

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ
им. Н. ИСАНОВА
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д 05.12.006

На правах рукописи
УДК 666.973.6

МЕЛИБАЕВ Содикжон Жорабаевич

**БЕЗАВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВЕ
КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО
ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И
НЕКОНДИЦИОННОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

Специальность 05.23.05 – строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2013

Диссертационная работа выполнена в Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова на кафедре «Производство и экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций».

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Абдыкалыков Акымбек Абдыкалыкович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Соловьев Владимир Иванович

кандидат технических наук, доцент
Чымыров Акылбек Уркалыйевич

Ведущая организация: Кыргызский научно-исследовательский
институт проектирования и
сейсмостойкого строительства
(КыргызНИИПсейсмостроительства,
г. Бишкек, ВПЗ, ул. Чолпон-Атинская, 2)

Защита состоится «31» мая 2013 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.12.006 при при Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина и Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б, факс: (996 312) 543 561.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.05.12.006,

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Одной из отраслевых задач строительного комплекса является внедрение в народное хозяйство новых видов энергосберегающих строительных материалов наиболее полно удовлетворяющих требованиям современного строительства. К таким строительным материалам относятся безавтоклавные газобетонные изделия ввиду их экологической безопасности, высокой теплоизоляционной способности и пониженной энергоемкости в сравнении с автоклавными газобетонными изделиями. Низкая масса и высокая пористость таких материалов позволяют применять их в качестве стеновых материалов для малоэтажных сейсмостойких каркасных зданий.

Кыргызстан располагает значительными запасами песчаных пород, мелкозернистых песков и техногенных материалов, которые могут найти применение в производстве газобетонных изделий неавтоклавного твердения.

Республика имеет достаточный опыт выпуска автоклавных ячеистобетонных изделий, что является основой для разработки энергосберегающей безавтоклавной технологии газобетонных изделий. Одновременно возможно решение экологических проблем очистки окружающей среды, утилизации отходов и расширения сырьевой базы, что весьма значимо для социально-экономического развития республики.

В связи с вышеизложенным весьма актуальным является создание безавтоклавных газобетонных изделий на основе композиционных вяжущих веществ и местных кремнеземсодержащих природных и техногенных сырьевых материалов. Это позволит значительно повысить характеристики и снизить ТЭП их производства.

Актуальность работы обусловлена необходимостью выпуска эффективных безавтоклавных энергосберегающих ячеистобетонных изделий на основе местного сырья. Разрабатываемые теплоизоляционные изделия с низкой плотностью и достаточной прочностью удовлетворяют требованиям сейсмостойкого строительства.

Связь темы диссертации с крупными научными программами и основными научно-исследовательскими работами.

Настоящая работа проводилась в рамках «Государственной комплексной программы развития науки, техники и новых технологий Кыргызской Республики» (раздел «Строительство и стройиндустрия») и по плановой научно-исследовательской тематике кафедры «Производство и экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова.

Цель исследования: получение безавтоклавных газобетонных изделий на основе композиционного вяжущего из отходов производства и некондиционного заполнителя.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- исследование местных природных и техногенных сырьевых материалов для получения безавтоклавного газобетона;
- оптимизация состава и свойств композиционных вяжущих веществ на основе местного сырья;
- исследование физико-химических особенностей структурообразования композиционных вяжущих и свойств безавтоклавного газобетона с наполнителями из местных сырьевых материалов;
- подбор рецептурно-технологических параметров производства безавтоклавного газобетона на основе композиционного вяжущего и некондиционного заполнителя;
- разработка и апробация технологии изготовления безавтоклавных газобетонных изделий и оценка технико-экономической эффективности их производства и применения.

Научная новизна работы заключается в особенностях формирования структуры безавтоклавного газобетона на основе композиционного вяжущего и заполнителей из местного природного и техногенного сырья.

– Установлена высокая активность отхода (ХОСР), представленного преимущественно аморфным кремнеземом, который при гидратации интенсивно связывается со свободным оксидом Са. При этом образуются низкоосновные гидросиликаты кальция тоберморитовой группы типа CSH(B), что характеризует высокие прочностные свойства композиционных вяжущих.

– Использование некондиционного тонкодисперсного песка с высоким содержанием глинистых составляющих для изготовления безавтоклавного ячеистого бетона при щелочной активации способствует полному протеканию процесса газообразования за счет удлинения срока вязкопластичного состояния шлама. Формирование прочной структуры газобетона обеспечивается образованием дополнительного количества гидросиликатов кальция типа CSH(B) и повышением количества мелких пор.

Практическое значение и реализация работы.

– Предлагаемые оптимальные составы композиционного вяжущего с использованием эффективных наполнителей из местного техногенного сырья могут найти применение не только в производстве безавтоклавного газобетона, но и в строительных растворах и бетонах ненесущих конструкций.

– Применение тонкодисперсных некондиционных глинистых песков без помола расширит сырьевую базу для производства безавтоклавного малоэнергоемкого газобетона.

– Разработаны составы для получения безавтоклавного газобетона на основе композиционных вяжущих и кремнеземсодержащих заполнителей из местного природного и техногенного сырья.

– Разработан технологический регламент и проведены промышленные испытания по производству безавтоклавных ресурсосберегающих газобетонных стеновых блоков.

– Результаты полученных исследований используются в учебном процессе (лекции, лабораторные работы и практические занятия, выпускные квалификационные работы) при подготовке дипломированных специалистов по специальности 552101.05 – Производство строительных материалов, изделий и конструкций.

– Использование композиционного вяжущего способствует экономии расхода цемента на 10-15 %, снижению температуры формовочного шлама на 10-15 °С.

На защиту выносятся:

– физико-химические показатели природных и техногенных заполнителей (некондиционный песок, ХОСР), обуславливающие их пригодность в производстве безавтоклавного газобетона;

– результаты исследования влияния технологических факторов на показатели качества безавтоклавных газобетонов;

– разработанные составы композиционного вяжущего, безавтоклавного газобетона и технология его получения с повышенными эксплуатационными свойствами с использованием ХОСР (защищены патентами КР № 1240 и № 1459) и результаты промышленных испытаний.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях в КГУСТА (г. Бишкек, 2007-2009 гг.), международной научно-технической конференции ОшТУ (г. Ош, 2007 г.), III Международной научно-технической конференции (г. Рязань, 2009 г.), международной конференции к 15-летию ОшКУУ (г. Ош, 2010 г.) и техническом совете КГУСТА (г. Бишкек, 2012 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из 5 глав, основных выводов, списка литературы, включающего 112 наименований, в т.ч. 6 на иностранных языках, содержит 132 страницы текста, 36 рисунков, 25 таблиц и 4 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении рассмотрены актуальность проблемы, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы. Сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе приведена краткая история производства и применения ячеистого бетона. Изучен отечественный и зарубежный опыт в области совершенствования технологии и свойств ячеистого бетона. К числу ученых, внесших вклад в развитие этой проблемы можно отнести П.И.Баженова, А.Т.Баранова, Д. Бернала, Ю.М.Бутта, А.В.Волженского, Г.И.Горчакова, К.Э.Горяйнова, А.А.Абдыкалыкова, С.Г.Караханиди, Ф.Калоусена, С.К.Кушемлинского, Ф.М.Ли, А.П.Меркина и др.

Отмечено, что в производстве безавтоклавной технологии ячеистого бетона предпочтительно использование эффективных природных и техногенных заполнителей, тонкодисперсных или легко размалываемых продуктов. Вышеизложенное определило цель, задачи и рабочую гипотезу диссертационной работы: использование высокоактивных техногенных

материалов, мелкодисперсных глинистых песков и композиционных вяжущих веществ способствует полному протеканию процесса газообразования за счет удлинения срока вязкопластичного состояния, образованию мелких пор при щелочной активации. При этом формируются прочные межпоровые перегородки за счет образования дополнительного количества гидросиликатов кальция тоберморитовой группы типа CSH.

Во второй главе приведены характеристики сырьевых материалов, используемых в работе, и методики проведения исследований.

Для композиционных вяжущих материалов были использованы портландцемент М 400 Д 20 ГОСТ 10178 – 85; известь комовая негашеная II сорта: содержание активных CaO и MgO – 82 %, количество непогасившихся частиц – 1,2 %; гипс строительный марки Г-5, ГОСТ 125-79 .

В качестве заполнителя использованы ХОСР, тонкозернистый глинистый песок (некондиционный песок).

ХОСР образован при производстве сурьмы из горных пород после их термической обработки при 1200 °С. Химический состав представлен содержанием в %: SiO₂ – 70,93; CaO – 12,67; Fe₂O₃ – 0,73; Al₂O₃ – 6,92; MgO – 0,03; SO₃ – 0,82; R₂O – 0,67; П.П.П. – 7; минералогический состав – содержанием β-кварца, кальцита (CaCO₃) и незначительным количеством глинистых составляющих (Al₂O₃ = 6,92 %).

ХОСР характеризуется легкой размалываемостью, коэффициент размалываемости составляет 1,2 (отношение времени, необходимого для размола кварца, ко времени, необходимому для размола данного материала до той же степени дисперсности).

Химический состав песка, в %: SiO₂ – 73,74; Al₂O₃ – 12,52; Fe₂O₃ – 0,93; CaO – 0,86; MgO – 2,85; SO₃ – 0,40; R₂O – 4,27; П.П.П. – 4,41. Минералогический состав, в %: SiO₂ – 59,01; Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O – 31,67; CaSO₄ – 0,68; CaCO₃ – 1,03; MgCO₃ – 5,98; П.П.П. – 4,41. При сухом помоле песчаника в течение 20-25 мин получается песок с гранулометрическим составом, мм, %: менее 0,16 – 61,7; 0,16 – 22,4; 0,315 – 5,7; 0,63 – 4,5; 1,25 – 3,2; 2,5 – 2,5; 5,0 – 0; с высоким содержанием глины (31,67 %); M_к = 0,7, т.е. тонкозернистый. Удельная поверхность по ПСХ-2 S₁ = 2200 – 2250 см²/г. Газообразователем служит алюминиевая пудра марки ПАП-2, ГОСТ 5494-81.

В работе использован полевошпатовый песок, представленный, в %: SiO₂ – 68,72; Al₂O₃ – 14,21; Fe₂O₃ – 3,24; CaO – 3,25; MgO – 2,68; SO₃ – 2,61; TiO₂ – 6,63.

Для сравнения активности ХОСР и тонкодисперсного глинистого песка использована зола ТЭЦ, химический состав которой представлен, в %: SiO₂ – 51,57; Al₂O₃ – 21,87; Fe₂O₃ – 3,70; CaO – 3,09; MgO – 1,24; SO₃ – 1,47; R₂O – 0,52; П.П.П. – 16,54.

При изучении свойств сырья, композиционных вяжущих и безавтоклавных газобетонов применены физико-механические и физико-химические методы анализа (химический, электронно-микроскопический, ДТА и рентгенофазовый). Для определения токсичных элементов в ХОСР

проводился спектральный анализ по методу «Определение атомного состава проб атомно-эмиссионным приближенно количественным методом испарения пробы из канала угольного электрода» ОМГ 6-01, утвержденного в НИСМ (Научно-исследовательский институт стандартизации и метрологии) в лаборатории Госгеолагенства КР.

Активность материалов определялась по кинетике поглощения извести из насыщенного раствора при испытании в течение 30 суток.

Испытание песка производилось по ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытания. Удельная поверхность материалов определялась на приборе ПСХ-2 (поверхностемер).

Размалываемую способность изучали методом определения кинетики измельчения твердых материалов. Теплопроводность определялась на приборе ИТ-1.

Прочность вяжущих и безавтоклавного газобетона определялась согласно ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 18105.1-80, средняя плотность – ГОСТ 12730-87.

Морозостойкость газобетона – по ГОСТ 1006.0-95.

Оптимизация состава композиционного вяжущего проводилась методом экспериментально-статического моделирования (ЭСМ).

Третья глава посвящена изучению технологических свойств местных кремнеземистых материалов, оптимизации составов композиционных вяжущих с применением ХОСР, исследованию гидратации композиционного вяжущего и продуктов новообразования.

Пригодность и прогнозирование поведения кремнеземистого компонента в процессе поризации и дальнейшего твердения газобетонной массы оценивались его активностью. Кинетика поглощения извести из насыщенного раствора в течение 30 суток (рис. 1): ХОСР, некондиционного песка и золы, показала, что количество извести, поглощенное материалами из насыщенного раствора, более интенсивно протекает в первые 10-12 сут. испытаний, а после 22-24 сут. замедляется. Наиболее активным является ХОСР, так как он прошел предварительную тепловую обработку, в результате которой β -кварц и глинистое вещество аморфизированы и активны. Повышению активности способствует также предварительный помол.

Активность золы в сравнении с некондиционным песком выше, так как обуславливается сорбционными процессами вследствие повышенной микропористости частиц золы.

Мелкозернистый глинистый песок активизируется в результате помола. Кроме того, при обработке песка насыщенным раствором извести повышается рН среды свыше 8-10, что, как известно, способствует протеканию ионно-обменных реакций поверхности глины с ионами кальция и образованию на ее активных центрах гидросиликата кальция. Ряд кремнеземистых материалов по активности имеет вид: отход ХОСР > зола > некондиционный песок.

Исследовалась активность фракционированных кремнеземсодержащих материалов, для чего они были рассеяны по фракциям в мм: 0,315-0,63; 0,315-0,16; 0,16 и менее и определен их химический состав (табл. 1).

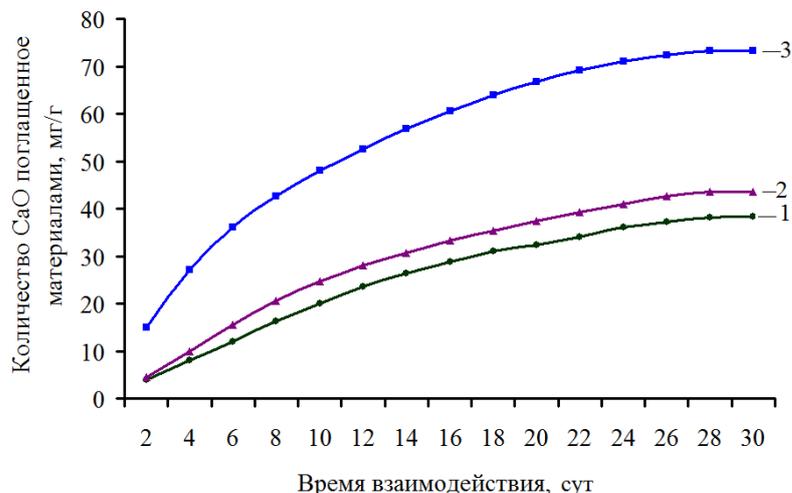


Рис. 1. Кинетика связывания извести полидисперсными кремнеземистыми материалами в течение 30 суток взаимодействия:
 1 – некондиционный песок ($S_{уд} = 2250 \text{ см}^2/\text{г}$); 2 – зола-унос ($S_{уд} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$); 3 – ХОСР ($S_{уд} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$)

Таблица 1
 Зависимость химического состава и активности материалов от их фракционного состава

Кремнеземистые материалы	Содержание оксидов, % (мас)								Активность, мг/г	$K_{акт} = \frac{\text{CaO} + \text{R}_2\text{O}}{\text{R}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}}$
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	ппп	Σ		
Песок из песчаника Ошского месторождения										
Исходный	73,74	12,52	0,93	0,86	2,85	4,67	4,41	99,9	41,6	0,41
0,63-0,315, мм	73,80	13,33	0,62	0,88	2,50	4,42	4,44	99,9	36,1	0,38
0,315-0,16, мм	74,70	13,90	0,50	1,05	2,0	4,65	3,48	99,9	38,6	0,39
0,16 мм и >>	71,20	15,44	0,31	1,80	1,50	4,63	4,15	100	38,6	0,4
Хвосты обогащения сурьмяных руд (ХОСР)										
Исходный	70,93	6,92	0,73	12,67	0,03	1,49	7,23	100	68,0	1,85
0,63-0,315мм	70,85	6,87	0,77	12,83	0,05	1,41	7,22	100	63,4	186
0,315-0,16мм	69,98	6,98	0,74	12,86	0,04	2,16	7,24	100	64,5	1,94
0,16 мм и >>	69,93	6,95	0,75	12,88	0,06	2,12	7,31	100	66,1	1,95
Зола										
Исходный	51,57	21,87	3,70	3,09	1,24	1,99	16,5	100	42,8	0,2
0,63-0,16 мм	51,68	24,87	4,77	4,33	0,65	1,37	8,56	96,2	41,6	0,19
0,315-0,16	52,1	26,48	4,32	3,86	0,66	0,55	10,8	98,6	42,0	0,14
0,16 мм и >>	53,73	23,38	6,48	3,39	1,28	0,75	9,33	98,3	45,1	0,13

Химический состав песка фр. 0,315-0,63 мм отличается незначительно от состава фр. 0,315-0,16 мм по содержанию SiO_2 и Al_2O_3 . Отмечено повышение глины в фр. 0,16 мм и менее.

Коэффициент активности (соотношение $\text{CaO} + \text{R}_2\text{O}$ к $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) меняется в сторону некоторого увеличения при повышении дисперсности материала.

По $K_{\text{акт}}$ наиболее активным является ХОСР (1,85-1,95), затем песок (0,38-0,41), а у золы $K_{\text{акт}}$ получается в пределах 0,13- 0,2, т.к. она относится к низкокальциевым.

Были разработаны композиционные вяжущие, где в качестве активного наполнителя использовался ХОСР.

Оптимизация состава композиционного вяжущего проводилась методом ЭСМ. Для решения поставленной задачи был реализован один из типовых планов для трехфакторного эксперимента B_3 .

В качестве параметров оптимизации служили: X_1 – содержание извести ($17,5 \pm 2,5\%$); X_2 – строительный гипс ($3 \pm 3\%$); X_3 – содержание ХОС ($27 \pm 27\%$). Портландцемент оставался постоянным (20 %).

Причем уровни варьирования факторов X_2 , X_3 были взяты таким образом, чтобы их нижний уровень $X_i = -1$ совпадал с их нулевой концентрацией. Это позволило сравнить различные вяжущие композиции.

По результатам эксперимента и обработки данных получены адекватные уравнения регрессии для средней плотности и прочности цементного камня, которые имеют вид:

Прочность на сжатие, МПа:

$$R_{\text{сж}} = 10 + 0,15 x_1 - 1,3 x_1^2 - 0,39 x_1 x_2 + 1,23 x_1 x_3 + 0,187 x_2 + 3,1 x_2^2 + 1,16 x_2 x_3 + 10,92 x_3 + 5,75 x_3^2 \quad (1)$$

Плотность

$$\rho_{\text{ср}} = 1,81 - 0,077 x_1 + 0,04 x_1^2 + 0,0075 x_1 x_2 + 0,055 x_1 x_3 + 0,008 x_2 + 0,05 x_2^2 + 0,0075 x_2 x_3 + 0,044 x_3 - 0,08 x_3^2 \quad (2)$$

Оптимизация рецептурно-технологических параметров показателей качества композиционного вяжущего на основе местного сырья позволила выявить область, удовлетворяющую требованиям по принятым критериям оптимизации $R_{\text{сж}} \geq 27$ МПа, $\rho = 1,8$ г/см³. Зона максимальных значений прочности и удовлетворительной плотности (рис. 2) находится в области с максимальным содержанием ХОСР 54 %. Прочность на сжатие достигает 27-30 МПа, а плотность составляет 1,8 г/см³. При этом содержание извести должно находиться в пределах 16-20 %, а содержание гипса 2-4 %. Повышение количества гипса приводит к росту прочности и некоторому уплотнению композиционного вяжущего до 1,84 г/см³.

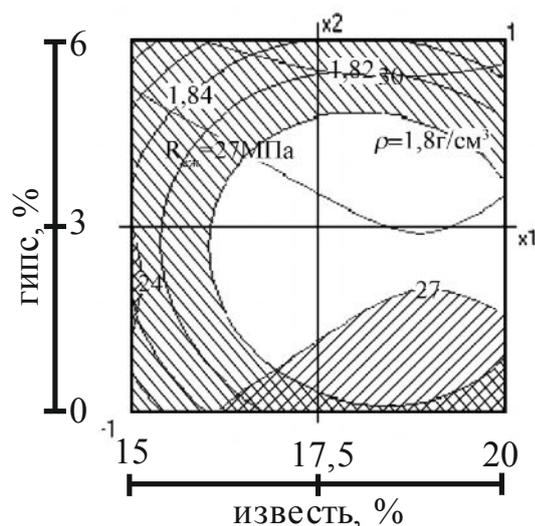


Рис. 2. Область оптимальных значений $R_{сж}$, $\rho = f(x_1, x_2)$;
(не заштрихованное поле)
 $R_{сж} \geq 27$ МПа, $\rho = 1,8$ г/см³ при $x_3 = +1$ (ХОСР – 54 %)

Фазовый состав цементного камня композиционных вяжущих был изучен комплексом физико-химических исследований.

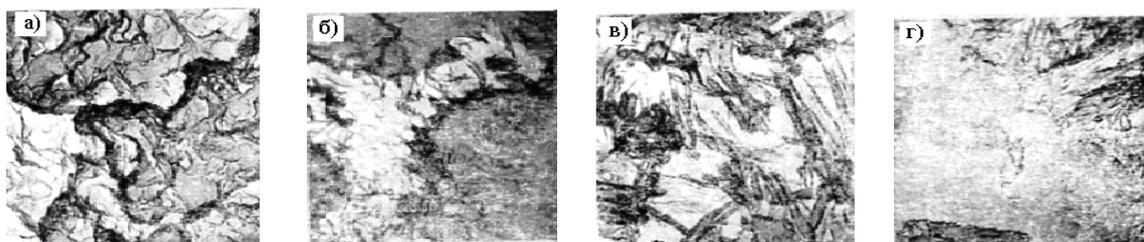


Рис. 3. Цементный камень из композиционного вяжущего нормального твердения в возрасте; $\times 8000$
а – 1 суток; б – 3 суток; в – 28 суток; г – 1 года

Электронные микрофотографии цементного камня из композиционного вяжущего в 1 – 3 – 28 и 360 – суточном возрасте показал, что в первые сутки гидратации новообразования представлены чешуйчатыми агрегатами (рис. 3, а). Неправильная форма агрегатов свидетельствует о гелеобразном (скрытокристаллическом) строении (состоянии) образовавшегося гидросиликата кальция. Со временем поровое пространство между зернами новообразований заполняется гидросиликатами кальция типа CSH(B), что отчетливо видно на рис. 3, б. Через 28 суток нормального твердения в порах цементного камня наряду с гелеобразной массой появляются крупные кристаллы тоберморита (рис. 3, в). В течение одного года исследования кристаллы достигли в длину 1,5-3 мк (рис. 3, г).

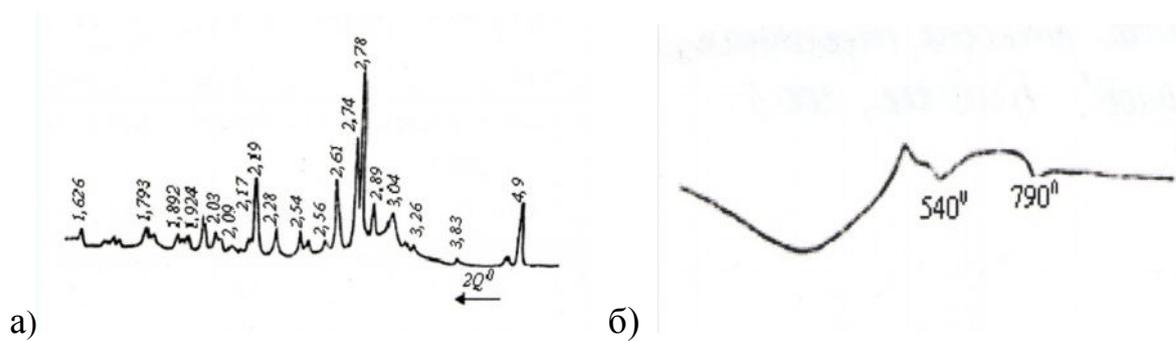


Рис. 4. Рентгенограмма (а) и термограмма (б) цементного камня из композиционного вяжущего

Рентгенографические исследования продуктов гидратации комплексного вяжущего (рис. 4, а) показали пики, характерные для тоберморита с $d = 3,04 \text{ \AA}$ и $2,78$; проявляются слабые с $d = 2,69 \text{ \AA}$; $1,92 \text{ \AA}$; $1,79 \text{ \AA}$ характерные для гидрата окиси кальция и кальцита (с $d = 2,28$; $2,09$; $1,91 \text{ \AA}$).

Присутствие $\text{Ca}(\text{OH})_2$ подтверждает и термограмма образца (рис. 4, б), на которой эндоэффект при $540 \text{ }^\circ\text{C}$ является характерным для $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а эндоэффект при $790 \text{ }^\circ\text{C}$ – для кальцита.

Четвертая глава посвящена исследованию технологических параметров и формированию пористой структуры безавтоклавных газобетонных изделий на основе композиционных вяжущих и местных кремнеземистых материалов.

Для безавтоклавного газобетона апробировались составы, содержащие ХОСР и некондиционный песок, и их смеси с немолотым полевошпатовым песком. Соотношение заполнителя и вяжущего было в пределах $0,5-1,0$. Газообразование обеспечивалось алюминиевой пудрой.

В составы из смеси глинистых песков для интенсификации газообразования и активации глинистой составляющей добавляли до 1% NaOH . Были исследованы средняя плотность $\rho_{\text{ср}}$ и прочность $R_{\text{сж}}$ безавтоклавного газобетона в зависимости от соотношения тонкодисперсных активных отходов и полевошпатового песка (рис. 5, а и б).

Минимальное значение $\rho_{\text{ср}}$ ($575-580 \text{ кг/м}^3$) соответствует составу, в котором содержится, в % по массе: ХОСР – $60-70 \%$ и полевошпатового песка – $30-40 \%$. Это обеспечивается интенсивным газообразованием в смеси и синтезом гидросиликатов кальция при взаимодействии активной добавки со свободной известью. А полевошпатовый песок обеспечивает образование первичного каркаса, укрепляющего межпоровые перегородки газобетона. Они укрепляются также за счет синтеза игольчатых кристаллов гидросульфоалюминатов, которые образуются при взаимодействии гипса с C_3A портландцемента. С повышением дисперсной составляющей повышается количество кристаллизационной фазы и идет некоторое повышение плотности и прочности. Прочность обусловлена активным образованием гидросиликатов. Однако, когда в составе смеси отсутствует полевошпатовый песок, идет снижение прочности межпоровых перегородок, что и снижает общую прочность образцов. Минимальная плотность

достигается в составах с глинистым тонкодисперсным песком при содержании его 60-100 %, что подтверждает возможность полной замены полевошпатового песка. При полной замене полевошпатового песка глинистым тонкозернистым песком плотность составляет 650 кг/м^3 , при этом достигается максимальная прочность 2,1 МПа. Это объясняется образованием дополнительного количества CSH за счет активации глинистой составляющей и превалированием более мелких пор с достаточной прочностью межпоровых перегородок.

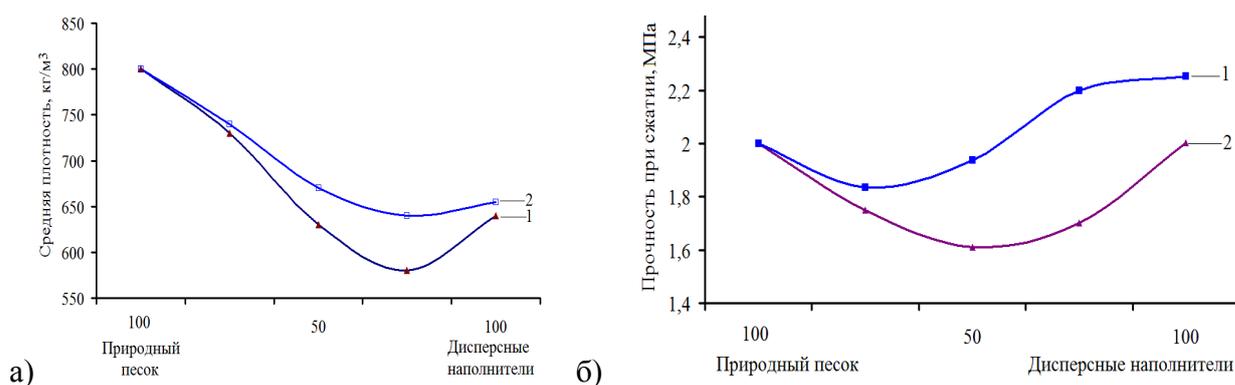


Рис.5. Зависимость средней плотности (а) и прочности при сжатии (б) газобетона от состава наполнителей: полевошпатового песка и ХОСР; полевошпатового песка и некондиционного песка.
1 –ХОСР; 2 – некондиционный песок

Изменяя соотношение полевошпатового немолотого песка с дисперсной кремнеземистой добавкой можно направленно регулировать плотность и прочность газобетона на основе композиционных вяжущих.

На образование пористой структуры безавтоклавного газобетона влияет текучесть шлама, с увеличением которой снижается вязкость смеси. Это приводит к уменьшению ее газодерживающей способности и увеличению сроков схватывания. С уменьшением текучести, наоборот, вязкость смеси может возрасти настолько, что усилие, развиваемое газом (водородом), будет ниже значений вязкопластичных свойств смеси, в результате чего в массе не происходит вспучивания, что может привести к увеличению средней плотности материала. Для этого необходимо установить зависимость текучести растворной смеси от водотвердого отношения (В/Т) и ее влияние на свойства газобетона.

Распływ газобетонных смесей в зависимости от В/Т определялся прибором Суттарда. В смесях с ХОСР распływ изменялся в пределах 12,5-37 мм при В/Т 0,42-0,5. Несмотря на то, что ХОСР представлен мелкодисперсным кремнеземом, В/Т смеси с оптимальным расплывом (18-24 мм) относительно невысокое (0,45-0,48), что объясняется удовлетворительной связностью составляющих.

При использовании некондиционного песка повышенное В/Т смеси 0,58-0,6 при распыле 18-24 мм можно объяснить высоким содержанием глины в песке, которая является хорошим связующим в шламе.

Оптимальное В/Т шламов устанавливалось в зависимости от технических свойств газобетона.

Плотность газобетона с использованием ХОСР при В/Т менее 0,46 резко увеличивается, что связано с высокой вязкостью смеси, препятствующей ее вспучиванию. При В/Т более 0,48 образуются крупные сообщающиеся поры, и, соответственно, большое количество газа выделяется через поверхность материала, средняя плотность материала образцов возрастает, а прочность снижается. Оптимальным для вспучивания является В/Т от 0,46 до 0,48: смесь хорошо вспучивается, практически отсутствует осадка массы, образуются, в основном, замкнутые мелкие поры.

При использовании тонкозернистых глинистых песков смеси при распыле 18-24 мм имеют В/Т, равное 0,56-0,6, и характеризуются удовлетворительной вспучиваемостью. Средняя плотность образцов при указанных технологических факторах изменялась в пределах 675-720 кг/м³, а прочность 1,9-2,1 МПа.

На формирование пористой структуры безавтоклавного газобетона оказывает существенное влияние температура смеси в период вспучивания. Ее определяли в момент выгрузки смеси в формы и сравнивали технические характеристики полученных образцов газобетона.

Установлена оптимальная температура 35-37 °С для вспучивания газобетонной массы на основе ХОСР. При увеличении температуры свыше 37 °С смесь быстро схватывается, что препятствует вспучиванию, а выделяющийся газ нарушает структуру образцов, снижая их прочность. Снижение температуры смеси ниже 37 °С ведет к замедлению реакции газовыделения, схватыванию и осадке вспучиваемой массы.

При использовании смеси на основе глинистого песка установлена оптимальная температура в пределах 38-44 °С, т.е. также как на основе кондиционного песка.

Температура смеси в период вспучивания и последующей выдержке изменяется, так как в центральной зоне изделия температура сначала несколько повышается за счет тепла экзотермии композиционного вяжущего. Ввиду невысокого содержания извести (18-20 %) оно незначительно. Последующее снижение температуры смеси происходит за счет отдачи тепла и в результате уменьшения экзотермии.

Для более полного исследования процессов, происходящих в газобетонных смесях в период созревания, изучались высота вспучивания вязкопластичной массы после заливки смеси в форму и дальнейшее появление усадочных явлений в образцах. Газобетонная смесь заливалась на 50 % от высоты формы, измерение проводилось от 0 до 30 мин с шагом 5 мин и от 30 до 180 мин с шагом 30 мин.

При использовании ХОСР газобетонная смесь лучше вспучивается, практически отсутствует осадка поризованной массы, что обусловлено

медленным нарастанием структурной прочности в первые 20-30 мин., т.к. новообразования находятся в гелеобразной фазе с последующей кристаллизацией. При использовании тонкозернистого глинистого песка масса хорошо вспучивается, но ее осадка достигает 18 %, так как смесь характеризуется повышенной В/Т, равной 0,6, что снижает прочность материала как в начальные, так и в более поздние сроки. Это приводит к значительной осадке поризованной массы и медленному нарастанию структурной прочности.

Создание щелочной среды в формовочной смеси, необходимой для полного прохождения реакции газовыделения, обеспечивается содержанием извести в составе композиционного вяжущего. Кроме того в процессе гидратации вяжущего при гидролизе C_3S портландцемента выделяется известь, которая является активной, она взаимодействует с алюминиевой пудрой с выделением водорода. Выделяемое в процессе гидратации вяжущего тепло способствует набору структурной прочности. Исследовалась зависимость высоты вспучивания от щелочности среды, которая зависит от количества вяжущего.

При содержании композиционного вяжущего в смеси 0,75-1,0 во всех составах повышается высота вспучивания, наибольшая вспучиваемость характерна для смеси с использованием ХОСР.

Высота вспучивания смесей на мелкозернистых глинистых песках несколько выше, чем на полевошпатовых. Дальнейшее увеличение содержания композиционного вяжущего более 1,0 экономически нецелесообразно в связи с небольшим увеличением коэффициента вспучивания.

Подбор оптимальных технологических параметров осуществлялся для газобетона с использованием ХОСР.

При снижении количества вяжущего в смеси наблюдается резкое падение прочности газобетонных образцов. Увеличение содержания вяжущего в смеси ведет к повышению прочности, что сопровождается повышением средней плотности. Это обусловлено набором поризованной массой структурной прочности, что потенциально сокращает время процесса вспучивания смеси. Для получения газобетона с ХОСР требуемой плотности прочности оптимальное значение отношения вяжущего к заполнителю (В/З) составляет 0,75.

Оптимальное содержание в смеси алюминиевой пудры определялось в зависимости от технических свойств газобетона.

Формирование пористой структуры ячеистого бетона происходит при одновременном протекании процессов газовыделения и нарастания пластической прочности смеси. Лучшими условиями формирования макроструктуры ячеистого бетона следует считать такие, при которых сроки окончания активного вспучивания смеси совпадают с моментом оптимальных значений пластическовязких характеристик или же должно заканчиваться несколько раньше, чем начнется ее схватывание.

С увеличением в смеси алюминиевой пудры плотность газобетона снижается незначительно, в связи с этим повышенный расход

газообразователя не является обоснованным, и оптимальное его содержание составляет 400-500 г на 1 м³ материала.

По результатам исследования определены оптимальный состав и технологические параметры производства безавтоклавного газобетона на основе композиционных вяжущих с использованием ХОСР и мелкозернистых глинистых песков: температура формовочного шлама 37-44 °С; водотвердое отношение – 0,44-0,6; соотношение заполнителя к вяжущему от 0,75 до 1,0. При этом получены изделия с характеристиками:

$\rho_{\text{ср}} = 550-700 \text{ кг/м}^3$; $R_{\text{сж}} = 2,2-3,0 \text{ МПа}$; $\lambda = 0,14-0,18 \text{ Вт/м}^0\text{С}$; $\Pi = 61,2-69,3 \%$; $M_{\text{рз}} = 20-25$.

Для стабилизации пористости газобетона изучалось влияние дисперсности заполнителей на формирование ячеистой структуры и свойства готового изделия (рис. 6 и 7).

Введение в массу газобетона песка фр. 0,63-0,315 мм способствует формированию пористой структуры с отдельными деформированными порами (рис. 6, а), которые иногда сообщаются между собой, образуя изломанные щелевидные поры с размерами 0,5-3 мм. Отсюда изменяется геометрия и плотность межпоровых перегородок, которые характеризуются более рыхлой структурой и пониженной прочностью готового изделия до – 10-12 % (рис. 7).

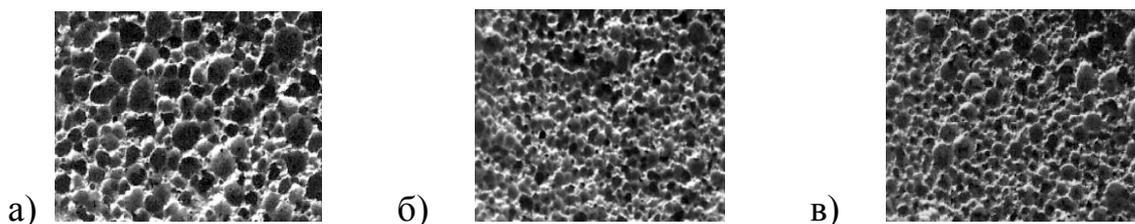


Рис. 6. Макроструктура горизонтального среза образцов газобетона с использованием отдельных фракций песка в качестве заполнителя (x 10).

Фракции песка, мм: а) 0,63-0,315; б) 0,315-0,16; в) 0,16 и менее

При использовании в составе газобетонных масс песка фр. 0,315-0,16, 0,16 мм и менее формируется более однородная мелкопористая структура (рис. 6, б, в) – от 0,3 до 1,2 мм, преимущественно овальной и округлой форм, близких к сферическим, с выдержанными размерами пор с уменьшенной толщиной более плотных межпоровых перегородок, что способствует повышению прочностных характеристик газобетона (рис. 7).

Наибольшей прочностью характеризуются образцы газобетона с использованием фракционированных отходов ХОСР, что обуславливается его высокой активностью.

Однако увеличение прочности газобетонных изделий на основе некондиционного песка от 1,7 до 2,1 МПа наблюдается при использовании высокодисперсных фракций (0,315 мм и менее) и при оптимальных значениях водотвердого отношения и щелочной активации. Это обусловлено эффективным протеканием процессов поризации газобетонных масс, соответствием размеров межпоровой перегородки и зерен заполнителя.

Причем, чем больше дисперсность кремнеземистых заполнителей, тем более плотная и прочная структура материала межпоровой перегородки, образуется равномерно пористая структура газобетона и, соответственно, возрастает прочность при сжатии готовых изделий (рис. 7).

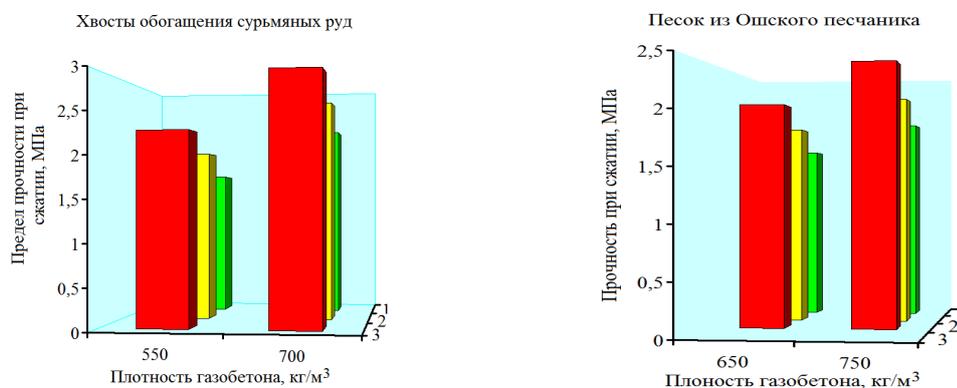


Рис. 7. Зависимость изменения предела прочности при сжатии газобетона от вида и фракционного состава кремнеземистого заполнителя.

Фракции заполнителя, мм: 1 – 0,63-0,315; 2 – 0,315-0,16; 3 – 0,16 и менее

В пятой главе приведены результаты проведения промышленных испытаний и их технико-экономические показатели.

Промышленная апробация рекомендуемых составов безавтоклавных газобетонных изделий на основе ХОСР была проведена в условиях производства ОсОО «Домостроительный сервис».

Выпущена опытная партия стеновых блоков из неавтоклавного газобетона на основе ХОСР средней плотностью 600-700 кг/м³. Технические характеристики газобетонных изделий на основе ХОСР удовлетворяют требованиям ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. ТУ».

Экономический эффект при изготовлении 10 тыс. м³ безавтоклавного газобетона составит 3891 тыс. сом.

ВЫВОДЫ

1. Впервые разработана энерго-ресурсосберегающая технология производства безавтоклавных газобетонных изделий на основе композиционных вяжущих с использованием ХОСР и тонкозернистых глинистых песков, что позволяет расширить сырьевую базу, экономить дорогостоящий портландцемент и попутно решать экологическую проблему охраны окружающей среды.

2. Безавтоклавный газобетон, полученный на основе композиционных вяжущих с использованием местных кремнеземистых материалов ХОСР и некондиционных мелкозернистых глинистых песков, характеризуется средней плотностью 550-700 кг/м³, прочностью при сжатии 2,2-3,0 МПа, теплопроводностью 0,14-0,18 Вт/(м⁰С). Использование этого материала в конструкционно-теплоизоляционных изделиях является решением вопроса энергосбережения и снижения массы конструкций, что весьма эффективно для сейсмостойкого строительства в КР.

3. Установлены высокая размалываемая способность ХОСР, повышенная активность, что обусловлено высокой удельной поверхностью и дефектностью кристаллов.

4. Выявлено, что тонкозернистые глинистые пески могут быть использованы в качестве кремнеземсодержащего компонента в газобетоне без промежуточного процесса помола и при щелочной активации смеси.

5. Оптимизированы составы композиционного вяжущего на основе ХОСР, характеризующиеся прочностью на сжатие 27-30 МПа, плотностью 1,8 г/см³ при содержании извести в пределах 16-20 %, гипса 2-4 % и наполнителя до 54 % (патент КР № 1240).

6. Установлено, что продуктами гидратации комплексного вяжущего являются гидросиликаты кальция тоберморитоподобной группы ($d = 3,04 \text{ \AA}$ и $2,78 \text{ \AA}$;) и кальцита ($d = 2,28; 2,09$), обуславливающие, образование прочного сростка.

7. Определен оптимальный состав, технологические параметры производства и проведены полупромышленные испытания по получению стеновых блоков из безавтоклавного газобетона на основе композиционных вяжущих с использованием ХОСР, мелкозернистых глинистых песков: температура формовочного шлама 37-44 °С; водотвердое отношение 0,44-0,6; соотношение заполнителя к вяжущему от 0,75 до 1,0. Получены изделия с характеристиками: $\rho_{\text{ср}} = 550-700 \text{ кг/м}^3$; $R_{\text{сж}} = 2,2-3,0 \text{ МПа}$; $\lambda = 0,14-0,18 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$; $\Pi = 61,2-69,3 \%$, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. ТУ». При этом экономический эффект при изготовлении 10 тыс. м³ газобетона за счет использования композиционных вяжущих и эффективных заполнителей из отходов производства составляет 3891 тыс. сом.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. **Абдыкалыков А.А.** Физико-химические основы технологии получения неавтоклавного ячеистого бетона на основе местных отходов производства [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Ж.Абдыраймов, С.Ж. Мелибаев // Вестник КГУСТА. – Вып. 3 (21). – Бишкек. 2008. – С. 6-10 .

2. **Абдыкалыков А.А.** Эффективность применения неавтоклавного ячеистого бетона из местного сырья в малоэтажных сейсмостойких каркасных зданиях [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Ж.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев // Вестник КГУСТА. – Вып. 3 (21). – Бишкек. 2008. – С. 10-14.

3. **Абдыкалыков А.А.** Композиционные вяжущие и неавтоклавный ячеистый бетон на основе хвостов обогащения сурьмяных руд [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Б.Т.Ассакунова,

Ж.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев // Вестник КГУСТА. – Вып. 1 (23). – Том 1. – Бишкек. 2009. – С. 67-72.

4. **Абдыкалыков А.А.** Безавтоклавный газобетон на композиционном вяжущем из местного сырья [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Б.Т.Ассакунова, Ж.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев // Материалы III международной научно-практической конференции «Наука и образование XXI века». – Рязань, 2009. – С. 45-51.

5. **Абдыкалыков А.А.** Исследование качественной характеристики песчаника Ошского (Дангинского) месторождения [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Ж.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев // Вестник КГУСТА. – Вып. 2 (24). – Бишкек. 2009. – С. 11-16.

6. **Абдыкалыков А.А.** Композиционные вяжущие вещества на основе отхода сурьмяного производства [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Б.Т.Ассакунова, Ж.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев // Вестник КГУСТА. – Вып. 3 (25). – Бишкек. 2009. – С. 10-15.

7. **Мелибаев С.Ж.** История развития производства и применения ячеистого бетона и внедрения в практику строительства [Текст] / Вестник КГУСТА. – Вып.1 (23). – Бишкек. 2009. – С. 83-86.

8. **Мелибаев С.Ж.** Новый эффективный наполнитель для неавтоклавного ячеистого бетона [Текст] / С.Ж.Мелибаев // Вестник КГУСТА. – Вып. 1 (23). – Бишкек. 2009. – С. 87-91.

9. **Мелибаев С.Ж.** Сырьевая база кремнеземистых заполнителей для производства ячеистого бетона в Кыргызстане [Текст] / С.Ж.Мелибаев, Н.С.Аматова // Материалы международной конференции к 15-летию ОшКУУ «Наука, образование, техника». – Известия Ош КУУ. – Ош. 2010 № 2, 3. – С. 57-62.

10. **Мелибаев С.Ж.** Легкий бетон неавтоклавного твердения из местного вторичного сырья [Текст] / С.Ж.Мелибаев // Материалы международной конференции к 15-летию ОшКУУ «Наука, образование, техника». – Известия Ош КУУ. – Ош. 2010 № 2,3. – С. 62-65.

11. Патент № 1240 (КР) Легкий бетон неавтоклавного твердения [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Б.Т.Ассакунова, Ж.А.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев. – Бишкек. 26.02.2010.

12. Патент № 1459 (КР) Композиционное вяжущее [Текст] / А.А.Абдыкалыков, Ж.А.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев. – Бишкек. 31.03.2011.

13. **Мелибаев С.Ж.** Оптимизация основных технологических параметров получения безавтоклавного газобетона на основе композиционного вяжущего из местного сырья [Текст] / С.Ж.Мелибаев, Ж.А.Абдыраймов // Известия Ошского технологического университета. – Ош. 2012 № 1. – С. 104-110.

14. **Абдыкалыков А.А.** Безавтоклавный газобетон на основе некондиционного сырья [Текст] / Ж.А.Абдыраймов, С.Ж.Мелибаев // Вестник КГУСТА. – Вып. 3 (37). – Бишкек. 2012. – С. 6-10.

Мелибаев Содикжон Жорабаевичтин 05.23.05 - курулуш материалдары жана буюмдары адистиги боюнча «Өндүрүш калдыктарынан, кондицияга туура келбеген толтургучтардан жана композициялык чапташтыргычтын негизиндеги автоклавсыз газ-бетону» аттуу темада техника илимдеринин кандидаты окумуштуулуук даражасын алуу үчүн жазылган диссертациясынын

КОРУТУНДУСУ

Негизги сөздөр: кремнезем материалдары, автоклавсыз газ-бетону, өндүрүш калдыктары, кумдук, кондицияга туура келбеген толтургуч, активдүүлүк, композициялык чапташтыргыч заты.

Бул жумуш жергиликтүү сырьёлордон, өндүрүш калдыктарынан, кондицияга туура келбеген толтургучтардан жана композициялык чапташтыргыч затын колдонуу менен жогорку техникалык касиетке ээ болгон автоклавсыз газ-бетон буюмун структуралык калыптануусун жана технологиясын иштеп чыгууга арналат. Толтургучтардын минералдык курамы, жогорку активдүүлүгү, рационалдуу тандалган композициялык чапташтыргыч жана арлашманын технологиялык параметрлери, газ-бетондун структуралык калыптануусуна, ошондой эле жогорку мүнөздөмөлүү автоклавсыз газ-бетонун алууга өбөлгө түзөт.

Жергиликтүү кремнезем материалдарын колдонуу менен композициялык чапташтыргычтын негизинде автоклавсыз газ-бетонунан жылуулукту сактоочу дубал блокторунун технологиялык регламенти иштелип чыкты. Өндүрүш калдыктарынан, натыйжалуу толтургучтардан жана композициялык чапташтыргыч затын колдонуунун эсебинен даярдалган 10 миң м³ газ-бетонунун үнөмдүүлүгү 3891 миң сомду түзөт.

РЕЗЮМЕ

диссертации Мелибаева Содикжона Жорабаевича на тему: «Безавтоклавный газобетон на основе композиционного вяжущего из отходов производства и некондиционного заполнителя» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Ключевые слова: кремнеземистые материалы, безавтоклавный газобетон, производственные отходы, песчаник, некондиционный заполнитель, активность, композиционные вяжущие.

Работа посвящена разработке технологии и формированию структуры безавтоклавных газобетонных изделий с улучшенными техническими свойствами на основе композиционного вяжущего из отходов производства и некондиционного заполнителя из местного сырья. Минералогический состав,

повышенная активность заполнителей, рационально подобранные композиционные вяжущие и технологические параметры смеси способствуют направленному структурообразованию и получению безавтоклавного газобетона с высокими характеристиками.

Разработан технологический регламент теплоизоляционных стеновых блоков из безавтоклавного газобетона на основе композиционного вяжущего с применением местных кремнеземистых материалов. Экономический эффект при изготовлении 10 тыс. м³ газобетона за счет использования композиционных вяжущих и эффективных наполнителей из отходов производства составляет 3891 тыс.сом.

SUMMARY

thesis Melibaev Sodikzhan Zhorabaevich on "Nonavtoklave aerated concrete on base of composite binder from the industrial waste and substandard filler" for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.05 - building materials and goods.

Kew words: *silica materials, nonavtoklaved concrete, industrial waste, sandstone, substandard filler, activity, composite binders.*

The work is devoted to technology development and the formation of structure nonavtoclaved aerated concrete products with desired properties using the binder composition of the waste and substandard aggregate of local raw materials. The mineralogical composition, increased activity of the fillers, binders rationally selected composition and technological parameters of the mixture contribute to the directed structure formation aerated and aerated nonavtoclaved concrete obtaining high performance.

The technological regulation of heat-insulating building blocks of aerated concrete nonavtoclaved based on composite binder with local siliceous materials is developed. The economic effect in the manufacture of 10 thousand m³ aerated concrete by the use of composite binders and fillers, effective from waste products is 3891 thousand soms.

Подписано в печать 23.04.2013 г. Формат 60x84 1/16.
Объем 1 печ.л. Печать офсетная.
Тираж 100 экз. Заказ

720020, г.Бишкек, ул.Малдыбаева, 34, б
Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова