \quad (4.3)$$

$$\begin{cases} b_1 \leq x_1 \leq c_1 \\ b_2 \leq x_2 \leq c_2 \\ b_3 \leq x_3 \leq c_3 \end{cases}$$

Аппроксимирующая функция $R_n(x_1)$ (4.3) и Y_i значения экспериментальных данных.

$$S = \sum_{i=0}^n [R_4(X_i) - Y_i]^2 \rightarrow \min \quad (4.4)$$

Для нахождения параметров b_k в (4.3) составим систему уравнений:

$$\begin{cases} (n+1)b_1 + s_1b_2 + s_2b_3 + s_3b_4 = R_1 \\ s_1b_1 + s_2b_2 + s_3b_3 + s_4b_4 = R_2 \\ s_2b_1 + s_3b_2 + s_4b_3 + s_5b_4 = R_3 \\ s_3b_1 + s_4b_2 + s_5b_3 + s_6b_4 = R_4 \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\text{Здесь } S_m = \sum_{i=0}^n X_i^m; m = \overline{1, 2k}$$

$$R_j = \sum_{i=0}^n X_i^j Y_i; j = \overline{0, k}$$

Для упрощения вычисления примем:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

$$Z=x_1+x_2+x_3;$$

$$Z^2=x_1^2+x_2^2+x_3^2;$$

$$Z^3=x_1^3+x_2^3+x_3^3;$$

$$Z^n=x_1^n+x_2^n+x_3^n;$$

Запишем систему (4.4), заменяя суммы известными значениями.

Далее решая, систему методом Гаусса или другими известными математическими методами находим параметры $b_1, b_2, b_3... b_n$ модельного уравнения.

$$Y=b_1+b_2(x_1+x_2+x_3)+b_3(x_1^2+x_2^2+x_3^2)+b_4(x_1^3+x_2^3+x_3^3) \quad (4.6)$$

($Y=Y_{\text{расч.}}$ – расчетные значения выхода).

Для получения коэффициентов математической модели (4.5) были применены программно реализованные методы регрессивного анализа [144, 145], поэтому все расчеты выполнены в натуральном (физическом) масштабе и не требуют достаточно трудоемких пересчетов для масштабного перехода.

Всего были проведены 21 опытов и проведена оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии и проверки адекватности.

В таблице 4.8 приведены результаты экспериментов, аппроксимирующей функции и расчетные результаты (4.5), а в таблице 4.9 приведены найденные значения коэффициентов уравнения регрессии (4.5) для режима $S=700\text{кг/м}^3$ соответственно.

Таблица 4.8 – Результаты экспериментов, аппроксимирующей функции и расчетные результаты (4.5) для режима $S=700\text{кг/м}^3$

№ опыта	Входные данные			Выход $R_{\text{сж}}$		Выход $R_{\text{изг}}$		Разница $R_{\text{сж}}$ $Y_{\text{эксп.}} - Y_{\text{расч.}}$	Относительная погрешность
	X_1	X_2	X_3	$Y_{\text{эксп.}}$	$Y_{\text{расч.}}$	$Y_{\text{эксп.}}$	$Y_{\text{расч.}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,55	0,4	0,05	6,5	6,3214	5,8	5,8079	0,1786	0,0016
2	0,485	0,45	0,065	6,9	8,8972	4,9	4,8612	0,028	0,0041
3	0,42	0,5	0,08	7,5	7,9284	3,7	3,6543	-0,4286	0,0135

4	0,355	0,55	0,095	7,8	7,4023	2,5	2,4971	-0,1023	0,0014
5	0,29	0,6	0,11	8,1	8,0964	1,8	1,9562	0,0036	0,0004
6	0,225	0,65	0,125	8,4	8,3652	1,2	1,3210	0,0348	0,0041
7	0,16	0,7	0,14	8,1	7,8564	1,4	1,7123	0,2413	0,0211
								Средняя погрешность = 0,0071	

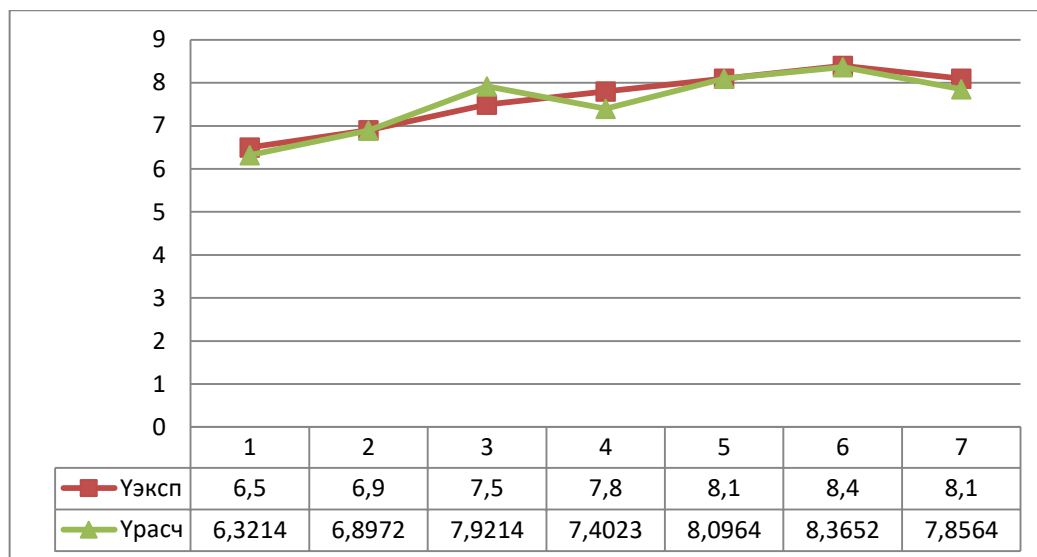
Продолжение таблицы 4.8

Таблица 4.9 – Коэффициент уравнения регрессии для определения прочности на сжатие и на изгиб для режима $S=700\text{кг/м}^3$

Коэффициент уравнения регрессии для определения прочности на сжатие	
№	значение
b_1	7,5487
b_2	-0,4561
b_3	0,9221
b_4	-1,5839
Коэффициент уравнения регрессии для определения прочности на изгиб	
b_1	5,6135
b_2	-0,2743
b_3	1,5781
b_4	-0,9823

Проверка значимости по критерию Стьюдента [146] показала, что все 4 найденных коэффициента значимы.

На рисунках 4.16 (прочность на сжатие) и 4.17 (прочность на изгиб) приведены графики сравнения расчетных Y_{Γ_i} (■) и экспериментальных Y_i значений выхода для каждого опыта, а на рисунке 4.16 приведен график зависимости изменения ошибки аппроксимации для данного опыта.



$Y_{\text{эксп}}$ — экспериментальные значения данных; $Y_{\text{расч}}$ — расчетные значения данных; n — количество экспериментов.

Рисунок 4.16 – Сравнение расчетных и экспериментальных данных для каждого опыта ($R_{\text{сж}}$) при $S=700 \text{ кг/м}^3$

Из приведенного графика видно, что ошибка аппроксимации небольшая, в таблице 4.14 приведены численные значения ошибок.

Дополнительно был использован критерий пригодности приближения [146], так называемый R-квадрат. Критерий R-квадрат может принимать значения только от нуля до единицы и чем ближе он к единице, тем лучше параметрическая модель приближает исходные данные.

Для его определения вначале вычисляем критерий SSE (Sum of squares due to error) – сумма квадратов ошибок по формуле:

$$SSE = \sum_{k=1}^n W_k \cdot (y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (4.7)$$

Критерий R – квадрат определяется как отношение суммы квадратов относительно регрессии SSR к полной сумме квадратов (SST), т.е. получено:

$$SSR = \sum_{k=1}^n W_k \cdot (\hat{y}_k - y_k)^2 \quad (4.8)$$

$$SST = \sum_{k=1}^n W_k \cdot (y_k - y_k)^2 \quad (4.9)$$

$$R - \text{квадрат} = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.10)$$

где: y_k – среднее значение экспериментальных (исходных) данных.

В результате расчетов по этим формулам получены значения:

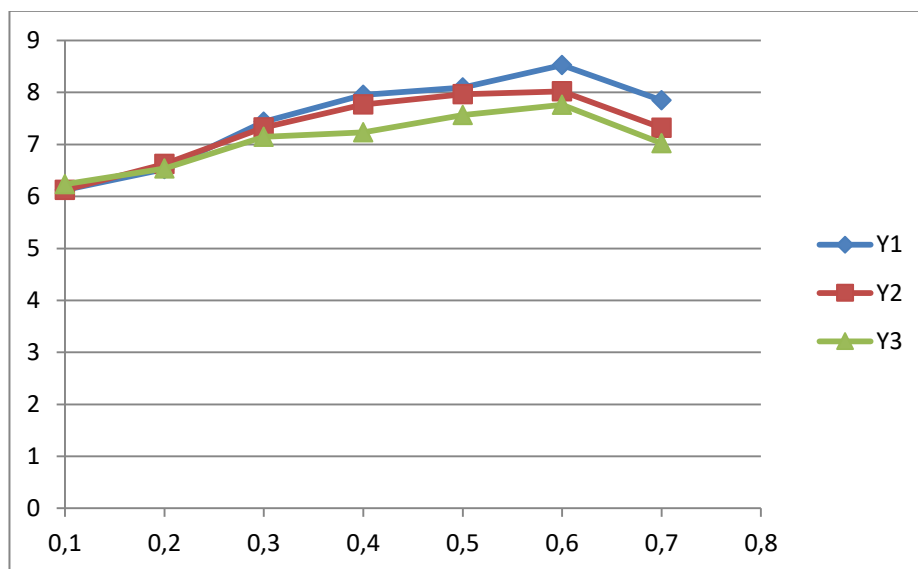
$$SSE=0,05225469; SSR=0,70947548; SST=0,76173017$$

Получено значение $R^2=0,9314$, т.е. его значение достаточно близко к 4.3, что дополнительно подтверждает адекватность полученной математической модели (4.5).

Проведя компьютерное имитационное моделирование с использованием уравнения (4.5) и найденных параметров модели нами получен график зависимости Y от значений фактора X_1 , показанный на рисунке 4.17.

На этих графиках использованы следующие обозначения значений переменных (таблица 4.6):

$$\begin{array}{lll} 0,1 \leq X_1 \leq 0,7; & X_2=0,7; & X_3=0,14 \text{ нижний уровень} \\ & X_2=0,55; & X_3=0,095 \text{ средний уровень} \\ & X_2=0,4; & X_3=0,05 \text{ верхний уровень} \end{array}$$



Y_1 – при низких, Y_2 – при средних, Y_3 – при высших X_3

Рисунок 4.17 – (Б) – зависимость Y от X_1 при низких, средних и высших значениях X_2 и X_3 при $S=700\text{кг/м}^3$

Полученный график иллюстрирует влияние режимных параметров X_1 на положение экспериментальной точки.

Точное значение параметров оптимального режима найдем путем нахождения минимума функции (4.5). Для этого нами применен метод нелинейного программирования оптимизации квазиньютоновским алгоритмом [146] при начальных значениях всех искомых параметров равных нулю и граничных условиях в диапазонах:

$$0,1 \leq X_1 \leq 0,7$$

$$0,4 \leq X_2 \leq 0,7$$

$$0,05 \leq X_3 \leq 0,14$$

Поиск оптимума с использованием данного алгоритма, реализованного в системе Mathcad – 14 для следующих результатов.

Наилучший режим для данного диапазона X соответствует значимой (минимум Y) в соответствии с рисунком 4 ($X_3=0,125$) $S=700 \text{ кг/м}^3$

$Y = 8,3652$; Y предел прочности при сжатии, МПа

$X_1 = 0,65$; количества вяжущих,

$X_2 = 0,3$; количества песка,

Наихудший режим для данного диапазона X (максимум Y), (кривая при $X_3=0,05$):

$Y = 6,3214$; предел прочности при изгибе, МПа

$X_1 = 0,16$; количества вяжущих,

$X_2 = 0,7$; количества песка.

На основании полученных математических моделей сделан следующий вывод: прочность газосиликатного бетона изменяется в зависимости от количества фосфорношлаковых вяжущих, и в сторону увеличения. При этом определены области оптимальных значений фосфорношлаковых вяжущих, песка и формовочной влажности. Оптимальное значение количества фосфорношлаковых вяжущих необходимой для получения необходимой марки газосиликатного бетона находится в области 55-65% (оптимум 58%), при формовочной влажности 0,112.

Полученные математические модели подтверждают правильность экспериментального выбора оптимального состава газосиликатного бетона на основе фосфорношлаковых вяжущих и местных барханных песков, и кроме этого они были использованы для определения основных физико-механических свойств искусственного камня.

Многочисленные данные легли в основу СН 277-80 по критерию оценки качественного состава автоклавного ячеистого силикатного бетона. Таким важным критерием является величина «С» – отношение расхода тонкомолотого кремнеземистого компонента к расходу вяжущего.

В наших исследованиях кремнеземистым компонентом является тонкомолотый барханный песок, а вяжущим смесь тонкомолотой извести и электротермофосфорного шлака.

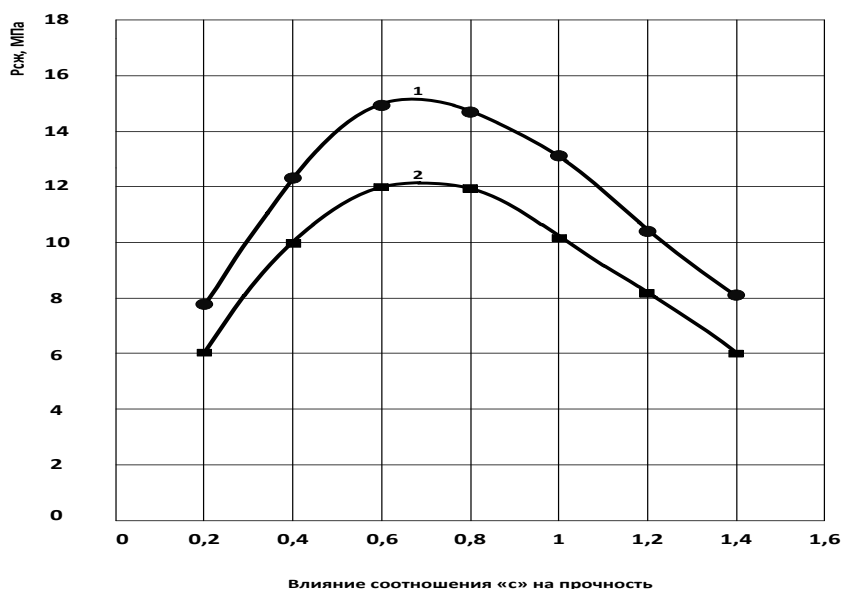
По СН 277-80 оптимальное соотношение величины «С» в случае использования известково-шлакового вяжущего лежит в пределах 0,6; 0,8; и 1,0 [147].

Оптимальным по прочности (рисунок 4.18) на барханном песке и известково-шлаковом вяжущем является соотношение величины «С» равная 0,78 (44:56) при 8,0% извести (кривая 1) в вяжущем. При таком соотношении сырьевых материалов, получается наиболее рациональный состав продуктов

новообразований, возникающих при автоклавной обработке. Снижение относительной величины прочности при увеличении содержания извести до 10% (кривая 2) связано с наличием свободной извести и образованием малопрочных $C_2SH(A)$ и, во-вторых, малая прочность образующихся кристаллических сростков на основе извести ($CaOH_2$) по сравнению с прочностью гидросиликатов. С учетом того, что в фосфорном шлаке CaO содержится 45-47% и увеличение в его составе до 10% извести приводит к его избытку и пересыщению раствора и тем самым наступает более ранняя гидратация новообразований и затем при изотермической выдержке в течение 10 часов происходит переход одних гидросиликатов в другие с соответствующим понижением прочности.

Установленное соотношение «С» равное 0,78 соответствует нормативному документу СН 277-80.

□



1 – прочность при 8% извести; 2 – прочность при 10% извести

Рисунок 4.18 – Влияние соотношения барханного песка к известково-шлаковому вяжущему «С» на прочность

Установлено, что оптимальная температура растворной смеси ячеистого бетона по литевой технологии на известково-шлаковом вяжущем соответствует нормативной и равно $40^{\circ}C$, а значение текучести раствора по Суттарду, принятой для плотности 600, 700 и 800 кг/м³, равной 21, 19 и 17 см, соответствует В/Т равному 0,53; 0,51 и 0,49 соответственно.

Расчет состава газосиликатного бетона проведен согласно СН 277-81 с учетом нестабильности сырьевых компонентов для повышения прочности и стойкости, и для регулирования сроков схватывания ячеистобетонной смеси в расчет включили 10% от веса сухих компонентов портландцемент при 8% извести в вяжущем, а также 3% полуводного гипса и 12% волластонита.

Составы ячеистого газосиликатного бетона разной плотности и основные физико-механические свойства приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Составы и основные свойства газосиликатного бетона.

№	Плотность	Расход материалов в кг на м ³					Вода литр	Al пудра	R _{сж} , МПа	R _{изг} , МПа
		Известково-шлаковое вяжущее	Молотый барханнский песок	Ц	Гипс	Волластонит				
1	600	262	207	55	16	5,4	288	570	4,32	1,92
2	700	306	242	63	19	6,3	324	520	5,35	2,14
3	800	350	265	72	22	7,2	350	450	4,65	2,11

Нами экспериментально установлено, что на известково-шлаковом вяжущем и молотом барханном песке с добавкой молотого волластонита можно получить газосиликатный бетон, удовлетворяющий современным требованиям. Причем молотый волластонит повысил прочностные показатели газосиликатного бетона на растяжение при изгибе [148].

4.3.2 Исследование морозостойкости газосиликатного бетона на основе шлаковых вяжущих и полиминеральных барханских песков

На стойкость газосиликатного бетона, при действии агрессивных факторов, как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации оказывают наибольшее влияние:

1. Вид сырьевых материалов, их характеристика, соотношение между ними.
2. Количество и качество пористой структуры.
3. Режим автоклавной обработки.

Эти условия, в свою очередь, накладывают известное влияние друг на друга, изменяя тем самым конечные свойства получаемого продукта.

Анализ механизма разрушения показал, что стойкость бетона в большой степени зависит от его физической структуры, то есть от характера пористости, размеров пор и капилляров. Это положение является особо важным для ячеистых бетонов, общая пористость которого доходит до 80% и выше. Однако общепризнанные критерии оценки структуры ячеистых бетонов с точки зрения стойкости еще не установлены. Отсутствует и общепринятая методика исследования структуры бетона.

Как отвечают исследователи, свойства ячеистого бетона в значительной степени зависят от режима автоклавной обработки, при которой происходит кристаллизованное структурообразование и изменение фазового состава. Оптимальный режим автоклавной обработки определяется составом смеси, свойствами используемого сырья и добавками, введенными в смесь. Исследователи установили, что прочность на сжатие, например, у

однокальциевого гидросиликата типа CSH(B) вдвое выше чем у тоберморита.

Мы в своих исследованиях, также как и немецкие ученые фирмы «Маза-Хенке», пришли к выводу, что режим автоклавной обработки 2+8+2 часа, при давлении 1,2 МПа и температуре 191⁰С, эффективнее с точки зрения повышения прочности и морозостойкости газосиликатобетона, чем режим 3+6+3 часа при давлении 0,8 МПа и температуре 174,5⁰С, существующий на старых заводах, работающих по польской технологии «Униполь». Медленный подъем и спуск давления в автоклаве в течение трех часов не оправдал теоретических расчетов в производственных условиях.

Основными внешними факторами, изменяющими во времени структуру и прочность ячеистых бетонов, являются многократное нагревание и охлаждение, замораживание и оттаивание.

Эти факторы могут действовать в виде различных многократно изменяющихся сочетаний и с разной интенсивностью. Необходимая стойкость бетона обеспечивается стойкостью его компонентов и структурой.

Водостойкость материалов зависит от общего водопоглощения, скорости насыщения и отдачи влаги, растворимости гидратированных соединений, плотности материала, средней плотности, активности смеси.

Степень заполнения пор материала водой имеет большое влияние на его долговечность. Если поры содержат воздух в количестве 20-30% от общей пористости, то влага может перемещаться в объеме газовой фазы без возникновения опасных напряжений в материале, когда равновесие между фазами нарушается. Степень водонепроницаемости также может зависеть от капиллярного всасывания.

Если бетонные заполнители связаны между собой хорошо растворимыми соединениями, а его структура достаточно совершенна, то повреждение его структуры под действием воды связано с растворением этих соединений. Снижение прочности изделий при длительном хранении в воде зависит также от активности смеси, которая влияет на водостойкость изделий. Таким образом, изделия из малоактивных смесей низкого уровня обладают большей водостойкостью [149].

Исследование, проведенное профессором К.К. Куатбаевым [7] показывает, что силикатные материалы на фосфорном шлаке теряют свои прочностные свойства после 3-х месячного хранения в воде всего на 9-12%.

Автор [7] доказал, что образцы на основе фосфорно-шлаковых вяжущих обладают хорошей водостойкостью за счет низкого водопоглощения, что объясняется применением шлаковых и известково-шлаковых вяжущих с пониженным соотношением В / Ц.

Прочность бетона на основе шлаков при хранении в воде не снижается, а постоянно увеличивается, что объясняется появлением новых силикатов кальция, гидратацией шлака, повышенной плотностью и прочностью силикатного бетона.

Результаты исследований свидетельствуют о высокой водостойкости газосиликатного бетона на фосфорно-шлаковых вяжущих [150]. Однако

следует отметить некоторое снижение прочности образцов. Причиной снижения прочности, по-видимому, является разрушающее действие активных молекул воды, адсорбированных на слабых местах поверхности гидросиликатов кальция, и процесс их растворения.

Морозостойкость бетона является весьма важным фактором, определяющим их долговечность.

Это способность ячеистого бетона в насыщенном водой состоянии выдерживать требуемое по сроку службы конструкции или изделия определенное число циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Применение изделий из ячеистого бетона главным образом в качестве ограждающих конструкций предъявляет к ним требования высокой стойкости при испытании на попеременное замораживание и оттаивание, что требует проверки на воздействие таких факторов, как колебание температуры, фазовый переход воды. Такое свойство воды, как увеличение своего объема на 9,2% при замерзании (что примерно в пять раз больше коэффициента температурного расширения каменных материалов), обуславливает возникновение структурных напряжений в бетоне и его разрушение [150]. Морозостойкость ячеистого бетона зависит не только от свойства материалов и состава бетона, но и от условий формирования его структуры, степени насыщения бетона водой, условий замораживания и оттаивания (скорости изменения температуры, частоты чередования циклов и т.д.), размера и вида конструкций, напряженного состояния и пористости. При этом имеет значение не только общий объем пор, но и их физический характер – разобщенные они или сообщающиеся. В процессе эксплуатации ячеистый бетон может увлажняться путем поглощения некоторого количества влаги из окружающей среды, или при прямом контакте бетона с водой. По имеющимся гипотезам разрушение бетона морозом происходит:

- от кристаллизационного давления льда;
- гидравлического давления, возникающего в капиллярах, вследствие отжатия воды из зоны замерзания;
- гидростатического давления в порах и капиллярах вследствие возникающих тангенциальных напряжений растяжения в стенках капилляров;
- вследствие различия в коэффициентах линейного расширения льда и скелета материала.

Существенным может оказаться также постепенное растворение мест контакта между отдельными кристалликами, сросшимися в кристаллизационную структуру. При этом избыток растворенного вещества как бы переносится в виде раствора и осаждается в порах на свободной поверхности этих кристалликов, в результате чего не наблюдается потеря веса материала, но прочность его постепенно понижается [151].

Особое место при эксплуатации изделий из газосиликатобетона в конструкциях имеет морозостойкость. Учитывая, что основное направление использования газосиликатобетона – это возведение ограждающих

конструкций в каркасно-монолитных зданиях и при малоэтажном строительстве, вопросы сохранения физико-механических характеристик при попеременном замораживании и оттаивании встает на первое место.

Особое свойство газосиликатобетона – множество замкнутых пор, заполняющихся водой только при особых условиях. Вследствие этого даже после продолжительного замачивания газосиликатобетона в воде центральная часть тестовых образцов остается сравнительно сухой. Система не сообщающихся, не заполняемых водой ячеек, формирует буферные полости, куда перемещается излишек замораживаемой воды. Таким образом, газосиликатобетон благодаря своему строению создает условия для высокой морозостойкости.

Влажность газосиликатобетона непосредственно после изготовления составляет приблизительно 0,3-0,6 влажности в стандартных испытаниях. В стандартных эксплуатационных условиях насыщенность влагой изделий из газосиликатобетона всегда ниже его влажности сразу же после автоклавирования.

Важными факторами, обуславливающими стойкость газосиликатобетона при попеременном замораживании и оттаивании, считаются характеристики структуры пористости. Поры по влиянию на морозостойкость делятся на 3 вида: резервные (более 200 мкм); опасные (от 200 до 0,1 мкм); безопасные (менее 0,1 мкм). Экспериментально установлено, что в случае если отношение объема пор с диаметром больше 200 мкм к объему пор с диаметром от 200 до 0,1 мкм будет больше 0,09, то газосиликатный блок будет иметь высокую морозостойкость [152].

В сравнении с традиционными материалами газосиликатобетон обладает повышенной морозостойкостью, причем высокий уровень морозостойкости ячеистых бетонов обеспечивается при неблагоприятном с точки зрения обеспечения морозоустойчивости в фазовом состоянии новообразований стенового блока. При сокращении влажности газосиликатных блоков морозостойкость значительно возрастает.

Важной эксплуатационной характеристикой является влажность газосиликатобетона при работе в конструкции. Через два-три отопительных сезона газосиликат наружных стен приобретет установившуюся, или равновесную эксплуатационную влажность.

Скорость изменения влажности материалов в стенах зависит в первую очередь от соотношения их паропроницаемости и сорбционной влажности при равных режимах эксплуатации помещений и климатических условий. Чем выше паропроницаемость и ниже сорбционная влажность, тем активнее происходит высушивание, так как коэффициент паропроницаемости газосиликатобетона имеет высокие значения (0,16-0,2 мг/МПа), а сорбционной влажности – низкий (от 3% до 5%). Газосиликатобетонные блоки в равных условиях высыхают до равновесной влажности быстрее, чем древесина [152].

Скорость и полнота насыщения капиллярной воды оказывают значительное влияние на морозостойкость бетона. Степень заполнения капилляров водой зависит от структуры и степени пористости самого материала. При насыщении материала водой до 80%, происходит быстрое разрушение даже при небольшом замораживании, тогда как при насыщении их водой в меньшей степени, изделия могут выдерживать большое количество циклов замораживания и оттаивания. Это объясняется тем, что при меньшем насыщении оставшиеся в породе пузырьки воздуха действуют как амортизаторы давления.

Ю.М.Бутт отмечает, что при введении в состав бетонной смеси поверхностно-активных веществ увеличивается закрытая пористость и уменьшается открытая пористость, а некоторые капилляры закупориваются воздушными пузырьками. Все это наряду с уменьшением водонепроницаемости приводит к повышению морозостойкости бетона [153].

Работы авторов показывают, что морозостойкость зависит от количества добавляемого молотого песка. По данным Ю.М.Бутта и К.К.Куатбаева наиболее высокая морозостойкость наблюдается при введении 25% мелкого песка [154].

Морозостойкость газосиликатобетона определяли попеременным замораживанием и оттаиванием образцов-кубов размерами 10х10х10 см с $V/T=0,46-0,53$. Основные и контрольные образцы перед испытанием на прочность при сжатии должны быть насыщены водой и испытываются одновременно. При испытании прочность не должна снижаться более чем на 25%.

Результаты испытания ячеистого бетона на морозостойкость оцениваются коэффициентом морозостойкости:

$$K_{мпз} = \frac{R_{мпз}}{R_c},$$

где R_c – прочность бетона до испытания; $R_{мпз}$ – прочность бетона после испытания.

Известно, что на морозостойкость автоклавных ячеистых бетонов большое влияние оказывают величина давления и режим обработки в автоклаве.

В связи с этим, первоначально были проведены исследования по влиянию величины давления и режима автоклавной обработки на морозостойкость газосиликатобетона.

Результаты испытаний морозостойкости газосиликатобетона приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Морозостойкость и прочностные характеристики газосиликатного бетона в зависимости от режима и величины давления пара при автоклавной обработке

№ п/н	Средняя плотность бетона кг/м ³	Величина давления пара, МПа	Режим автоклавной обработки, час	Влажность, %	Прочность при сжатии, МПа	Морозостойкость при циклах
1	2	3	4	5	6	7
1	680	0,8	2+6+3	10	2,03	32
2	675	0,8	2+8+2	10,2	2,3	28
3	680	1,0	2+6+3	9,4	2,4	31
4	690	1,0	2+8+2	9,8	2,6	24
5	689	1,2	2+6+3	7,3	3,46	18
6	695	1,2	2+8+2	6,7	3,69	28
7	686	1,6	2+6+3	7,2	3,1	15
8	690	1,6	2+8+2	8,5	3,3	18

Данные таблицы 4.9 показывают о высокой степени морозостойкости газосиликатобетона, о чем свидетельствует величина морозостойкости от 32-18 циклов попеременного замораживания и оттаивания, образцы выдерживают более 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания при снижении прочности менее 20% [155].

Высокая морозостойкость газосиликатного бетона объясняется их высокой прочностью и характером пор. Снижение плотности газосиликатобетона приводит не только к увеличению общей пористости, но и к увеличению морозостойкости. Для увеличения морозостойкости изделий и конструкций в процессе эксплуатации необходимо учитывать вид сырьевых материалов, их характеристику, соотношение между ними, а также добиваться улучшения пористой структуры материала, снижения внутренних напряжений в период автоклавной обработки, повысить прочность и уменьшить дефектность межпоровых перегородок [156].

В результате исследований по влиянию величины давления и режима автоклавной обработки на морозостойкость газосиликатобетона было установлено, в зависимости от режима автоклавной обработки изменяется структура изделий, суммарная пористость, меняются размеры пор и капилляров [155].

При повышении давления пара от 0,8 до 1,2 МПа морозостойкость газосиликатобетона на основе шлаковых вяжущих и полиминеральных барханых песков в большинстве случаев повышается, но при повышении давления запаривания до 1,6 МПа, как и степень морозостойкости при попеременном замораживании и оттаивании начинает падать, что связано с изменением характера физико-химических процессов. Так, морозостойкость газосиликатобетонов, запаренных в течение от 1 до 4 часов изотермической выдержки и при давлении пара 1,6 МПа, в три раза меньше морозостойкости бетонов, запаренных при давлении 0,8 и 1,0 МПа.

При повышении давления вследствие большой интенсификации процессов автоклавной обработки вызывает увеличение размера капилляров и образовавшихся микротрещин [154,157].

Для изготовления изделий из газосиликатобетона на основе шлаковых вяжущих материалов и полиминеральных барханных песков, от которых требуется определенная морозостойкость и повышенная прочность, не следует повышать давление пара при автоклавной обработке выше 1,2 МПа.

Фазовые составы цементирующих веществ и их основные свойства в ячеистых бетонах изменяются в зависимости от применения кремнеземистого компонента и от его химико-минералогического состава.

В связи с этим были проведены исследования морозостойкости и основных свойств газосиликатобетонных образцов на основе различных кремнеземистых компонентов, результаты которых приведены в таблице 4.12.

п/н	Вид бетона	Вид вяжущего материала и заполнителя	Соотношение вяжущего к песку, в	Давление в автоклав	Средняя плотность	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент	Коэффициент морозостойкости
						113		це	нт

							В воздушн о-сухом состояни и	Пос ле хра нен ия в вод е (18 сут ок)	После 15- кратно го замора живан ия, (- 15÷20 ⁰ С) и оттаив ания(+ 15÷20 ⁰ С)	После 35- кратного заморажива ния, (- 15÷20 ⁰ С) и оттаивания(+ 15÷20 ⁰ С)		П ос ле 15 ц ик ло в	Пос ле 35 цик лов
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Газосил икатобет он	Известковош лаковое вяжущее/пол иминеральны й барханный песок с добавкой волластонита	1:0,8	0,8	660	36	3,48	3,47	3,44	3,41	0,9 3	0, 91	0,89
				1,2	670	34	3,73	3,70	3,69	3,67	0,9 5	0, 93	0,91
				0,8	690	33	3,58	3,56	3,51	3,46	0,9 3	0, 93	0,9
				1,2	700	32	3,72	3,71	3,70	3,69	0,9 4	0, 94	0,89
	Газобето н (контрол ьный)	Портландцемент/кварцевы й песок (контрольный)	1:0,8	0,8	680	35	3,13	3,10	3,08	3,06	0,9 5	0, 94	0,92
				1,2	690	33	3,25	3,22	3,20	3,17	0,9 6	0, 95	0,93
				0,8	700	34	3,15	3,14	3,12	3,11	0,9 5	0, 94	0,91
				1,2	710	32	3,26	3,23	3,21	3,20	0,9 6	0, 95	0,93

Таблица 4.12 – Основные свойства газосиликатобетонных образцов в условиях попеременного замораживания и оттаивания

Из результатов исследования приведенных в таблице 4.9, видно, что при одинаковой средней плотности предел прочности на сжатии образцов на основе полиминеральных барханных песков мало отличается от предела прочности образцов на основе кварцевых песков. При водонасыщении прочность газосиликатных образцов на барханном песке составляет 3,47-3,71 МПа, тогда как прочность на кварцевом песке – 3,10-3,23 МПа, прочность снижается немного.

Водопоглощение у всех образцов составляет 32-33%. После 15-кратного замораживания и оттаивания прочность образцов по сравнению с прочностью в водонасыщенном состоянии практически не снижается. Морозостойкость в течение 39 циклов замораживания и оттаивания почти не оказала дальнейшего отрицательного влияния. Величина коэффициента

размягчения у всех испытываемых образцов составила: 0,93-0,96, а величина коэффициента морозостойкости: 0,89-0,93.

Высокая степень морозостойкости газосиликатного бетона на шлаковых вяжущих и полиминеральных барханных песках объясняется плотностью структуры степенью пористости.

Увеличение плотности газосиликатного бетона ведет к образованию множества мелких замкнутых пор, которые приводят не только к увеличению прочности, но и повышению степени морозостойкости. Фазовый состав и микроструктура шлакового камня показали, что основными продуктами новообразований являются низкоосновные гидросиликаты кальция типа CSH (I) ксонотит, которые благотворно действуют на прочность и долговечность, т.к. низкоосновные гидросиликаты кальция обладают наибольшей прочностью среди гидратных фаз затвердевшего цементного камня. Кроме того, в составе газосиликатобетона имеются добавки в виде природного волластонита, который работает в бетоне как микроармирующий элемент, вследствие этого прочность и долговечность газосиликатобетона увеличивается.

4.4 Совершенствование кинетики нарастания пластической прочности газосиликатной смеси

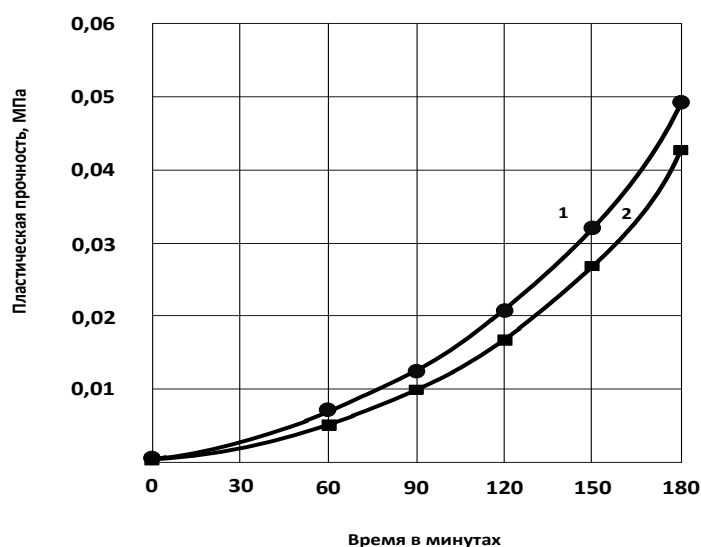
Исследование кинетики нарастания пластической прочности ячеистобетонной смеси является очень важной технологической задачей, так как все современные заводы, выпускающие газобетонные изделия в Казахстане по технологии немецкой фирмы «Маза-Хенке» перешли на новую эффективную резательную технологию с переворотом формы на 90 градусов с последующей резкой массива на изделия.

В случае несоответствия набора пластической прочности газобетонной смеси для резки массива на блоки – масса во время переворота на 90 градусов просто вываливается из формы и разрушается, либо режущие струны лопаются или быстро изнашиваются при распиловке жесткого массива.

Известно, что для получения ячеистого силикатного бетона с заданными свойствами необходимо оптимальное сочетание процессов газовыделения соответствующего газообразователя, тепловыделения и гидротации вяжущего, набора пластической прочности, обеспечивающих качественную структуру и минимальную осадку газосиликатобетонной массы. Именно газосиликатобетонная смесь при оптимальных условиях протекания процесса структурообразования закладывает основу получения максимальных физико-механических характеристик и дальнейшую эксплуатационную стойкость изделий из ячеистого бетона.

Исследования показали, что газосиликатный бетон при содержании извести в шлаке от 3 до 12%, характеризуется оптимальным нарастанием пластической прочности. Пластическая прочность через 180 минут достигла $R_{пл.} = 0,5$ Мпа, это прочность является достаточной для переворота

газосиликатобетонной массы на 90 градусов и последующей резки массива на изделия (рисунок 4.19).



1 – содержание извести от 3 до 12 %; 2 – контрольная

Рисунок 4.19 – Кинетика нарастания пластической прочности

Увеличение содержания извести в вяжущем материале до 15, 20, 25 % от веса вяжущего способствует замедлению нарастания пластической прочности и только после 3 часов выдержки можно было срезать горбушку. Пластическая прочность была равна 0,025 МПа.

Между тем, проведенными экспериментами установлено, что наибольшая прочность, нарастание скорости газообразования и повышение коэффициента использования алюминиевой пудры происходит при одновременном вводе в смесь 3% полуводного гипса и 12% волластонита от веса сухих компонентов. Сроки вспучивания сокращаются, улучшается качество макропористой структуры ячеистого бетона.

Таким образом, для получения ячеистого бетона необходимо вводить 8% извести от веса вяжущего и 12% волластонита, а также 3% полуводного гипса.

Экспериментально установлены оптимальные технологические параметры получения качественного автоклавного газосиликатного ячеистого бетона. Состав бетона приведен в таблице 4.8 – Вяжущее (тонкомолотый шлак 92%: известь 8%), отношение кремнеземистого компонента к вяжущему «С» равного 0,78 или 44:56, количество волластонита 12%, полуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$) 3%, вводимого для улучшения свойств газосиликатобетона и регулирующего сроки схватывания газосиликатобетонной смеси.

На полученных оптимальных составах газосиликатобетона мы проследили кинетику роста пластической прочности. Динамика нарастания пластической прочности проходит в оптимальных режимах и через 180 минут прочность сырца равна 0,05 МПа. Полученные составы газосиликатного

бетона можно рекомендовать действующим заводам в Казахстане «Экотон плюс» или «Альянс МТС», действующих по лицензиям немецкой фирмы «Маза Хенке».

4.5 Автоклавное твердение

Автоклавная технология позволяет производить бесцементные материалы с использованием сырья, в обычных условиях твердения, остающихся инертными.

Неверно мнение, существовавшее ранее, что повышение давления пара в автоклаве влечет к резкому повышению расхода пара, повышению давления пара, которые непропорциональны повышенной температуре. Герметичность автоклавов и прием перепуска пара из автоклава в автоклав значительно снижают расход пара.

Автоклавное твердение позволяет для цементно-песчаных и известково – песчаных композиций резко сократить время твердения, расширить номенклатуру вяжущих и при этом придать газосиликатному бетону более высокую прочность и низкую усадку. Расширение номенклатуры вяжущих состоит не только в том, что взамен цемента используют шлак, известь, а в том, что молотый чистый песок или барханный, при автоклавном твердении, являются активным компонентом (а, не инертным заполнителем) при синтезе прочности [157-159].

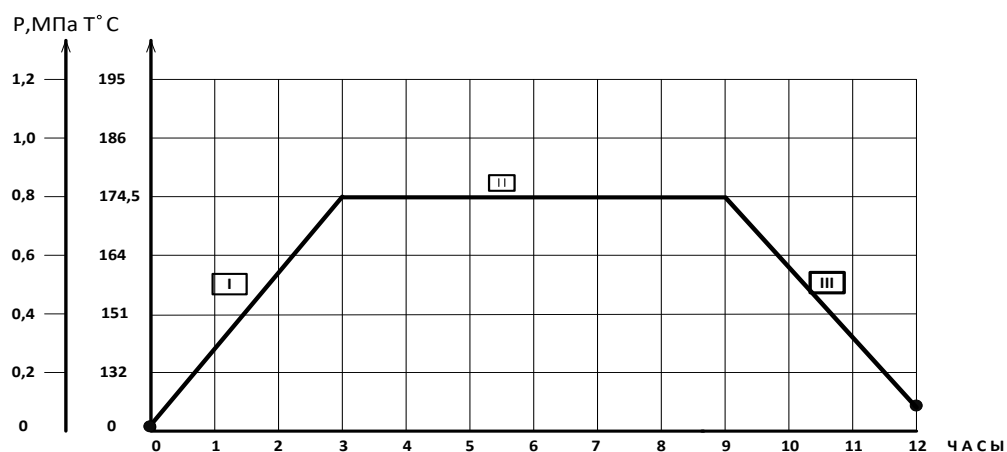
Режим автоклавной обработки назначается из условия обеспечения завершения твердения бетона, не вызывая дефектов в изделиях. Дефекты возникают не только из-за неправильного проведения режима автоклавной обработки, но и вследствие нарушения технологии на ранее проведенных стадиях.

То есть автоклавной обработке должны подвергаться изделия, изготовленные на смесях из качественного сырья, обеспечивающих получение бетона требуемых свойств, а также с соблюдением всех требований по приготовлению газосиликатобетонной смеси и формованию изделий из нее.

Резательная технология, существующая на старых заводах ячеистого бетона, работающих по польской технологии «Униполь» КЖБИ 4 в Павлодаре или в Темиртау резку массива осуществляют горизонтально.

При горизонтальной резке прорези практически непроницаемы или малопроницаемы и массив прогревается как единое целое.

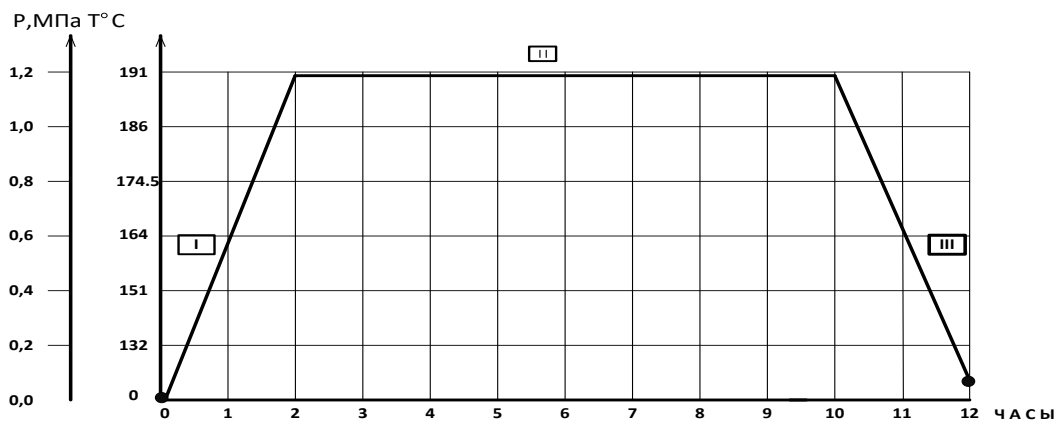
Поэтому режимы автоклавной обработки на этих заводах были приняты следующие: запаривание 3+6+3 часа; температура равная 174,5⁰С и давление -0,8 МПа. Однако, медленный подъем температуры не гарантировал прогревание массива по всей толще бетона и внутри бетона прочность была ниже, чем на периферии (рисунок 4.20).



I – подъем температуры; II – изотермическая выдержка; III – спуск давления

Рисунок 4.20 – Процесс автоклавной обработки по режиму: 3+6+3 часа, при давлении $P=0,8$ МПа и температуре $T=174,5^{\circ}\text{C}$

При вертикальной резке массива паропроницаемость зависит от ширины, глубины и частоты прорезей. Этими преимуществами обладают заводы, действующие по лицензиям немецкой фирмы «Маза Хенке». Это заводы в Казахстане «Экотон плюс» или «Альянс МТС». Они установили следующие режимы: запаривание 2+8+2 часа; температура 191°C при давлении 1,2 МПа (рисунок 4.21).



I – подъем температуры; II – изотермическая выдержка; III – спуск давления

Рисунок 4.21 – Процесс автоклавной обработки по режиму: 2+8+2 часа, при давлении $P=1,2$ МПа и температуре $T=191^{\circ}\text{C}$

Технологический прием переворота массива на 90 градусов и режим оптимального запаривания позволил выпускать изделия, соответствующие нормам Евростандарта.

К тому же, при вертикальной резке массивов увеличивается на 15% заполняемость автоклавов и сокращается время нагрева изделий. Мы в своих

лабораторных исследованиях, имея опыт работы с автоклавом с 1960 года, на новом автоклаве (рисунок 4.21) с программным обеспечением режима запаривания установили оптимальный режим запаривания газосиликатного бетона и убедились, что режим 2+8+2 часа при давлении 1,2 МПа и температурой 191⁰С дают значительный прирост прочности при прочих равных условиях.

Автоклавная обработка является завершающим и наиболее ответственным в технологическом процессе, при котором происходит формирование необходимой прочности и обеспечение других строительных свойств. Изделия из газосиликатного бетона, изготовленного на основе цемента или молотого гранулированного шлака, твердеть могут и в нормальных условиях, но значительно быстрее оно происходит в условиях при повышенной температуре особенно в автоклаве. Автоклавная обработка остается основным видом, позволяющим расширить номенклатуру вяжущих и при этом придать газосиликатному бетону более высокую прочность и низкую усадку. Расширение номенклатуры вяжущих состоит не только в том, что взамен цемента используют шлак, известь, а в том, что молотый песок, в том числе и барханный при автоклавном твердении являются активным компонентом (а не заполнителем) при синтезе прочности [160, 161].

4.6 Выводы

1 Экспериментально установлены оптимальные технологические параметры получения качественного автоклавного газосиликатного ячеистого бетона. Состав бетона (тонкомолотый шлак 92%: известь 8%), отношение кремнеземистого компонента к вяжущему «С» равного 0,78 или 44:56, количество волластонита 12%, полуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) 3%, вводимого для улучшения свойств газосиликатного бетона и регулирующего сроки схватывания газосиликатобетонной смеси.

2 Установлено, что прочность и стойкость газосиликата на шлаке и барханном песке зависит от количественного содержания стеклофазы в шлаке, который связан с процентным содержанием основного стеклообразующего оксида P_2O_5 .

3 Высокие прочностные показатели газосиликатного бетона на основе электротермофосфорного шлака и барханного песка обусловлены наличием гидросиликатов типа C_2SH (А), CSH (В), тоберморита, гиролита и ксонотлита, содержание которых, обеспечивается подбором рационального состава смеси и режимом автоклавной обработки.

4 Оптимальный состав сырьевой смеси и величину корректирующей добавки извести к нему для автоклавного газосиликатного бетона можно подбирать расчетным путем по формуле $K_{\text{осн}}$, предложенной П.И.Боженковым с обязательным учетом количества стеклофазы в шлаке.

5 Установлено, что наибольшая прочность, нарастание скорости газообразования и повышение коэффициента использования алюминиевой пудры происходит при одновременном вводе в смесь 3% полуводного гипса

и 12% волластонита от веса сухих компонентов. Сроки вспучивания сокращаются, что позволяет производить газосиликатный бетон по технологии немецкой фирмы «Маза-Хенке» с переворотом формы на 90 градусов с последующей резкой массива на изделия.

6 Установлен оптимальный режим автоклавной обработки 2+8+2 часа при давлении 1,2 МПа и температуре 191⁰С газосиликатного бетона.

5 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГАЗОСИЛИКАТНОГО БЕТОНА

Технология ячеистого силикатного бетона – это совокупность сложных химико-технологических процессов, то есть наука о методах и процессах

химической переработки сырья в продукты. Она изучает процессы, ведущие к изменению состава строения и свойств веществ, осуществляемых в результате химических реакций для организации массового производства продуктов с помощью технически целесообразных и экономически выгодных методов и приемов.

Химическая технология, как и всякое производство, развивается непрерывно, широко используя методы и достижения химических, физических наук, а также других теоретических и практических дисциплин [162, 163].

Начало всякого исследования, в том числе и ячеистого силикатного бетона, ведется в лабораториях, которые имеют большое значение, но необходимо учитывать, что они обычно ведутся в отрыве от производственных (цеховых) условий и не всегда подтверждаются на заводах, но дают такой исходный материал, который позволяет в последующем управлять технологией на заводе.

В лабораториях создаются «идеальные условия», позволяющие отбросить посторонние воздействия. В производстве идеальных условий нет. Другие более крупные масштабы выявляют новые факторы. Поэтому часто процесс освоения лабораторного исследования в производстве приводит к другим технико-экономическим показателям, а иногда даже к другим химическим и физико-техническим результатам, вплоть до получения нового продукта [162].

5.1 Отличие технологии польской фирмы «Униполь» от немецкой фирмы «Маза-Хенке»

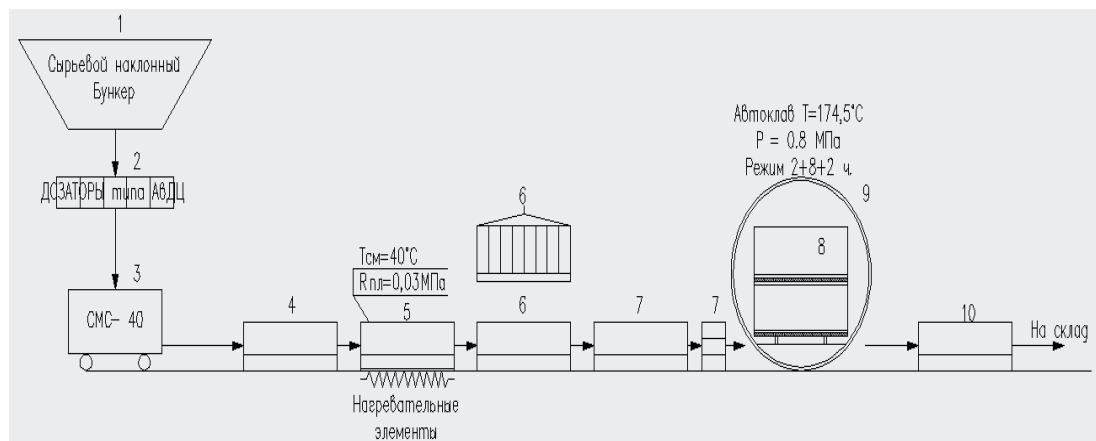
Однако время идет, и технологические приемы производства на заводах ячеистого силикатного бетона тоже резко изменились.

Технологии польской фирмы «Униполь» (рисунок 5.1) безнадежно устарели и уже не могли конкурировать с заводами третьего поколения. Это действующие с 1960 года польские заводы в Павлодаре КЖБИ 4 и такой же завод в Темиртау.

Все ранее наработанные учеными, и нами в том числе, составы стали непригодны и в основном из-за несоответствия оптимальной кинетике набора пластической прочности за определенное время. Если по технологии «Униполь» для резки массива пластическая прочность равнялась 0,03 МПа, то по технологии фирмы «Маза-Хенке» эта величина равнялась 0,05 МПа (рисунок 5.2).

Многие передовые заводы фирмы «Маза-Хенке», действующие в Казахстане, перешли на новый прием производства с переворотом формы с газосиликатобетонной смесью на 90 градусов с последующей резкой массива на изделия. Поэтому газосиликатобетонная смесь должна была в момент переворота смеси и резки на изделия иметь пластическую прочность 0,05 МПа.

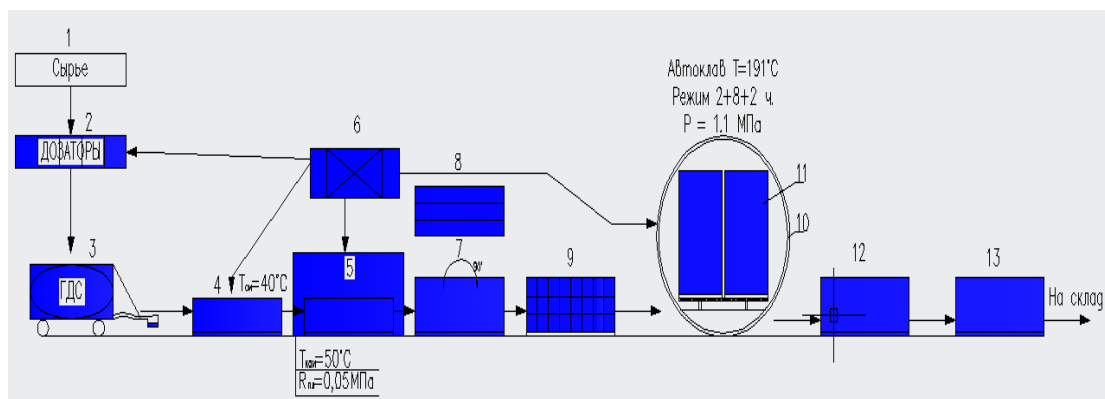
Технология польской фирмы «Униполь»



1 – сырье; 2 – дозаторы; 3 – газобетоносмеситель; 4 – форма с открывающимися бортами; 5 – вызревание в цеху; 6 – пост рамной вертикальной резки; 7 – пост горизонтальной резки; 8 – горизонтальный массив; 9 – автоклав; 10 – пост разделения блоков

Рисунок 5.1 – Технология польской фирмы «Униполь»

Технология «МАСА-НЕНКЕ»



1 – сырье; 2 – дозаторы; 3 – смеситель; 4 – спецформа со смесью; 5 – камера вызревания; 6 – компьютерная; 7 – массив, перевернутый на ребро; 8 – кантователь; 9 – пост резки массива спецмашинами; 10 – автоклав; 11 – массивы в автоклаве; 12 – сепаратор-делитель; 13 – установка изделий на паллеты и упаковка в полипропиленовую пленку

Рисунок 5.2 – Технология «МАСА-НЕНКЕ»

Приготовление и формование газосиликатобетонной смеси. Газосиликатобетонная смесь обычно готовится в такой последовательности: вначале в смеситель заливают необходимое количество воды, и включается привод смесительного механизма. Подачу от дозированных материалов (цемент, песок и т.д.) производят при непрерывном вращении вала с

лопастями. Не допускается длительная остановка смесителя, так как это может привести к образованию "козла" и остановке мешалки и возможного его выхода из строя, по простому говоря, лопасти мешалки ломаются об этого «Козла».

Пояснение: «Козёл» - это камень, образовавшийся в результате схватывания вяжущего и кремнеземистого компонента в мешалке.

После тщательного перемешивания (5-6 мин) смеси с водой в мешалку подают водно-алюминиевую суспензию, приготовленную из алюминиевой пасты.

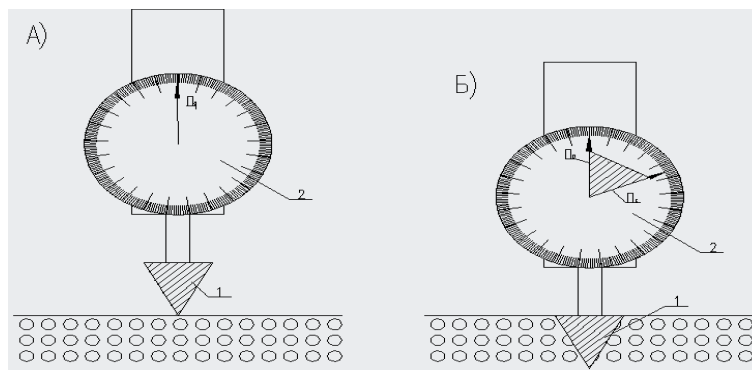
Перемешивание смеси, после того как подана в мешалку суспензия из алюминиевой пасты, продолжают 2 мин, а затем смесь выливают из мешалки в формы – поддоны.

При приготовлении газосиликатобетонной смеси необходимыми условиями, обеспечивающими ее качество, а, следовательно, и качество газосиликатобетона, являются заданные текучесть, температура и щелочность смеси.

Вызревание газосиликатобетонной смеси и определение кинетики роста пластической прочности

После разливки транспортер двигает форму на место созревания в камеру вызревания. В камере вызревания в течение 180 минут смесь поднимается до расчетной величины и схватывается.

Пластическую прочность газосиликатобетонной смеси, а также кинетику роста пластической прочности устанавливают при помощи пластометра (рисунок 5.3).



1-Конус, 2-Индикатор часового типа

Рисунок 5.3 – Пластомер

Отчет по индикатору производят после полного погружения конуса.

Пластическую прочность ($R_{пл}$) вычисляют:

$$R_{пл} = K * П$$

где: K – коэффициент пластометра указанный в паспорте;

$П$ – отчет по индикатору в момент полного погружения конуса, см.

Переворот газобетонной смеси на 90 градусов. Резка массивов на изделия. Кантование массива с помощью кантующего манипулятора

Когда массив достаточно затвердел (пластическая прочность должна быть равной 0,05 МПа) для обработки и нарезки, кантующий манипулятор перемещает форму из секции созревания и кантует форму с массивом на 90°, устанавливает ее боком (бортом-платформой) на режущую тележку линии резки, разблокирует и отсоединяет каркас формы от режущей платформы. Массив стоит вертикально на платформе. Кантующий манипулятор двигает пустой отсоединенный корпус формы к пустому и очищенному борту-платформе, который находится на возвратной линии резки. Кантующий манипулятор соединяет платформу с корпусом формы и кантует конструкцию, подавая форму на конвейер для ее смазки.

Вертикальная резка и контурная обработка

Режущая тележка доставляет массив на борту-платформе, проходя стадии резки и контурной обработки. Сначала комплект струн отрезает одну сторону массива (которая была верхней при подъеме), чтобы получить приблизительную ширину массива; затем набор ножей обрезает массив с обеих сторон для получения окончательных размеров. Контур (паз и гребень) вырезается с помощью лезвия режущего инструмента соответствующей конфигурации; гребень вырезается со стороны, которая была нижней во время подъема.

Горизонтальная резка

После вертикальной резки и контурной обработки массив проходит через устройство горизонтальной резки по толщине. Стационарные струны, которые натягиваются пневматически, выполняют горизонтальный распил массива по требуемым размерам. Проволочные струны располагаются под углом к направлению движения тележки для того, чтобы избежать выпадения материала на заднем конце массива. Устройства индивидуального натяжения позволяют быструю смену струн, когда необходим переход на различные размеры продукта. Устройство горизонтальной резки, оборудованное устройством контроля обрыва струны, которое укажет оператору, которая из струн оборвана.

Горизонтальная и поперечная резка осуществляется пневматически натянутыми проволочными струнами толщиной 0,8-1,0 мм. Натяжение струн производится желобчатыми полумуфтами с желобами шагом 5 мм и пневматическим натяжным устройством для каждой струны с шагом каждые 50 мм, которое позволяет произвести простую настройку в пределах шага 5 мм. Опционально линия резки оборудуется системой контроля над обрывом струн.

Поперечная резка и фрезерование захватов

Когда горизонтальная резка завершена, массив переходит в секцию поперечного распила.

Подъемная рама устройства поперечной резки поднимает и пропускает режущую раму через массив. Режущие струны совершают вращательно-

качательные движения и разрезают массив с обеих сторон. Пневматические устройства натягивают струны, управляемые сегментами шириной 200 мм с направляющими пазами и направляющим желобом 5 мм шириной. Это позволяет разрезать блоки высотой 200 мм и более при индивидуальном натяжении струн, что препятствует двойной распилке и гарантирует точный допуск по размеру продукта.

Как только режущая тележка движется дальше, вакуумный колпак поднимает верхний слой массива и сваливает его в шламканал под устройством поперечной резки. Корка на переднем и заднем конце блока отрезается и попадает в шламканал под режущим устройством; грязесъемник удалит оставшиеся отходы с режущей платформы.

Если фрезерующий станок, входящий в состав, прикреплен к режущей раме устройства поперечной резки вырезает захватные выемки в соответствии с толщиной массива. На каждой стороне массива два фрезерных инструмента с некоторым количеством ножей, приподнятых на высоту блока (размеры поперечного среза) на вращающихся валах, проходят через массив. По толщине блока режущий аппарат удерживает режущую раму в позиции, требуемой для фрезерования захватов.

Все обрезки сбрасываются в приямок линии резки, где они транспортируются к приямку, оборудованному быстро и медленно вращающимися мешалками, которые смешивают отходы зеленого массива с водой и превращают их в возвратный шлам. Этот возвратный шлам может быть полностью повторно использован в смеси. Поскольку важные сырьевые материалы все еще химически активны в данный момент, их нельзя рассматривать как отходный материал, в отличие от вовлечения отходов белого массива в процесс.

Обратное кантование массива на решетки автоклавной обработки

После завершения резки манипулятор платформы забирает массив и переносит его к столу обратного кантования. Преимущество манипулятора платформы заключается в том, что ему не требуется глубокий приямок для стола обратного кантования, встраиваемого в линию резки и прочего, что позволяет массиву отстояться между резкой и обратным кантованием и позволяет массиву дополнительно затвердеть. Кран устанавливает платформу с массивом на центрирующие стержни на одной стороне стола обратного кантования, который затем кантует массив на 90°, сначала оставляя на специальном устройстве подъемного стола. Этот подъемный стол затем бережно опускает массив на решетку автоклавной обработки, которая уже была доставлена в эту секцию до начала процесса кантования. Борт-платформа с остаточным слоем (слой между бортом-платформой и первым слоем продукта) кантуется обратно в исходное положение. Манипулятор платформы переносит борт-платформу с остаточным слоем к линии возврата бортов-платформ к устройству, удаляющему нижний остаточный слой.

Автоклавная обработка массива на решетке автоклавной обработки позволяет эффективно осуществлять загрузку, а самое важное, предотвратить залипание слоев, что является типичным недостатком традиционных систем кантования, в которых автокламирование массива происходит в вертикальном положении.

Разделение разрезанных массивов

После обратного кантования, массив конвейером передается к установке разделения массива, на котором слои срезанного массива отделяются друг от друга. Таким образом, слои не слипаются в процессе автоклавирования и последующее механическое разделение на стадии белого массива не требуется. Брак, который возникает в связи с механическим разделением массива полностью отсутствует.

Складирование и накопление массивов

Роликовые конвейеры и поперечный конвейер доставляют решетки автоклавной обработки с зеленым массивом к многофункциональному-разгрузочному манипулятору.

Многофункциональный-разгрузочный манипулятор складывает три решетки автоклавной обработки массивом друг на друга. Распорные стержни вставляются вручную в качестве прокладки между решетками автоклавной обработки. Тележка транспортирует уложенные массивы на накопительные пути, с которых в дальнейшем будет произведена загрузка в автоклав.

Автоклавная обработка

Траверсный транспортер, находящийся перед автоклавами, ввозит тележки в автоклав. Этот транспортер способен завозить в автоклавы и вывозить из них целый состав тележек с уложенными массивами.

Нами установлены оптимальные режимы автоклавной обработки при давлении в автоклаве 1,2 МПа и температуре 191⁰С, с режимом обработки насыщенным паром 2+8+2 часа. Обычно производительность завода рассчитывается исходя из того, что автоклав загружается два раза в сутки (24 часа).

Паровой котел подает пар в автоклавы. Качество воды определяет оборудование, требуемое для системы приготовления воды.

Конденсат, выходящий во время процесса автоклавирования, может быть переработан и повторно использован в различных целях. Тепло может быть использовано для сохранения энергии. Через теплообменники тепло, поступающее от конденсата, может быть использовано для подогрева воды, питающей котел и/или производственных площадей завода. Затем охлажденный конденсат можно повторно использовать в процессе, как в секции шаровой мельницы, так и в секции приготовления возвратного шлама. В зависимости от качества конденсата, может потребоваться дополнительная химическая обработка. Операция загрузки и разгрузки автоклавов занимает примерно один час.

По окончании обработки в автоклавах транспортёр, находящийся перед автоклавами, доставляет тележки с продуктом друг за другом на

накопительные пути, где они ждут своей очереди на разгрузку для обеспечения быстрой разгрузки из автоклавов.

Многофункциональный-разгрузочный манипулятор снимает с тележки решетки автоклавной обработки с продуктом одну за другой на рольганг, движущийся к столу обратного кантования.

Механик удаляет распорные стержни с решеток автоклавной обработки и складывает их в скобы в решетках автоклавной обработки.

Пустые решетки автоклавной обработки отправляются в накопитель или возвращаются к столу обратного кантования. Устройства обметания щеткой и смазки почистят решетки прежде, чем они будут загружены новым массивом.

Разгрузка с решеток автоклавной обработки

Многофункциональный разгрузочный манипулятор затем снимает белое изделие с решеток автоклавной обработки и кладет прямо на упаковочную линию.

5.2 Преимущество производства газосиликатного бетона по новой технологии фирмы «Маза Хенке»

В камера вызревания улучшается кинетика роста пластической прочности газосиликатобетонного сырца, стабилизируются прочности и плотности газосиликатного бетона, снижаются внутренние напряжения, полностью используется порообразователь.

Переворот газосиликатобетонного сырца на 90 градусов способствует повышению качества готовой продукции, улучшению качества резки массивов на изделия и сепарации, увеличению полноты физико-химических реакций по всему телу бетона, повышению физико-технических свойств и долговечности изделий, увеличению коэффициента заполнения автоклавов и производительности завода.

Автоклавная обработка при температуре 191⁰С и давлении 1,2 МПа дает возможность более полного прохождения физико-химических реакций, повышению прочности и долговечности изделий.

При сепарации (разделении) блоков повышается качество изделий и создаются условия кладки блоков на клею.

Основные параметры компьютеризации технологического процесса производства газосиликатного бетона и контролируемые параметры производства газосиликатного бетона можно увидеть на рисунках 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Основные параметры компьютеризации технологического процесса производства газосиликатного бетона

№	Компьютеризация технологического процесса	Границы компьютерного слежения
1	<u>Дозировочное отделение</u>	
1.1	Вязущий компонент – цемент	1 – 1,5%

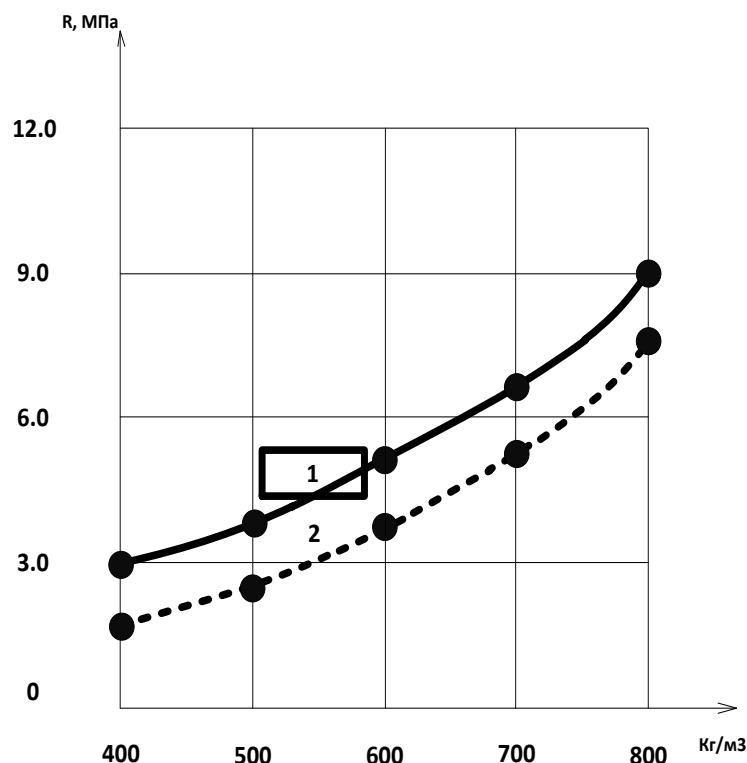
1.2	Известь	1 – 1,5%
1.3	Кремнеземистый компонент – барханный песок	1 – 2,0%
1.4	ЭТФШлак, волластонит	1 – 12%
1.5	Водноалюминиевая суспензия	0,1 – 0,3%
2	<u>Технологические параметры производства</u>	
2.1	Температура твердых компонентов	$20 \pm 3^{\circ}\text{C}$
2.2	Температура воды	$50 - 55^{\circ}\text{C}$
2.3	- в случае негашеной извести - кипелки активностью 60-75%	70°C
	- гашеной извести	$60 - 65^{\circ}\text{C}$
2.4	Температура раствора	$40 - 45^{\circ}\text{C}$
2.5	Время размешивания	2 – 2,5 минут
2.6	Температура в камере вызревания	$40 \pm 5^{\circ}\text{C}$
2.7	Режим автоклавной обработки	по техническому паспорту данного автоклава 2 + 8 + 2 часа
2.8	Температура в автоклаве при давлении 1,2 МПа	191°C

Таблица 5.2 – Контролируемые параметры производства газосиликатного бетона

№	Вид технологического контроля качества продукции	ГОСТы, СН-277, размерность технического контроля
1	Анализ сырья	ГОСТы, паспортные характеристики ГОСТ 12852.0-77 «Бетон ячеистый. Общие требования к методам исследований».
2	Определение текучести (расплыва) растворной смеси	Прибор Суттарда: 24 - 26 см.
3	Пластическая прочность перед резкой массива на изделия	Пластометр: 0,05 МПа
4	Физико-механические свойства после тепловлажностной обработки, определение влажности и морозостойкости изделий	ГОСТ 12852, /примечание/ определение стойкости выпускаемой продукции на циклическое действие положительных температур/ Руководство по методам испытаний ячеистого бетона.

5.3 Компьютеризация технологических процессов

Как видно из рисунка 5.4 разброс по плотности суточной составляет 30 кг/м³ одновременно с полной компьютеризацией технологического процесса с применением камер вызревания и резки сырца на изделия с переворотом газосиликатобетонного массива на 90°.



1 – изменение прочности с компьютеризацией технологического процесса; 2 – без компьютеризации технологического процесса

Рисунок 5.4 – Компьютеризация технологических процессов

Состав газосиликатного бетона позволяет, при автоклавной обработке по режиму 2+8+2 часа, при давлении 1,2 МПа и температуре 191⁰С, получить газосиликатный бетон высокого качества, прочность газосиликатного бетона с компьютерным слежением плотностью 600 кг/м³ составляет 5,7 МПа, а безкомпьютерного – 3,2 МПа.

Когда пластическая прочность через 180 минут составляет 0,05 МПа, грани среза на массиве ровные по всей высоте, предельные допуски составляют $\pm 1,0$ -1,5 мм/м. Кладку блоков ведут на клею, а не на растворе. Время набора пластической прочности (0,05 МПа) достаточной для резки массива на изделия через 180 минут удовлетворяют современным требованиям.

Таким образом, разработанный нами газосиликатный бетон удовлетворяет требования Европейского стандарта. Марка бетона по средней плотности 600; класс по прочности на сжатие В 4,5; средняя прочность 5,5 МПа.

5.4 Основные виды заводского брака изделий и технологические меры по их устранению

Основные виды заводского брака изделий и технологические меры по их устранению приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3– Основные виды заводского брака изделий и технологические меры по их устранению

№	Вид брака	Причина	Меры по устранению
1	2	3	4
1.	Ложное кипение	Длительные сроки схватывания цементов	Ускорить схватывание цемента введением сернокислого глинозема, пергидроля, хлористого натрия, хлоралюминия. Замена на цементы, удовлетворяющие требованиям СН 277.
2.	Просадка и развал газосиликатобетонного сырца в момент кантования и переворота смеси на 90 градусов	Недобор пластической прочности.	Применение стабилизаторов твердения ТЭА (триэтаноламин), ТНФ (тринатрийфосфат), поташ, фосфогипс, глиноземистый цемент, сульфат натрия, хлорид натрия и кальция.
3.	Снижение прочности изделий.	Неоптимальное В/Т - отношение и (С) - отношение кремнеземистого компонента к вяжущему. Повышенное содержание трехкальцевого алюмината.	Оптимизация В/Т-отношения и (С) - отношения кремнеземистого компонента к вяжущему. Заменить на цемент, удовлетворяющий требованиям СН-277.
4.	Дестабилизация плотности и прочности.	Несоответствие процессов схватывания и газовыделения.	Оптимизация кинетики набора пластической прочности и процессов газовыделения. Применение стабилизаторов твердения ТЭА, ТНФ. Проверить активность алюминиевой пудры СН-277 приложение-6.
5.	Трещины на изделиях.	Повышенное содержание «пережога» в извести и добавок типа трепела, опоки, глиежа, трассов, пепла в цементах, нарушение режима ТВО.	Проверить содержание «пережога» в извести по СН-277 приложение-4, проверить режим работы автоклава.

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4
6.	Затрудненное сепарирование готового массива.	Увеличенное содержание воды. Недобор пластической прочности.	Оптимизация В/Т-отношения и (С) - отношения кремнеземистого компонента к вяжущему, повышение пластической прочности перед резкой массива.
7.	Нарушение геометрических размеров изделий.	Резка массива на изделие.	Проверка натяжение режущих струн и состояние режущих зубьев. Контроль за процессом набора пластической прочности.

5.5 Совершенствование пооперационного контроля технологических операций

Детальный пооперационный контроль технологических операций влияет на все стадии изготовления высококачественной ячеистой газосиликатобетонной продукции. Эти стадии состоят из: подготовительной, приготовления растворной и ячеистой газосиликатобетонной смесей, формования изделий, их тепловлажностной обработки, отделки панелей, хранения и отпуска изделий потребителю.

ГОСТы регламентируют качества исходного сырья, арматурной стали и других материалов, а качества некоторых материалов представлены в соответствующих паспортах. Несмотря на наличие паспортов и сертификатов изготовителей-поставщиков нужно постоянно проводить испытания сырья и материалов, которые поступают на завод. Лаборатория заводов производит контроль и анализ качества материалов и полуфабрикатов. Материалы и полуфабрикаты, поступающие на завод, принимаются партиями, их проверяют по методикам, указанным в соответствующих ГОСТах, технических условиях, инструкциях и определяют следующие свойства:

а) минералогический состав вяжущего – цемента, вид добавки в цементе и его марку – по паспорту, тонкость помола, активность и сроки схватывания по ГОСТам;

б) активность извести по содержанию в ней $\text{CaO}+\text{MgO}$, содержание «пережога», сроки гашения и температуру гашения, тонкость помола;

в) химический анализ и удельную поверхность шлака и песка, содержание в песке слюды, илистых и глинистых примесей по ГОСТам;

г) модули активности и основности гранулированного шлака – по паспорту;

д) наличие стекловидной фазы в электротермофосфорном шлаке;

е) фракционный состав декоративной присыпки, вязкость грунтовочных, шпаклевочных и закрепляющих составов, клеев и лакокрасочных материалов;

ж) марку и содержание активного алюминия в алюминиевой пудре. Во время проверки производственных процессов работники лаборатории проверяют следующее:

1) дисперсность кремнеземистого компонента в виде песка, шлака и других материалов в соответствии с технологической картой, но не реже

одного раза в смену;

2) плотность и температуру шлама;

3) текучесть поризованного отделочного раствора и растворной газосиликатобетонной смеси, а также температуру этой смеси в момент ее разлива в форму;

4) плотность газосиликатобетонной смеси;

5) высоту вспучивания газосиликатобетонной смеси;

6) пластическую прочность газосиликатобетонного сырца перед разрезкой массива;

7) режим тепловлажностной обработки;

8) тщательность очистки и смазки форм и плотность закрывания бортов;

Исследования показали, что в производственных условиях для изготовления качественного ячеистого газосиликатного бетона заданной плотности и прочности нужно запустить пункт контроля – повышение пластической прочности смеси и интенсивность газообразования в пооперационный контроль технологических операций. Иначе раствор становится в обоих случаях утяжеленным, а это приводит к браку, потому что пункт контроля устанавливает общую высоту вспучивания газосиликатобетонной смеси и пластическую прочность перед резкой сырца или прикатной горбушки. Между тем, рост пластической прочности и интенсивность газообразования подтверждает динамику, происходящих процессов, то есть последовательность процессов схватывания и газообразования, особенно заметное при переходе на цементы или известковые вяжущие

Для оценки стабильности технологических процессов необходимо результаты контроля качества материалов и производственного процесса ежемесячно подвергать статистической обработке с тем, чтобы установить соответствуют ли они нормируемым показателям СН 277-80.

При изменении сырья или параметров производства сотрудники лаборатории вносят необходимые коррективы в технологию изготовления изделий и прежде всего, корректируют состав сырьевой смеси.

При приеме готовых изделий проверке подлежат:

а) плотность поризованного раствора, прочность при сжатии газосиликатного бетона;

б) влажность изделий;

в) морозостойкость газосиликатного бетона и поризованного раствора;

г) размеры изделия, толщина защитного слоя арматуры, наличие выкала, трещин и других дефектов;

Изделия принимают партиями. Размер устанавливается в соответствующих нормативных документах. Партия считается принятой, если показатели качества изделий удовлетворяют требованиям соответствующих ГОСТов.

5.6 Техничко-экономическая эффективность производства и применения в строительстве автоклавного газосиликатного бетона

Газосиликатные бетоны выгодно отличаются по энергозатратам на их производство, особенно по сравнению с обжиговыми изделиями – глиняным кирпичем, керамзитом, а также по энергозатратам на отопление зданий, так как они по теплозащитным свойствам значительно превосходят эти материалы. Если сравнить энергоемкость получения газосиликатобетонных изделий с энергоемкостью получения керамзитобетона, то она меньше на 200%, а энергозатраты при использовании зданий также меньше на 20%.

Дома, построенные из кирпича или камней менее эффективны по сравнению с домами из мелких блоков газосиликатного бетона. Основные расходы с учетом расходов создания производства данных блоков в 2 раза, а энергоемкость изготовления в 2,7 раза меньше по сравнению с производством керамического кирпича на 1 м² стены.

Сравнительные затраты на производство газосиликатобетона средней плотностью 700 кг/м³ приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Сравнительные затраты на производство газосиликатобетона средней плотностью 700 кг/м³

Статьи затрат	Ед.изм.	Газобетон			Предлагаемый газосиликатобетон		
		норма расхода на 1м ³	цена, тенге	сумма, тенге	норма расхода на 1м ³	цена, тенге	сумма, тенге
Известково-шлаковые вяжущие	кг	-	-	-	306	12700	3886
Цемент	кг	320	26000	8320	63	12700	800
Барханный песок	кг	-	-	-	242	250	60,5
Песок	кг	460	2750	1265	-	-	-
Гипс	кг	19	16,9	321	19	16,9	321
Воллостонит	кг	-	-	-	6,3	150	945
Алюминиевая пудра	кг	0,52	1562	781	0,52	1562	781
ПАВ	кг	0,028	312,5	8,75	0,028	312,5	8,75
Вода	литр	324	250	81	324	250	81
Известь	кг	60	18,8	1128	-	-	-
Итого	кг			11904			6883

Затраты на изготовление базового газосиликатного бетона определяются:

$$З_1 = C_1 + 0,15 \cdot K_{уд1} \quad (5.1)$$

где $З_1$ – затраты на изготовление 1 м³ газосиликатного бетона автоклавной обработки, тенге/м³; C_1 – себестоимость изготовления 1 м³ ячеистого бетона, тенге; $K_{уд1}$ – удельные капитальные вложения на оборудование (автоклавов) для тепловой обработки;

$$K_{уд1} = \frac{K}{V} \quad (5.2)$$

K – стоимость оборудования (автоклавов) для тепловой обработки бетона, тенге;

V – объем изготовления газосиликатного бетона, м³.

Стоимость одного автоклава составляет 25 млн. тенге.

Годовая экономическая эффективность составит:

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) \cdot V \quad (5.3)$$

где $\mathcal{E}$ – годовая экономическая эффективность, тенге;

C_1 – себестоимость изготовления ячеистого бетона по базовому составу – 11 904 тенге;

C_2 – себестоимость изготовления газосиликатного бетона, предлагаемого состава – 6 883 тенге.

В результате исследования по разработке составов и технологий автоклавного ячеистого бетона было выпущено опытно-промышленная партия объемом 25 м³.

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) \cdot V = (11904 - 6883) \cdot 25 = 125\,525 \text{ тенге.}$$

Себестоимость предлагаемой технологии газосиликатных бетонов по сравнению с базовым составом меньше на 5 021 тенге на 1 м³ изделия.

Экономический эффект от применения автоклавного газосиликатного бетона объемом 25 м³ составит 125 525 тенге.

Опытно-промышленное внедрение приведено в Приложении В настоящей работы.

5.7 Выводы

1 Для получения качественного газосиликатного бетона заданной плотности и прочности, в заводских условиях, в пооперационный контроль технологических операций необходимо включить пункт контроля – рост пластической прочности смеси.

2 Установлено, что кристаллы волластонита устойчивы в щелочной среде и в условиях насыщенного пара и высокой температуры при автоклавной обработке не теряют армирующих свойств. 12% добавка волластонита, от массы вяжущего, при автоклавной обработке приводит к

увеличению прочности на изгиб, и может служить хорошей заменой асбесту в газосиликатных бетонах.

3 Установлено, что динамика набора пластической прочности по резательной технологии фирмы «Маза-Хенке» должна быть в первый час 0,005 МПа, второй – 0,015, третий – 0,02 МПа и в момент резки – 0,04-0,05 МПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Широкое использование природного волластонита (метасиликата кальция) в производстве изделий и конструкций из газосиликатного бетона

весьма перспективно, из-за богатейших промышленных запасов волластонитовых руд Казахстана и весьма положительного влияния на все физико-механические и эксплуатационные свойства.

2 Установлено, что на поверхности кристаллов волластонита в известково-кремнеземистых композициях (в процессе автоклавного синтеза) нарастает слой гидратных новообразований низкоосновных гидросиликатов кальция, а сами кристаллы волластонита играют роль арматуры.

3 Установлено, что 30%-ая замена песка на ЭТФшлак и добавление 12%-ого волластонита от веса цемента, существенно повышают физико-механические свойства газосиликатного бетона, особенно прочность на растяжение при изгибе на 52,2% при плотности 700 кг/м³.

4 Установлено положительное влияние добавки волластонита на газосиликатобетоны как автоклавного, так и неавтоклавного твердения, причем эффект роста физико-технических свойств наблюдается и при использовании полиминерального барханного песка.

5 Экспериментально установлены оптимальные технологические параметры получения качественного автоклавного газосиликатного ячеистого бетона. Состав бетона (тонкомолотый шлак 92%: известь 8%), отношение кремнеземистого компонента к вяжущему «С» равного 0,78 или 44:56, количество волластонита 12%, полуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$) 3% вводимого для улучшения свойств газосиликата и регулирующие сроки схватывания газосиликатобетонной смеси.

6 Высокие прочностные показатели газосиликатного бетона на основе электротермофосфорного шлака и барханного песка обусловлены наличием гидросиликатов типа C_2SH (А), CSH (В), тоберморита, гиролита и ксонотлита, содержание которых, обеспечивается подбором рационального состава смеси и режимом автоклавной обработки.

7 Установлено, что наибольшая прочность, нарастание скорости газообразования и повышение коэффициента использования алюминиевой пудры происходит при одновременном вводе в смесь 3% полуводного гипса и 12% волластонита от веса сухих компонентов. Сроки вспучивания сокращаются, что позволяет производить газосиликатный бетон высокого качества.

8 Установлен оптимальный режим автоклавной обработки 2+8+2 часа при давлении 1,2 МПа и температуре 191⁰С газосиликатного бетона.

9 Установлено, что кристаллы волластонита устойчивы в щелочной среде и в условиях насыщенного пара и высокой температуры при автоклавной обработке без потерь армирующих свойств при автоклавной обработке приводит к увеличению прочности на изгиб, и может служить хорошей заменой асбесту в газосиликатных бетонах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Послание Президента Республики Казахстан народу Казахстана

- «Новые возможности развития в условиях четвертой промышленной революции». Астана. 10 января 2018г.
- 2 Закон Республики Казахстан от 13 января 2012г. №541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 15.01.2019г.)
- 3 Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года №1050 «Об утверждении Государственной программы жилищно-коммунального развития «Нұрлы Жер» на 2020-2025 годы.
- 4 Назарбаев Н.А. Государственная программа от 27 января 2012 года в Послании Президента «Доступное жилье - 2020».
- 5 Омаров К.О. Строительство Казахстана на подъеме. Ж. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №5.2006г. Москва.
- 6 Ахметов Д.А., Ахметов А.Р, Бисенов К.А. Ячеистые бетоны. - Алматы. Ғылым. 2008 г. - 384 с.
- 7 Куатбаев К.К. Силикатные бетоны из побочных продуктов промышленности. - М. Стройиздат. 1981г. - 246с.
- 8 Трамбовецкий В.П. Ячеистый бетон в современном строительстве. Ж. Технологии бетонов. №2. 2007г. Москва.
- 9 Убиштаева Б.Б. Производственные отходы, как сырье для производства строительных материалов и конструкций. Педагогический журнал Adisteme.kz, 2016.
- 10 Ниязбекова Р. К. Свойства силикатных материалов, содержащих сталеплавильные шлаки. – Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века: труды XIII Международного семинара Азиатско-Тихоокеанской академии материалов. – Новосибирск, 2006. Т.2.-С.87-88
- 11 Гаджилы Р.А. Целенаправленное изменение пористой структуры строительных материалов//Стройматериалы. – М., 2001. — №8. — С.41-43.
- 12 Назарбаев Н.А. Индустриально-технологическое развитие Казахстана ради нашего будущего // Выступление Президента РК на внеочередном XII съезде НДП «НУР ОТАН» // Казахстанская правда – 2009 г.
- 13 Омаров К.О. Строительство Казахстана на подъеме // «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века». – Москва, 2006. – №5.
- 14 Ахметов Д.А. Влияние вещественного состава цементов на основные свойства ячеистого бетона. НТК // Вестник НИИСтромпроекта. №1-2(12). 2007.
- 15 Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов. М.: Госстройиздат, 1961.6.48.
- 16 Волженский А.В. Шлаки и золы в производстве ячеистобетонных изделий «Строительные материалы», 1969г., №8.
- 17 Волженский А.В., Буров Ю.С., Виноградов Б.Н., Гладких К.В. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. М., Стройиздат, 1969г., 392с.
- 18 Книгина Г.И. Ячеистые бетоны на горелых породах Кузбасса. В книге: Производство легких бетонов в Западной Сибири. Новокузнецк. 1962г., 130с.

- 19 Ахметов А.Р., Бисенов К.А. Ячеистые бетоны на основе отходов промышленности для сельского строительства // РНТК «Научно-технический прогресс в технологии строительных материалов». Госстрой КССР, Минобразования. КССР, РМННТИ по строительству, ААСИ. Алма-Ата, 1990.
- 20 Ахметов А.Р. Совершенствование технологии и улучшение свойств ячеистого бетона на сырье Казахстана. Диссертация докт. техн. наук. Алматы. 1995г. с 391.
- 21 Меркин А.П., Филин А.П. Критические значения пористости и вопросы создания оптимальной макроструктуры ячеистых бетонов. Силикаль-цит. №2, Таллинн. 1965., с.31-33.
- 22 Баранов А.А., Бахтияров К.И., Бобров О.Д. К вопросу прочности и долговечности ячеистых бетонов. / Бетон и железобетон. – 1962.,19., с.
- 23 Сахаров Г.П., Корниенко П.В. Образование оптимальной структуры ячеистого бетона «Строительные материалы» - 1973, №10. - с.30-33.
- 24 Сахаров Г.П., Никифорова Е.П. Ячеистые бетоны естественного твердения в книге: «Вклад ученых в научно-технический прогресс в строительстве» - Караганда, 1985 - с.85.
- 25 Баранов А.Т. Основы формирования структуры ячеистых бетонов автоклавного твердения. Диссертация докт. техн. наук. - М. 1981г. - 378с.
- 26 Ахметов А.Р., Бисенова К.А., Ахметов Д.А., Копжасаров Б.Т. Факторы, влияющие на эксплуатационную стойкость изделий из ячеистого бетона // Газета «Строительство и Архитектура» №33 /117/2 октября, 2002г.
- 27 Горчаков Г.И., Сахаров Г.П., Данилин В.К. Условия оптимального структурообразования ячеистых бетонов. - В кн.: Легкие наружные стены, Л., ЛенЗНШЭП, 1973., - с.39.
- 28 Ахметов А.Р. Исследование пористой структуры ячеистого бетона и связи ее со стойкостью. - Дис. канд. техн. наук. - М., 1974.-с.141.
- 29 Ахметов Д.А., Ахметов А.Р. Повышение стабильности плотности и прочности ячеистобетонных изделий //НПЖ «Архитектура, строительство, дизайн». Ташкент, №1, 2006г.
- 30 Powers T.C. Journal of American ceramic Society, v 41, 1, 1958
- 31 Powers T.C. Helmutn R.F. Theory of volume changes in harened portlandcemeut pasts during freezing. Proceeding of the highway research board, №32, 1953.
- 32 Reinsdorf S. Leichtbeton, B II, Porenbetone. Berlin, 1965.
- 33 Кудряшев И.Т., Куприянов В.П. Ячеистые бетоны. М.Госстройиздат 1959 г. 181 с.
- 34 Ахметов А.Р. Перспективы развития и расширения сырьевой базы строительных материалов. В сб.: Труды международной НТ и УМТКонференции. «Актуальные проблемы науки, технологии, производства и образования».- Шымкент, 1993.- с.104-106.
- 35 55. Комарова Н.Н. Автоклавный материал на фосфорном шлаке и барханном песке. Автореф.дисс.на соиск.учен.степ.канд.техн.наук.- Л.,

ЛИСИ, 1975.- с.26.

36 Гладких К.В. Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол. М., Стройиздат, 1976г., 255с.

37 Сахаров Г.П. Ячеистый бетон: новый этап развития.ж. Технологии бетонов. №6.2006г. Москва.

38 Blain R.L. Hunt C.M., Thomas L.A. Use of internal-surfacearca measurements in research an freezing and thawing of materials. Highway Research Board Proccedings 1953.

39 Collins A.R. The Destruction of Conerete by Frost. Journal of the Institution of civil Engineers vol 23, №1,1944.

40 Vollautomatische Gasbetonherstellung im Werk Widel. «Betonstein - Zeitung» 1966, №8, s.481.

41 Durox gas concrete, Prefabrication, 1956, vol.3, №29, p.216.

42 Заводы ячеистого бетона. Бюро строительства и промышленности стройматериалов. «Секор» (ПНР), Варшава., с.110.

43 Бонеман К., Дашнер П.. «Выдающиеся особенности ячеистобетонных технологий «WENRHAN» с учетом производственных условий стран СНГ». Журн.«Строительный рынок». №9-10, 2006г.- с.40-45, г. Минск.

44 Граник Ю.Г. «Применение ячеистого бетона в строительстве Российской Федерации». Журн. «Строительный рынок». №9-10, 2006г. Стр.12-15. г.Минск.

45 Попов К.И. Технология и свойства ячеистого бетона оптимизированной структуры. - Дис. канд. техн. наук. – М., 1979. - 151с.

46 Сахаров Г.П., Попов К.И., Юлдашев З.М. Усадка и ползучесть ячеистого бетона с оптимальной структурой. - Бетон и железо-бетон. 1979, №4, с.30-32.

47 Аскарров Б., Байболов С., Касимов И., Кулибаев А., Рапопорт П., Тшанов А., Фарман Л., Хрулёв В. Сырьевые ресурсы и материалы для строительства в Казахстане и Узбекистане. Алматы; Ташкент, 1995г.

48 Гладких К.В. Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол. М., Стройиздат, 1976г., 255с.

49 Песцов В.И., Оцоков К.А., Велегжанин В.П., Пинскер В.А. Эффективность применения ячеистых бетонов в строительстве России // Строительные материалы, № 3, 2004. - с. 7-8.

50 Назарбаев Н.А. Послание Президента Республики Казахстан Нурсултана Назарбаева народу Казахстана // Казахстанская правда от 19 февраля 2005г.

51 Кульдма Х.А., Крейс У.С. Исследование деформации сланцезольного газобетона в переменных влажностных условиях. В сборнике: «Исследования по строительству», УП. Издание Госстроя ЭССР, Таллинн.- 1977.

52 Федынин Н.И. Технология неавтоклавного ячеистого золобетона повышенной прочности и долговечности. Ж., Строительные материалы., №11, 1990.

- 53 Валдре Ю.А. Исследование технологии автоклавного газокермита. Автореферат диссертации кандидата технических наук, Таллинн, 1963.-20с.
- 54 Дубровина Н.И. Исследование влияния видов и качества сырья на трещинообразование в ячеистых бетонах в процессе автоклавной обработки. Автореферат диссертации кандидата технических наук, Свердловск, 1972, 26с.
- 55 Куатбаев К.К., Ройзман П.А. Ячеистые бетоны на малокварцевом сырье. Стройиздат, М., 1972г., 192с.
- 56 Шейкин А.Е., Федоров А.Е., Сеницын В.В. Трещиностойкость ячеистых бетонов в условиях службы при переменной относительной влажности окружающего воздуха и способе ее оценки. В сб. «Долговечность конструкций из автоклавных бетонов». Таллинн. 1972.
- 57 Габриэлян И.Г. Исследование долговечности газосиликатов на основе некоторых изверженных пород. Автореферат дисс.канд.техн.наук М., 1973., с.23.
- 58 Кривицкий М.Я. Жароупорный пенобетон, его свойства и применение. Стройиздат 1950.61 с.
- 59 Муст Х.И. Исследование морозостойкости и усадки газосиликатов объемной массой 500-600 кг/м³ в зависимости от технологии изготовления. Диссертация канд.техн.наук, Рига, 1971., с.141.
- 60 Ахметов А.Р., Ахметов Д.А. Изделия из ячеистого бетона – эффективный материал для сейсмостойкого строительства // Вестник Инженерной академии РК. - 2000. - №5.
- 61 Ахметов А.Р., Дмитриев С.В., Умарова Н.У., Тенякова Н.В. Использование золы ГРЭС в ячеистом бетоне. В сб.: Республ. конференции ААСИ, Алма-Ата, 1990.- с.52-53.
- 62 Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М., Стройиздат. 1979г. 343стр.
- 63 Иваницкий В.В., Сапелин Н.А. Теоретические и практические аспекты оптимизации структуры пористых бетонов. // Строительные материалы. 2002. -№3. - С.32-33
- 64 Миронов С.А., Кривицкий М.Я., Малинина Л.А. и др. Бетоны автоклавного твердения. Стройиздат, М., 1968., с.279.
- 65 Баранов А.Т., Ухова Т.А., Бисенов К.А., Ахметов А.Р. Исследование стойкости бесцементного газобетона на основе вторичных продуктов промышленности // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез.докл. УІ респ.конф. Таллинн: Валгус, 1987. Ч.11. с.198-200.
- 66 Силаенков Е.С. Долговечность крупноразмерных изделий из автоклавных ячеистых бетонов. Стройиздат, М., 1964., 103с.
- 67 Бутт Ю.М., Майер А.А. Изучение процесса взаимодействия кремнезёма с гидроокисью кальция при автоклавной обработке. Сборник трудов РОСНИИМС. №11. 1956г.
- 68 Ухова Т.А., Усова Л.С. О комплексных химических добавок,

применяемых в технологии ячеистых бетонов. Тезисы докладов IV республиканской конференции, Таллинн НИИ строительства ЭССР, 1981, с.141-145.

69 Шейкин А.Е. Влияние минералогического состава цемента на усадку растворов. Труды НИИцемента. №2. Промстройиздат. 1948.

70 Куатбаев К.К. Исследования в области технологии и применения автоклавных силикатных материалов. В сб. Строительные материалы из местного сырья и отходов промышленности Казахстана. №17, 1981., 15-20с.

71 A.Ismailov, K.Baybolov, R.Ristavletov, B.Kopzhasarov, M.Kambarov, U.Ussipbayev, R.Kudabayev and S.Mominova «Effect of Cost-Effective Alkaline Additives on the Hydration of Slag-Cement Mixtures» Journal of Advanced Concrete Technology, volume 16 (2018), pp.429-440

72 Разработка методики расчета удельных выбросов вредных веществ в атмосферу на единицу продукции в производстве желтого фосфора. Отчет о НИР, т.1, КазНИИГипрофосфор, ДСП №24: рук.Шауберт Г.Г.; испол.; Карпенко В.А. и др. - Чимкент. 1980.- С.15-16, - С.30-34.

73 Копжасаров Б.Т., Моминова С.М., Ким К.Д. Исследования характеристики сырьевых материалов газосиликатобетонов на основе гипсовых вяжущих, волластонита и химических добавок. Труды Международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения – 15: Третья модернизация Казахстана – Новые концепции и современные решения», посвященной 120-летию Мухтара Омархановича Ауэзова, Шымкент 2017г.

74 Волластонит /В.П. Петров, Е.Д. Белянкина, М.А. Лицарев и др. М.: Наука, 1982.- 107 с.

75 Копжасаров Б.Т., Моминова С.М., Сапаров С.А., Ибраев О.С., Структурные особенности и технические свойства волластонита и его применения в газосиликатном бетоне. Труды Международной научнопрактической конференции «Ауэзовские чтения – 15: Третья модернизация Казахстана – Новые концепции и современные решения», посвященной 120-летию Мухтара Омархановича Ауэзова, Шымкент 2017г.

76 А.С. Смбатян «Международные торговые споры в ГАТТ/ВТО. Избранные решения (1952-2005 гг.)»

77 «Асбест: реальность, проблемы, рекомендации». Москва, 2008. <http://www.ecoaccord.org>

78 Tengri.news Заявление ВОЗ о вызывающем рак асбесте прокомментировали в Казахстане, 2018.

79 Вестник Карагандинского университета Ш.С.Койгельдинова, С.А.Ибраев, Г.О.Жузбаева, А.К.Касымова «Современный взгляд на проблему профессиональных заболеваний легких от воздействия хризотил-асбеста» Караганда 2016.

80 Экономика волластонита / Аналитический обзор английской компании Роскилл, Лондон, 1995г.

81 Тимашев В.В., Никонова Н.С., Матюхина О.Н. Изучение влияния

добавок природного волластонита на свойства известково-кремнеземистого камня, плотного силикатного бетона и силикатного кирпича. // Строительные материалы // . 1982., №1.-с.23-24.

82 Гулямов М.Г., Ахмедов М. Волластонитовый цемент и его свойства. М.: Наука, 1982г., с.86-89.

83 Гулямов М.Г., Ахмедов М., Мир-Рахимов М. Изучение влияния волластонита на свойства белого портландцемента // Узбекский химический журнал.- 1978.-№3.-с.44-50.

84 Гайдаш Б.И., Деревягин Г.Ф., Деревягина А.А. Экспериментальные исследования возможности получения специальных марок бетона на основе волластонитового сырья // М.: Наука, 1982.-с.90-91.

85 Канцельпольский И.С. Камолов Г., Атакузиев Т.А. Волластонит как заполнитель для высокопрочных цементных растворов // ДАН УзССР. - 1972.- №7.-с.27-28.

86 Нурулаев В.П., Сандахметова К.Ю. Исследование влияния добавок волластонита на свойства строительных растворов // Архитектура и строительство Узбекистана. - 1985.- №11.-с.36-38.

87 Григорян Г.О., Мурадян А.Б., Григорян К.Г. Волластонит. Получение и применение // Армянский химический журнал. - 1990.-43.- №5. - с.296-315.

88 Петров В.Н. Волластонит как минерал и полезное ископаемое. М.: Наука, 1982.-с.5-15.

89 Череватский А.М.и др. Волластонит – эффективный наполнитель эпоксидных полимеров // Пластические массы. – 1982. - №5, с.47-48.

90 Хохолькова Л.А., Досатаев Е.Д., Лапкина Е.И. Использование волластонита Босагинского месторождения в строительной керамике // Труды Алма-Атинского НИИСтромпроект. - 1971. - Вып. 13.

91 Бисенов К.А. Технология ячеистых бетонов с использованием барханных песков и отходов обогащения флюоритовых руд с учетом факторов жаркого климата: Автореф.дис...докт.техн.наук. Томск, 1995.

92 Акатьева Л.В. Синтез и физико-химические свойства ксонотлита и волластонита: дис. Кандидата химических наук/Ин-т общей и неорг. Химии им.Н.С.Курнакова РАН М.:2003г.

93 Урьев Н.Б. Взаимосвязь контактных взаимодействий и структурно-реологических свойств цементных паст, растворных и бетонных смесей. - Тезисы докл. IV Всесоюзн.симпозиума/Реология бетонных смесей и ее технологические задачи. - Рига: РГМ, 1982.-с.3-6.

94 Мананков А.В., Горюхин Е.Я., Локтюшин А.А. Волластонитовые, пироксеновые и другие материалы из промышленных отходов и недефицитного природного сырья. Томск: Томский государственный университет, 2002 -168с.

95 Экономика волластонита / Аналитический обзор английской компании Роскилл, Лондон, 1995г.

33. Панина А. А. Волластонит – нетрадиционная минеральная добавка – наполнитель в портландцемент: науч. изд. / А. А. Панина [и др.] // Вестн.

- 96 Тимашев В.В., Никонова Н.С., Матюхина О.Н. Изучение влияния добавок природного волластонита на свойства известково-кремнеземистого камня, плотного силикатного бетона и силикатного кирпича. // Строительные материалы // . 1982., №1.-с.23-24.
- 97 Эйрих В.И. О применении волластонита в производстве композиционных материалов и изделий на основе цемента / В.И.Эйрих, С.В.Березовский, И.П.Тарантул, И.Н.Иорамашвили, Г.В.Конов // Строительные материалы, 2002.-№1.-с.14-17.
- 98 Умарова М.Ш., Назаров А. Влияние природного волластонита на свойства керамических масс на основе электрофосфорных шлаков //Труды ВНИИ строительных материалов и конструкций. – 1985. -№8. – с.77-85.
- 99 Винчелл А.Н., Винчел С.В. Оптические свойства искусственных минералов. – М.: Мир, 1976.-260с.
- 100 Азаров Г.М. Волластонитовое сырье и область его применения (обзор) / Г.М.Азаров, Е.В.Майорова, М.А.Оборина, А.В.Беляков // Стекло и керамика. 2002.-№11.-с.2527
- 101 Мамедов Х.С.,Белов Н.В. Кристаллическая структура волластонита /ДАН СССР -1956 Т.107 -№3 с 463-466
- 102 Бекеев А., Куатбаев К.К., Оспанов Н.М. Ячеистый бетон на основе полевошпатового сырья и шлака электротермофосфорного производства. В сб.: Строительные материалы из местного сырья и отходов промышленности Казахстана. №16, 1972. – с.100-107.
- 103 Моминова С.М., Копжасаров Б.Т., Усенкулов Ж.А. Повышение прочностных характеристик газосиликатного бетона с использованием природного волластонита и электротермофосфорного шлака. Промышленный транспорт Казахстана, 2019 №4 (65)
- 104 Тюльнин В.А., Ткач В.Р., Эйрих В.И., Стародубцев Н.П., Волластонит: уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003г.
- 105 Бекеев А. Автоклавные силикатные материалы на основе шлаков электротермофосфорного производства и малокварцевого сырья: автореф. ... канд.техн. наук: – Ташкент,1975.-18 с.
- 106 Аяпов У.А., Шорманова З.Б. и др. Бетоны и растворы на основе гранулированного фосфорного шлака// Комплексное использование фосфорных шлаков для производства строительных материалов. - Алма-Ата. 1979.-С.13-14.
- 107 Боженков П.И., Кузнецова Т.В. Роль минералогического состава заполнителей в формировании свойств бетонов // VI конференции по бетону и железобетону. Л., 1966.-С.241-244.
- 108 Ларионова З.М., Никитина Л.В., Гаранин В.Р. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона. – АМ.: Стройиздат, 1977.-263с.

- 109 Ахметов А.Р., Баранов А.Т. Влияние состава и структуры ячеистого бетона на его долговечность. (Ячеистый бетон и ограждающие конструкции из него). М., 1985. НИИЖБ, Госстрой СССР, с. 3-9.
- 110 Комарова Н.Н. Автоклавный материал на фосфорном шлаке и барханном песке. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: -Л. 2003. С.58-68
- 111 Чарыев А.Ч., Чистов Ю.Д., Волженский А.В., Ларгина О.И. Применение неавтоклавного газобетона из барханного песка. Ж. БиЖ/Б, №7. 1988.
- 112 Исследование условий применения Чардаринских песков для производства плотных и газосиликатных бетонов. Отчет о НИР., КахХТИ: рук. Шарафиева З.Ш.; испол.: Комарова Н.Н. и др. -Чимкент, 1970. -С.31-42.
- 113 Алехин Ю.А., Дюсенбаев А.Д., Исмаилов М.А., Сагунов В.Г. Минерально-сырьевая база строительных материалов Казахской ССР. А-Ата, 1973.- «Казахстан».- с.591.
- 114 Боженков П.И. Технология автоклавных материалов. Л., Стройиздат, 1978.-с.368.
- 115 Глуховский В.Д. Щелочные и щелочноземельные гидравлические вяжущие вещества и бетоны. –Киев. Вища школа, 1979.
- 116 Апиев, А.Г. Искусственный конгломерат на основе барханных песков Узбекистана [Текст]: научное издание / А.Г. Апиев, А.У. Урупов, Х.Д. Аджибаев //Всесоюзная научно-техн. конф. "Теория, производство и применение искусственных строительных конгломератов в водохозяйственном строительстве Тез. докл.- Ташкент, 1985. - С. 13-14.
- 117 Виноградов Б.Н. Сырьевая база промышленности вяжущих веществ СССР. М., Недра, 1971.- с.314.
- 118 Владимирова Л.А., Влияния CaF_2 и P_2O_5 на свойства шлаков от возгонки фосфора // В кн.: Автоклавные шлакопесчаные бетоны на базе отвалных металлургических шлаков. -М.: ЦБТИ, 1958. - 242 с.
- 119 Казова Р.А., Гладун В.Д., Сулейменов Х.Т. и др. Получение моносилката кальция в термолитических условиях из фосфорных шлаков. //Комплексное использование минерального сырья, №3-7, 1991, с.76-80.
- 120 Соломатов В.И., Коренькова С.Ф., Чумаченко Н.Г. Новый подход к проблеме утилизации отходов в стройиндустрии // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2000. - №1. - С.8-10.
- 121 Диссертации в Техносфере: <http://tekhnosfera.com/yacheistyuy-beton-na-osnove-vnv-s-ispolzovaniem-othodov-kma#ixzz6nBG8CpAB> Ахметов А.Р., Комарова Н.Н., Лысенко Н.П., Шарафиева З.Ш. Хранение известково-шлакового вяжущего на основе фосфорных шлаков. В сб.: Труды международной НТ и УМТконференции «Актуальные проблемы науки, технологии, производства и образования.- Шымкент, 1993, Т.2.- с.80-84.
- 122 Комарова Н.Н., Лысенко Н.П., Ахметов А.Р., Жунисов С.Ж., Шарафиева З.Ш. О влиянии сроков хранения известково-шлакового

вяжущего на прочность автоклавного бетона. ХУ Конференция Силикатной промышленности и Науки о Силикатах. Будапешт, 1989.

123 Singh, N. B. and Bhattacharjee, K. N., (1996). "Phosphorus furnace slag-A potential waste material for the manufacture of cements." *Indian J. Eng. Mater. Sci.*, (3), 41-44.

124 Yusof, M. A. W., (2005). "Investigating the potential for incorporating tin slag in road pavements." Thesis (PhD). University of Nottingham. University of Nottingham.

125 Liu, X. W., Yang, L. and Zhang, B., (2013). "Utilization of phosphorus slag and fly ash for the preparation of ready-mixed mortar." *Applied Mechanics and Materials*, 423-426, 987-992.

126 Taneja, C. A. and Tehri, S. P., (1976). "Suitability of phosphorus slag for making slag cement." CBRI report, Cement.

127 Cao, J. and Wang, Z., (2013). "Effect of Na₂O and heat-treatment on crystallization of glass-ceramics from phosphorus slag." *Journal of Alloys and Compounds*, 557, 190-195.

128 Chen, X., Zeng, L. and Fang, K., (2009). "Anti-crack performance of phosphorus slag concrete." *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 14(1), 80-86.

129 Li, C., Sun, H. and Li, L., (2010). "A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cements." *Cement and Concrete Research*, 40(9), 1341-1349.

130 Allahverdi, A., Pilehvar, S. and Mahinroosta, M., (2016). "Influence of curing conditions on the mechanical and physical properties of chemically-activated phosphorus slag cement." *Powder Technology*, 288, 132-139.

131 Razak, H. A. and Sajedi, F., (2011). "The effect of heat treatment on the compressive strength of cement-slag mortars." *Materials & Design*, 32.

132 Sajedi, F. and Razak, H. A., (2011a). "Comparison of different methods for activation of ordinary Portland cement-slag mortars." *Construction and Building Materials*, 25(1), 30-38.

133 Sajedi, F. and Razak, H. A., (2011b). "Effects of thermal and mechanical activation methods on compressive strength of ordinary Portland cement-slag mortar." *Materials & Design*, 32.

134 Allahverdi, A. and Saffari, M., (2011). "Chemical activation of phosphorus slag with a solid compound activator." *Proceedings of Fourth International Conference on non-traditional cements and concretes, Czech Republic, Brno*.

135 Bellmann, F. and Stark, J., (2009). "Activation of blast furnace slag by a new method." *Cement and Concrete Research*, 39(8), 644-650.

136 Li, C., Sun, H. and Li, L., (2010). "A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cements." *Cement and Concrete Research*, 40(9), 1341-1349.

137 Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J. and Jalali, S., (2008). "Alkali-activated binders: A review: Part 1. Historical background, terminology, reaction

mechanisms and hydration products.” Construction and Building Materials, 22(7), 1305-1314.

138 Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М., Стройиздат.1971. – с.183-187.

139 Кондо Р., Уэда Ш. Кинетика и механизм гидратации цемента. В тр. VI международного конгресса по химии цемента. – М., 1976. -27 с.

140 Бисенов К.А., Касимов И.У., Тулаганов А.А., Удербает С.С. Легкие бетоны на основе безобжиговых цементов. Алматы: Ғылым. 2005. – с. 195-196.

141 Моминова С.М., Копжасаров Б.Т., Ким К.Д. Влияние зернового состава природных и обогащенных полиминеральных барханных песков на прочностные свойства газосиликатобетона на основе шлакового вяжущего материала. Вестник КазНУТУ №2 (132), Алматы 2019.

142 Моминова С.М., Копжасаров Б.Т. Моделирование процесса гидратации шлаковых вяжущих с оптимизацией технологии получения бетонов. Вестник КазГАСА 1(71), Алматы 2019г.

143 Химельблау Д. Прикладное нелинейное программирование – М.: Мир, 1985. – 554 с.

144 Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления: учебное пособие / под ред. И.Г.Черноруцкий. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.-256с.

145 Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М., ВНИИПИ. 1981. – 44с.

146 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80

147 Моминова С.М., Копжасаров Б.Т., Садыков Ж.А. Технология газосиликатного бетона с использованием промходов и некондиционного сырья. Вестник КазГАСА №4 (74), Алматы 2019.

148 Mominova S., Kopzhasarov B., Kim K.D. Investigation of the properties of slag binders and autoclaved gas silicate concrete on long storage under normal conditions and the concrete strength in light waters. Найновите постижения на европейската наука – 2019, Сомия 2019.

149 Куатбаев К.К. Бекеев А.Б. Водо- и морозостойкость автоклавных силикатных бетонов// Использование шлаков, получаемых при электротермической переработке руд месторождения Каратау Каз.ССР, для изготовления строительных материалов и изделий. Алма-Ата. 1976.-С.20-29.

150 Гладких К.В. Ячеистые бетоны на основе местных вяжущих// Технология и применение в строительстве автоклавных силикатных материалов. ВХО им. Д.И. Менделеева, -М., 1962.-С.61-69.

151 Акимов А.В. Разработка ячеистого дисперсно-армированного бетона автоклавного твердения модифицированного активными минеральными добавками. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Иваново 2016. С.122-124.

152 Бутт Ю.М., Рашкович Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. -М., Стройиздат. 1975.С.78-81.

- 153 Бутт Ю.М., Куатбаев К.К. Долговечность автоклавных силикатных бетонов. М.: Госстройиздат, 1966. С.87.
- 154 Моминова С.М., Копжасаров Б.Т., Исмаилов А.А., Ким К.Д. Исследование морозостойкости газосиликатного бетона на основе шлаковых вяжущих и полиминеральных барханных песков. 15 международной научно-практической конференции «Veda a Technologie: Krok Do Buoucnosti – 2019» (Прага, 2019);
- 155 Ахметов А.Р., Бисенов К.А. Современное состояние и перспективы производства ячеистого бетона в Казахстане. Алматы: Ғылым, 1998. С.28-32.
- 156 Крейс У., Оямаа Э., Рейман В. Влияние давления пара при автоклавной обработке на морозостойкость мелкозернистого бетона. Доклады международной конференции по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций. М.:1964. С. 49-54.
- 157 Волженский А.В. Водно-термическая обработка строительных материалов в автоклавах. М. АСИА СССР, выпуск №15, 1944г., 71с.
- 158 Кржеминский С.А. Исследование влияния содержания тонкомолотого песка в сырьевой смеси и удельной поверхности кремнеземистого компонента на скорость твердения и прочности известковопесчаных материалов автоклавного твердения // Труды РОСНИИМСа, 1958. №14. - С.30-41.
- 159 Кривицкий М.Я., Счастный А.Н. Эффективные режимы автоклавной обработки для крупноразмерных изделий из ячеистых бетонов. VI конференция по бетону и железобетону. Выпуск №2, Стройиздат, М., 1966г., 50с.
- 160 Кулибаев А.А., Касимов И., Ахметов А.Р., Ахметов Д.А. Эксплуатационная стойкость строительных материалов // Вестник Национальной инженерной академии РК. 2006. №2(20).
- 161 Куатбаев К.К. и др. Долговечность автоклавных силикатных материалов на фосфорном шлаке и барханных песках Казахстана// Труды Алма-Атинского НИИСтрома. вып. 2. -Алма-Ата, 1970.- С.20-26.
- 162 Автоклавный ячеистый бетон: Пер. с англ./ Ред.совет: Г.Бове (пред.) и др. М.: Стройиздат, 1981. 88 с.
- 163 Гасанов, Я.А. Технология и свойства ячеистого бетона на грубодисперсных композициях из барханного песка [Текст] - Дисс.... к.т.н. – Ашхабад: 1980. – 183 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Ф.7.07-14

Согласовано:

Проректор по НР и И

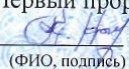
 Сулейменов У.С.

(ФИО, подпись)

«04» 02 2020 г.

Утверждаю

Первый проректор

 Нурманбетов К.Э.

(ФИО, подпись)

«04» 02 2020 г.

АКТ

внедрения результатов научных исследований по докторской диссертации на соискание ученой степени PhD С.М.Моминовой по теме «Разработка технологии производства газосиликатных бетонов на основе фосфорных шлаков и полиминеральных песков в сочетании с природным волластонитом», выполненных в соответствии с госбюджетной НИР Б-16-06-01 «Комплексное использование минерального местного сырья и некондиционных материалов в современной технологии изготовления железобетонных изделий, ячеистых бетонов, отделочных и стеновых строительных материалов, изделий и конструкций» в учебный процесс.

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» в 2016-2019 гг.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР произведена разработка технологии по совершенствованию технологии и улучшению свойств газосиликатного бетона. Установлено, что у газосиликатного бетона с использованием электротермофосфорного шлака, барханного песка и дробленного природного волластонита происходит значительный прирост прочности на растяжение при изгибе и сжатии. Результаты исследований опубликованы в журнале Промышленный транспорт Казахстана №4 (65), 2019. Название статьи: «Повышение прочностных характеристик газосиликатного бетона с использованием природного волластонита и электротермофосфорного шлака».

выполненные докторантом С.М.Моминовой

под руководством к.т.н., доцента Б.Т.Копжасарова
и доктора PhD, профессора Ким Чун Хо

внедрены в учебный процесс:

в выполнение дипломных работ по дисциплине «Технология бетона» в разделе «Использование техногенных отходов по производству газосиликатного бетона».

Научный руководитель темы

 Копжасаров Б.Т.

Начальник отдела

координации научной деятельности

 Серкебаев М.К.

Директор ДАВ

 Омашева Г.И.

И.о. директора

департамента академических наук

 Серкебаев М.К.

Ф.7.07-14

Согласовано:

Проректор по НР и И

Сулейменов У.С.

(ФИО, подпись)

«04» 02 2020 г.

Утверждаю

Первый проректор

Нурманбетов К.Э.

(ФИО, подпись)

«04» 02 2020 г.

АКТ

внедрения результатов научных исследований по докторской диссертации на соискание ученой степени PhD С.М.Моминовой по теме «Разработка технологии производства газосиликатных бетонов на основе фосфорных шлаков и полиминеральных песков в сочетании с природным волластонитом», выполненных в соответствии с госбюджетной НИР Б-16-06-01 «Комплексное использование минерального местного сырья и некондиционных материалов в современной технологии изготовления железобетонных изделий, ячеистых бетонов, отделочных и стеновых строительных материалов, изделий и конструкций» в учебный процесс.

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» в 2016-2019 гг.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР произведена разработка технологических параметров производства газосиликатного бетона плотностью 600-700 кг/м³ с использованием шлака фосфорных производства, местного барханного песка и природного волластонита. Установлено, что разница между гранулированным электротермофосфорным шлаком и барханным песком незначительна. Результаты исследований опубликованы в Научном журнале «Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии» 1 (71), 2019. Название статьи: «Моделирование процесса гидратации шлаковых вяжущих с оптимизацией технологии получения бетонов».

выполненные докторантом С.М.Моминовой

под руководством к.т.н., доцента Б.Т.Копжасарова
и доктора PhD, профессора Ким Чун Хо

внедрены в учебный процесс:

в курсовые работы по дисциплине «Основы технологии стеновых и отделочных материалов» в разделе «Технология изготовления газосиликатного бетона».

Научный руководитель темы

Копжасаров Б.Т.

Начальник отдела

координации научной деятельности

Серкебаев М.К.

Директор ДАВ

Омашева Г.Ш.

И.о. директора

департамента академических наук

Серкебаев М.К.

Ф.7.07-14

Согласовано:

Проректор по НР и И
Сулейменов У.С.

(ФИО, подпись)

«04» 02 2010 г.

Утверждаю

Первый проректор
Нурманбетов К.Э.

(ФИО, подпись)

«04» 02 2010 г.

АКТ

внедрения результатов научных исследований по докторской диссертации на соискание ученой степени PhD С.М.Моминовой по теме «Разработка технологии производства газосиликатных бетонов на основе фосфорных шлаков и полиминеральных песков в сочетании с природным волластонитом», выполненных в соответствии с госбюджетной НИР Б-16-06-01 «Комплексное использование минерального местного сырья и некондиционных материалов в современной технологии изготовления железобетонных изделий, ячеистых бетонов, отделочных и стеновых строительных материалов, изделий и конструкций» в учебный процесс.

Настоящий акт составлен по итогам НИР, выполненной на кафедре
«Технология строительных материалов, изделий и конструкций» в 2016-2019 гг.

Настоящим актом подтверждается, что в результате НИР проведены физико-химические исследования по выявлению минералогического состава электротермофосфорного шлака и барханных песков в сочетании с природным волластонитом. Проведенные физико-химические и рентгенофазовые анализы исследования компонентов, позволили рекомендовать оптимальный состав для изготовления газосиликатных бетонов в строительной индустрии. Результаты исследований опубликованы в Трудах международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения – 15: Третья модернизация Казахстана – Новые концепции и современные решения», посвященной 120-летию М.Ауэзова, Шымкент 2017. Название статьи: «Исследования характеристики сырьевых материалов газосиликатобетонов на основе гипсовых вяжущих, волластонита и химических добавок»,

выполненные докторантом С.М.Моминовой

под руководством к.т.н., доцента Б.Т.Копжасарова
и доктора PhD, профессора Ким Чун Хо

внедрены в учебный процесс:

в лекционные занятия по дисциплине «Автоклавные материалы» в разделе «Подбор состава газосиликатного бетона».

Научный руководитель темы
Копжасаров Б.Т.

Начальник отдела
координации научной деятельности
Серкебаев М.К.

Директор ДАВ
Омашева Г.Ш.

И.о. директора
департамента академических наук
Серкебаев М.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

2348390

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ӘДІЛЕТ МИНИСТРЛІГІНІҢ
"ҰЛТТЫҚ ЗИЯТКЕРЛІК МЕНШІК
ИНСТИТУТЫ"
ШАРАУШЫЛЫҚ ЖҮРГІЗУ
ҚҰҚЫҒЫНДАҒЫ РЕСПУБЛИКАЛЫҚ
МЕМЛЕКЕТТІК КӘСПОРНЫ



РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ НА ПРАВЕ
ХОЗЯЙСТВЕННОГО ВЕДЕНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ»
МИНИСТЕРСТВА ЮСТИЦИИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Мәңгілік Ел даңғылы, ғимарат 57А, т.е.б. 8, Есіл ауданы,
Нұр-Сұлтан қаласы, Қазақстан Республикасы, 010000
Тел: (7172) 62 15 04 62 15 91
<http://www.kazpatent.kz>, e-mail: kazpatent@kazpatent.kz

Проспект Маңғилик Ел, җдәне 57А, и.п. 8, район Есиль,
горд Нур-Султан, Республика Казахстан, 010000
Тел: (7172) 62 15 04 62 15 91,
<http://www.kazpatent.kz>, e-mail: kazpatent@kazpatent.kz

Саипов Абдилла Абибуллаевич

мкр. 18, д. 10, кв. 69, Енбекшинский р-н,
iprv.rm.sksu@gmail.com, г. Шымкент,
160012
+77057224179

РЕШЕНИЕ

о выдаче патента на полезную модель

Регистрационный номер заявки 2020/0938.2

Дата подачи заявки 18.10.2020

В результате экспертизы заявки на полезную(ые) модель(и) в соответствии с пунктом 2 статьи 23 Патентного закона Республики Казахстан принято решение о выдаче патента на полезную модель.

Приложение: Заключение экспертизы на 2 л. в 1 экз

Подписано ЭЦП:
Н. Абулкаиров (заместитель директора)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
о выдаче патента на полезную модель

(21) Заявка № 2020/0938.2

(22) Дата подачи заявки 18.10.2020

ПРИОРИТЕТ УСТАНОВЛЕН:

- ☐ (22) по дате подачи заявки
☐ (23) по дате поступления дополнительных материалов от _____ к более ранней заявке № _____
☐ (66) по дате подачи ранее поданной заявки № _____ от _____
☐ (62) по дате подачи первоначальной заявки № _____ от _____
☐ по дате подачи первой заявки в государстве-участнике Парижской конвенции

(31) № приоритетной заявки (32) Дата подачи приоритетной заявки (33) Код страны приоритетной заявки

(85) Дата перевода международной заявки на национальную фазу

(86) Регистрационные данные заявки РСТ

(71) Заявитель(и) "М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті" коммерциялық емес акционерлік қоғамы (KZ)
Некоммерческое акционерное общество "Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова" (KZ)
(72) Автор (ы) Моминова Сауле Махмудовна (KZ); Копжасаров Бахадыр Тастанбекович (KZ); Ахметов Акбулат Раимбекович (KZ); Дуйсенбаева Сауле Токтасыновна (KZ); Колесников Александр Сергеевич (KZ)

(51) МПК

B28B 1/50 (1990.01)

(54) Название полезной модели

Способ изготовления газосиликатного бетона
Газосиликатты бетонды дайындау әдісі

(56)

На основании пункта 1 статьи 23 Патентного закона Республики Казахстан проверка соответствия заявленной полезной модели условиям патентоспособности, установленным пунктом 1 статьи 7 Патентного закона Республики Казахстан, не проводилась. Патент выдается на риск и под ответственность заявителя.

В результате экспертизы, проведенной в соответствии с пунктом 2 статьи 23 Патентного закона Республики Казахстан, установлено, что заявка относится к объектам, охраняемым в качестве полезных моделей и документы соответствуют установленным требованиям и выдается заключение о выдаче патента на полезную модель.

Подписано ЭЦП:
Р. Хамитов (начальник управления)
С. Майсатов (Главный эксперт)

Для публикации патента будет использовано описание полезной модели в редакции заявителя от 18.10.2020

В формулу внесены корректировки не изменяющие сущности заявленной полезной модели.

Для публикации патента будет использована измененная редакция формулы полезной модели.

***Внимание заявителя!** С целью исключения ошибок просьба проверить сведения, приведенные в заключении, т.к. они без изменения будут внесены в Государственный реестр полезных моделей Республики Казахстан, и незамедлительно сообщить об обнаруженных ошибках.*

К приложению о порядке
приемки, законченных НИР

опытно-промышленной проверки технического процесса

ТОО «Алтын Тастак», разработанного в ЮКГУ им.М.Ауэзов.

«26» октября 2019 года с утвержденной ТОО «Алтын Тастак»

(наименование организации и дата)

РАЗДЕЛ I

Проверка соответствия нового технологического процесса (его результатов) техническому заданию и техническим условиям: полученные газосиликатобетоны на основе полиминеральных барханных песков с добавкой тонкомолотого воластонита соответствуют требованиям действующих ГОСТ, техническим документам и временным рекомендациям по применению барханных песков в технологии автоклавного газосиликатобетона.

Проверка наличия комплекта документации: имеются и являются производственным сектором ТОО «Алтын Тастак», не подлежащие передаче другим организациям и заинтересованным лицам без согласия разработчиков ЮКГУ им.М.Ауэзова.

Опытно-промышленная проверка технологического процесса согласно программе проверки соответствует требованиям действующих нормативно-технических документов.

Проверка качества монтажно-сборочных работ оборудования технологического процесса производилась на базе ТОО «Алтын Тастак».

Общая оценка технологического процесса, конструктивных и технологических особенностей процесса основных показателей, полученных в процессе проверки, качества полученного материала, устойчивости и надежности процесса, патентоспособности, сравнение с отечественными и зарубежными достижениями в данной области.

ПРИЛОЖЕНИЕ

«УТВЕРЖДЕНО»

Орган, назначивший комиссию
Директор ТОО «Алтын Тастак»
Сарсен Е.Р.

« 26 » 10 2019



ПРИЛОЖЕНИЕ №1

к инструкции о порядке
приемки и оценки, законченных
научно-технических разработок

АКТ

приемки опытно-промышленной партии образцов комиссией

Ведомственной (межведомственной) приемочной комиссией на основании Приказа ТОО «Алтын Тастак» от 26 октября 2019 года проведены испытания и приемка в соответствии с утвержденной ТОО «Алтын Тастак» программой работ от 26.10.2019г. по производству автоклавного газосиликатного бетона на основе электротермофосфорных шлаков и полиминеральных барханских песков в сочетании с тонкомолотым природным волластонитом для изготовления опытных образцов газосиликатных блоков изготовленного на ТОО «Алтын Тастак».

Ведомственная (межведомственная) комиссия считает предъявленные опытно-промышленные образцы принятым. Протокол приемочных испытаний является неотъемлемой частью настоящего акта.

Председатель комиссии:
Директор завода по выпуску
газосиликатных бетонных изделий
ТОО «Алтын Тастак»

Сыздыков С.Х.

Члены комиссии:
Технолог завода ТОО «Алтын Тастак»

Балдаев М.Ж.

Заведующий кафедры «Технология строительных
материалов, изделий и конструкций», к.т.н., доцент

Копжасаров Б.Т.

Профессор кафедры «Технология строительных
материалов, изделий и конструкций», д.т.н.

Ахметов А.Р.

Докторант кафедры «Технология строительных
материалов, изделий и конструкций»

Моминова С.М.

Докторант кафедры «Технология строительных
материалов, изделий и конструкций»

Кудабаев Р.Б.

