

На правах рукописи

КОМИЛОВ Абдували Хакимович

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ БЕТОНОВ
ИЗ ГЛИНИСТОГО ГРУНТОЦЕМЕНТА**

02.00.04 – Физическая химия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Душанбе – 2012 г.

Работа выполнена на кафедре «Производство строительных материалов, технология и организация строительства» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими Министерства образования Республики Таджикистан и в отделе «Инновационные технологии и научно-образовательные исследования» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Саидов Джамшед Хамрокулович

**Официальные
оппоненты:** доктор химических наук, профессор
Пулатов Махмуд Саиджанович

кандидат технических наук, и.о. доцента
Гулахмадов Хайдар Шарифович

Ведущая организация: **Горно-металлургический
Институт Таджикистана**

Защита диссертации состоится 23 мая 2012 года в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 047.003.01 при Институте химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г. Душанбе-63, ул. Айни, 299/2.

E-mail: gulchera@list.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан

Автореферат разослан 18 апреля 2012 года.

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук**



Касымова Г.Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Бетон является наиболее распространенным и массовым строительным материалом, широко используемым для создания и улучшения окружающей среды. Именно поэтому принято считать бетон материалом, во многом определяющим уровень развития цивилизации. Последние десятилетия двадцатого века ознаменовались значительными достижениями в технологии бетона. Именно в эти годы появились и получили широкое распространение новые эффективные вяжущие, модификаторы для вяжущих и бетонов, новые технологические приемы в производстве заполнителей и самих бетонов – сложнейших искусственных конгломератов.

В связи с широким применением бетона выявляются новые свойства материала, он еще дальше проникает в среду строительства географически, конструкции из бетона приобретают новые решения, получают архитектурно-строительную выразительность, что с учетом сравнительной простоты технологии изготовления и переработки, их доступности, малой энергоёмкости, экологической безопасности и эксплуатационной надежности, возможности широкого использования местных сырьевых ресурсов, утилизации техногенных отходов деятельности человека, вызывает неизменный интерес к материалу, повышение требований со стороны строителей и постоянное стремление к его совершенствованию со стороны ученых и практиков.

Приоритеты в развитии производства и использования бетонов меняются, наблюдается переход от традиционных путей совершенствования структуры и составов в сторону модернизации технологии их получения. При таком подходе вполне естественным становится повышенное внимание к структуре, прежде всего, цементных бетонов. Исследования И.Н.Ахвердова, Ю.М.Баженова, Г.И.Горчакова, В.Г.Батракова, П.С.Красовского, З.М.Ларионовой, В.Г.Микульского, О.П. Мчедлова-Петросяна, А.Н. Ребиндера, В.И.Соломатова, В.В. Стольникова, А.Е. Шейкина и многих других получают новое развитие.

В проведенных ранее исследованиях по данной проблеме, в основном, решены задачи получения строительных материалов. Однако в настоящее время в необходимом объеме отсутствуют исследования физико-химических и физико-технических свойств цементных бетонов на основе местного сырья Республики Таджикистан и крайне мало изучены способы комплексного укрепления грунтов цементом и химическими добавками, а также процессы тепломассообмена и эксплуатационно-технические свойства конструкций с использованием низкомарочных бетонов на основе глинистых грунтоцементов, что затрудняет прогнозирование их долговечности в резкоконтинентальных климатических условиях Республики Таджикистан.

В связи с этим, в диссертационной работе сделана попытка рассмотреть с единых теоретических позиций и экспериментально подтвердить целесообразность получения и применения бетонов на основе цемента и глинистого грунтоцемента, исследуя физико-химические основы их структурообразования и физико-технические свойства.

Диссертационная работа выполнена: в соответствии с «Концепцией развития топливно-энергетического комплекса Республики Таджикистан на период 2003-2015 годы», утвержденной Постановлением Правительства Республики Таджикистан №318 от 03 августа 2002 года; по плану координации научно-исследовательских работ в области естественных наук Академии наук Республики Таджикистан.

Цель работы заключается в выявлении физико-химических механизмов структурообразования бетонов на основе цемента Душанбинского цемзавода и разработка технологических основ получения цементных и низкомарочных бетонов с использованием местного минерального сырья Республики Таджикистан.

Поставленная цель исследований достигается решением следующих **задач**:

- анализ состояния минерального сырья в Республики Таджикистан и его использования в производстве строительных материалов;
- экспериментальные исследования физико-химических и физико-технических свойств цементных бетонов и низкомарочных бетонов на основе местного глинистого грунтоцемента;
- изучение кинетических основ изменения физико-технических свойств цементных бетонов и кинетики изменения прочности цементного бетона и грунтоцемента при сжатии и изгибе при замораживании-оттаивании;
- проведение рентгенофазового анализа твердения цементных бетонов и низкомарочных бетонов на основе местного глинистого грунтоцемента;
- выяснение химических механизмов формирования и определение состава твердой фазы бетонной смеси;
- влияние химических добавок и гранулометрического состава на комплексное укрепление грунтов цементом и выявление физико-химической закономерности структурообразования в цементогрунтах;
- определение технико-экономической целесообразности применения цементных бетонов на основе местного минерального сырья Республики Таджикистан.

Научная новизна.

- выяснены физико-химические механизмы структурообразования цементных бетонов и научно обоснована возможность получения бетонов на основе исследований процессов гидратации безобжигового минерального сырья;
- установлены основные закономерности процессов структурообразования цементных бетонов и глинистых грунтоцементов на основе минерального сырья Республики Таджикистан в зависимости от их строения и химического состава;
- на основе механохимического синтеза огнестойких бетонов из вторичных минеральных ресурсов, при переработке смесей до наноструктур, установлен физико-химический механизм перестройки структур составляющих смесей
- разрушение связей Si-O-Si в тетраэдрическом слое каолинита и образование новых связей Si-O-Al в этом же слое, что позволило повысить основные проч-

ностные и огнестойкие показатели получаемых продуктов и снизить температуру отжига на 200-300°C;

- разработана математическая модель кинетики изменения физико-технических свойств цементных бетонов под воздействием вибрации.

Практическая ценность работы:

- разработан технологический режим получения цементных высокопрочных и низкомарочных бетонов, позволяющий прогнозировать качество нового материала при различных изменениях его физико-химических и физико-технических свойств, а также технологических факторов производства;

- получены экспериментальные значения, которые пополняют банк данных по физико-химическим и физико-техническим свойствам бетонов;

- разработаны рекомендации по применению цементных низкомарочных бетонов - грунтоцементных материалов в качестве основания зданий и сооружений.

Результаты исследований апробированы и внедрены: в Таджикском НИИ проблем архитектуры и градостроительства; в ООО «Самт-2» (ЖБК-2) Республики Таджикистан.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты экспериментальных исследований физико-химических и физико-технических свойств цементов Душанбинского цемзавода, а также строительных материалов на их основе;

- результаты исследования гидратаций цементов Душанбинского цемзавода в зависимости от условий их технологической обработки;

- данные рентгенофазового анализа процесса кристаллизации цементных бетонов и низкомарочных глинистых грунтоцементов в воде в различные сроки гидратации и твердения;

- методика расчета рационального состава цементных бетонов и низкомарочных бетонов - глинистых грунтоцементов по соотношениям составляющих компонентов;

- результаты исследований по выяснению физико-химических механизмов гидратации цемента в полимерцементных суспензиях;

- данные механохимического синтеза огнестойких бетонов из вторичных минеральных ресурсов при переработке смесей на мельницах до наноструктур;

- технико-экономическое обоснование использования грунтоцементных материалов в качестве основания зданий и сооружений (для условий Республики Таджикистан).

Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 7-й Международной конференции по изучению свойств бетона (Шотландия, Данди, 2005 г.); Международной научно-практической конференции (НПК) «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты» (Душанбе, 2006 г.); II Международной НПК «Перспективы развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе, 2007 г.); II Республиканской НПК (Чкаловск, 2008 г.); Республиканской НПК «Современные проблемы химии, химической технологии и

металлургии» (Душанбе, 2009 г.), Республиканской НПК «Прогрессивные методы производства», посв. 35-летию кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» ТТУ им. акад. М.С.Осими. (Душанбе, 2009 г.); Республиканской НПК «Горные, геологические и экологические аспекты развития горнорудной промышленности в XXI веке», посв. 100-летию акад. АН РТ С.М.Юсуповой (Душанбе, 2010 г.); Республиканской НПК «Наука и энергетическое образование», посв. 20-летию независимости Республики Таджикистан и 5-летию Института энергетики Таджикистана; Республиканской НПК «Наука и строительное образование на современном этапе», посв. 20-летию независимости Республики Таджикистан и 55-летию Таджикского технического университета (ТТУ) им. акад. М.С.Осими (Душанбе, 2011 г.); Республиканской НПК «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», посв. 20-летию независимости Республики Таджикистан и 55-летию ТТУ им. акад. М.С.Осими (Душанбе, 2011 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 13 печатных работ, 2 статьи из которых опубликованы в рецензируемых ВАК РФ изданиях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы из 152 наименований на русском и иностранных языках и приложений. Общий объем диссертационной работы состоит из 162 страниц компьютерного набора. Основной текст диссертации изложен на 139 страницах, включая 44 рисунков и 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В этой главе рассмотрены: состояние минерального сырья в Республике Таджикистан и его использование для производства строительных материалов; вяжущие вещества и заполнители для бетонов; химические и минеральные добавки к бетонам и вода для приготовления бетонной смеси; структура бетонной смеси; объекты исследования.

На территории Республики Таджикистан для производства цемента разведано три месторождения. Наиболее крупным из них является Харангонское, расположенное в Гиссарской зоне строительства (с запасами по категории А+В+С₁ - 157,0 млн. т), со следующим химическим составом (% масс.): СаО - 51,49% , MgO - 1,66% , Fe₂O₃ - 0,24% , SiO₂ - 0,59% , SO₃ - 0,14% и т.д.) что, безусловно, отвечает необходимым требованиям, предъявляемым промышленностью к качеству сырья. На его базе и на базе Варзобского месторождения суглинков (с запасами 26,3 млн. т) функционирует Душанбинский цементный завод, обеспеченный запасами карбонатного сырья примерно еще на 100 лет.

На основе проведенного анализа имеющихся литературных данных о физико-химических и физико-технических свойствах цементных бетонов обосновано основное направление исследований.

Глава 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ СТРУКТУРО-ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОЦЕМЕНТОВ

2.1. Физико-химические методы определения закономерности структурообразования цементных бетонов

В исследованиях, в основном, использовали цементы, выпускаемые на Душанбинском цемзаводе. На рентгенограмме обычного негидратированного цемента присутствуют линии, относящиеся к фазам C_3S ($3CaO \cdot SiO_2$), C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$), C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot F_2O_3$). Обнаруживаются также линии слабой интенсивности этtringита ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot (32-34)H_2O$) ($d=3,474$; $3,662$; $5,608 \text{ \AA}$) в составе цемента.

2.2. Химический механизм формирования и состав твердой фазы цементного бетона

Структура внутреннего ритма формируется в основном из продуктов гидратации C_3S и β - C_2S . Продукты трёхкальциевого силиката в первые минуты представляют собой силикагель, высокоосновный гидросиликат – двуводный трёхкальциевый силикат (C_3SH_2), неустойчивые (метастабильные) новообразования, постепенно превращающиеся в более стабильные гидросиликаты сложного состава типа $nCaO \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$.

В связи с этим щелочность среды твердения постоянно изменяется. При концентрации гидроксида кальция в жидкой среде от 0,05 до 1,1 г/л (в пересчете на CaO) в растворе возникают новообразования типа CSH (I), CSH (B) или $(0,6 \div 1,5)CaO \cdot SiO_2 \cdot (0,5 \div 2,5)H_2O$. С увеличением концентрации CaO в растворе свыше 1,25 г/л в пространстве между зернами создаются условия для формирования внешних гидросиликатов кальция состава $(1,5 \div 2)CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$, CSH (II) и C_2SH_2 . А чешуйки гидросиликатов способны сворачиваться в трубочки – тончайшие иглы и волокна, при соотношении $CaO/SiO_2 > 1,3$, отличающиеся более высокой степенью закристаллизованности по сравнению с CSH (I).

Структура внешнего ритма, образующаяся вне исходной поверхности цементного зерна и состоящая из кристаллов, состоит из небольшого количества гидросиликатов, крупных кристаллов гидроксида (CH) и этtringита.

В результате взаимодействия трехкальциевого алюмината C_3A с водой, в зависимости от температуры и щелочности среды, влажности окружающей среды и длительности твердения, образуются гидроалюминаты переменного состава. Первоначально здесь формируются кристаллы продуктов гидратации алюминатов, представляющих собой рыхлый слой неустойчивых гидратов $4CaOAl_2O_3 \cdot 13H_2O$ (C_4AH_{13}) и $2CaOAl_2O_3 \cdot 6H_2O$ (C_2AH_6) в виде тонких гексагональных пластинок, образующих структуру «карточного домика». Затем они быстро перекристаллизуются в стабильную форму гидроалюмината $3CaOAl_2O_3 \cdot 6H_2O$ (C_3AH_6) с кристаллами кубической формы.

При длительном взаимодействии в водной среде с различными компонентами, входящими в состав клинкера, или привносимыми в камень с водой затворения или фильтрующейся водой, в структуре твердого сростка появляются

частицы: гидросиликоалюминатов кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSiO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSiO}_4\cdot 31\text{H}_2\text{O}$); гидрохлорадиалюминатов кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot x\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$); гидрокарбоалюминатов кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaCO}_3\cdot 31\text{H}_2\text{O}$); гидроферритов кальция ($\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), перекристаллизовывающихся в $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ и способных, подобно гидроалюминатам, давать комплексные соединения с гипсом, хлористым кальцием и др.

Одновременное образование трех и четырех кальциевых гидроалюминатов и гидроферритов приводит при гидратации C_4AF к возникновению кубических кристаллов твердых растворов типа: $3\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $4\text{CaO}\cdot x(\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 13\text{H}_2\text{O}$. Гидратация компонентов клинкерного стекла насыщает твердую фазу кристаллами гидрогранатов $3\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot\text{SiO}_2\cdot(8-2x)\cdot\text{H}_2\text{O}$, а также кристаллами NaOH , KOH , Na_2SO_4 , K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , MgCO_3 и другими, имеющими каждый свою характерную структуру.

2.3. Физико-химические закономерности структурообразования в цементогрунтах

Для исследования процессов структурообразования цементогрунтов были приняты грунты, характеристика которых приведена в табл. 1, 2. Грунты укреплялись портландцементом марки М400 Душанбинского цемзавода. Всего было исследовано около 70 различных составов смеси.

Полученные данные доказывают, что пластическая прочность P_m в начальный период после затворения смеси водой изменяется незначительно, и только через определенный промежуток времени значения P_m начинают резко расти (рис. 2, 3; кривые 1). Такой характер кривых структурообразования цементогрунта позволяет выделить два периода.

Первый период - индукционный - характеризуется преобладанием в системе коагуляционно-обратимой структуры, образующейся путем беспорядочного сцепления мельчайших частиц грунта и цемента через тонкие прослойки воды. Цементогрунтовая смесь обладает пластичностью. Второй период - упрочнение структуры - характеризуется интенсивным кристаллообразованием вяжущего с появлением кристаллических сростков, создающих достаточно жесткий каркас цементогрунта. Смесь теряет подвижность.

Грунтам с развитой глинистой частью соответствует более продолжительный индукционный период. Для супесчаного грунта №1 время индукционного периода составляет 30-40 мин, а для тяжелого суглинка №3 – 60-70 мин. Физико-механические показатели цементогрунтовых образцов ($d=h=5$ см) снижаются, когда время с момента увлажнения смеси до формирования образцов превышает время индукционного периода (рис. 1, 2).

Наиболее эффективное влияние на кинетику процесса структурообразования оказывает поверхностно-активная добавка ССБ. Из рис. 1, следует, что введение в смесь 0,2% ССБ от веса обрабатываемого грунта увеличивает индукционный период с 30-40 до 170-180 мин. С момента увлажнения смеси до формирования образцов, равном 170-180 мин, прочность образцов с 0,2% ССБ выше на 68-70% прочности образцов, отформованных без добавки ССБ.

Таблица 1

Характеристика грунтов

№ пробы	Наименование грунтов	Граница текучести, %	Граница раскатывания в шнур, %	Число пластичности, %	Гранулометрический состав		
					Песок 1-0,05 мм	Пыль 0,05-0,005 мм	Глина менее 0,005 мм
1.	Супесь легкая	20,5	17,4	3,1	80,0	8,68	11,32
2.	Суглинок легкий пылеватый	22,0	12,8	9,2	36,0	50,2	13,8
3.	Тяжелый суглинок	41,7	24,9	16,8	45,0	37,4	17,6

14

Таблица 2

Результаты химического анализа грунтов

№ проб	Легкорастворимые соли (водная вытяжка)											Na по разности		Гумус по тюрингу %	Карбонаты CO ₂ , %	Емкость поглощения мг-экв на 100 г	pH водной вытяжки
	Сухой остаток, %	HCO ₃		Cl		Ca ²⁺		Mg ²⁺		SO ₄ ²⁻							
		мг-экв	%	мг-экв	%	мг-экв	%	мг-экв	%	мг-экв	%	мг-экв	%				
1.	0,0609	0,39	0,0233	-	-	0,22	0,0045	0,15	0,0018			0,02	0,0004	0,16	0,16	8,1	7,1
2.	0,103	0,44	0,268	0,24	0,0084	0,57	0,0144	0,19	0,0029	0,36	0,0173	0,28	0,0064	0,34	0,34	10,38	9,0
3.	0,0624	0,64	0,384	-	-	0,16	0,0032	0,23	0,0227			0,26	0,057	1,48	1,48	37,28	7,4

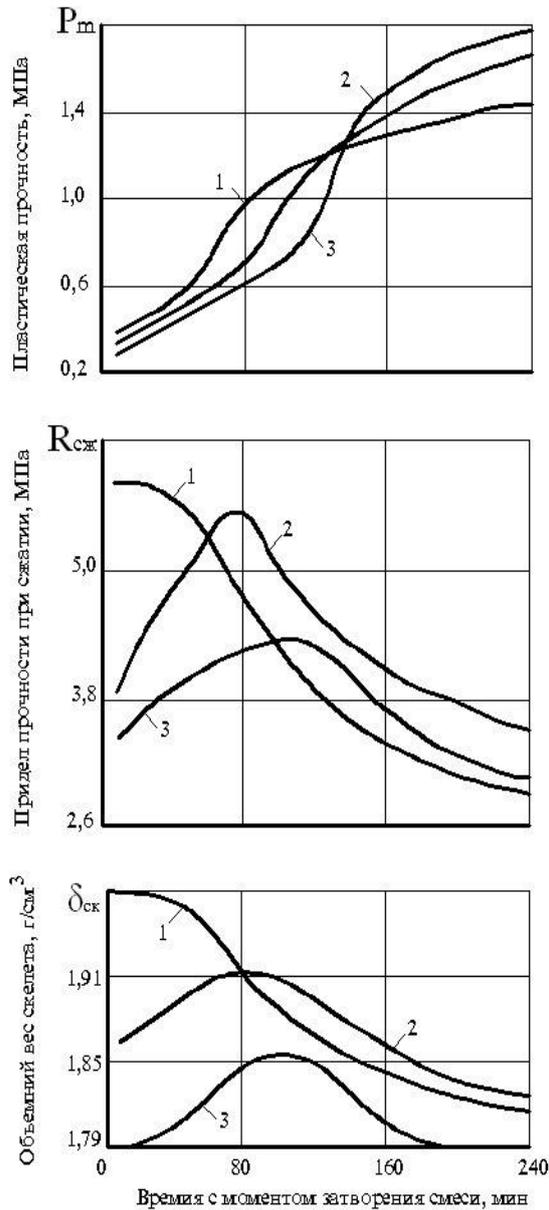


Рис. 1. Кинетика структурообразования цементогрунта (грунт №2+10% цемента) и зависимость его прочности и плотности и времени выдерживания смеси перед формованием образцов при различных значениях В/Ц. 1 - В/Ц=1,2; 2 - В/Ц=1,4; 3 - В/Ц=1,6.

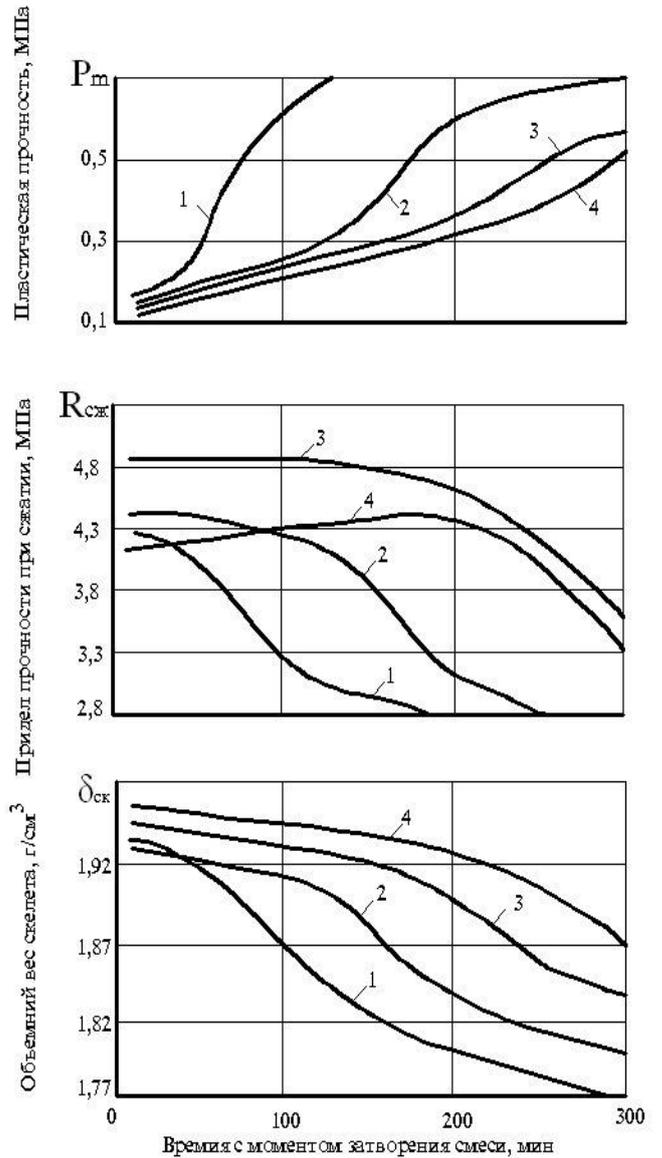


Рис. 2. Влияние добавок ССБ на кинетику структурообразования и физико-механические показатели цементогрунта. 1 - грунт №1+10% цемента +11,2% воды; 2 - то же с добавкой 0,1% ССБ; 3 - с добавкой 0,2% ССБ; 4 - с добавкой 0,4% ССБ.

2.4. Влияние химических добавок и гранулометрического состава на комплексное укрепление грунтов цементом

Укреплению подвергались 3 вида глинистых грунтов: 1) супесь легкая с содержанием песчаных частиц 62%, числом пластичности 3,8 и $pH=6,3$; 2) суглинок легкий пылеватый с содержанием песчаных частиц 15%, числом пластичности 10,5 и $pH = 5,9$; 3) суглинок тяжелый пылеватый с содержанием песчаных частиц 23%, числом пластичности 16,8 и $pH = 5,6$.

Изучение процессов структурообразования и морозостойкости укрепленных цементом глинистых грунтов проводилось в различные интервалы времени (7, 28, 60, 120 сут) с введением в обрабатываемые грунты добавок химических веществ: NaOH, Ca(OH)₂, CaCl₂, Na₂SO₄, взятых в количестве от 0,5 до 2% от веса грунта.

На рис. 3 приведены результаты исследований, характеризующие кинетику формирования структуры указанных выше цементогрунтов с добавками химических веществ при твердении цементогрунтовых образцов во влажной среде.

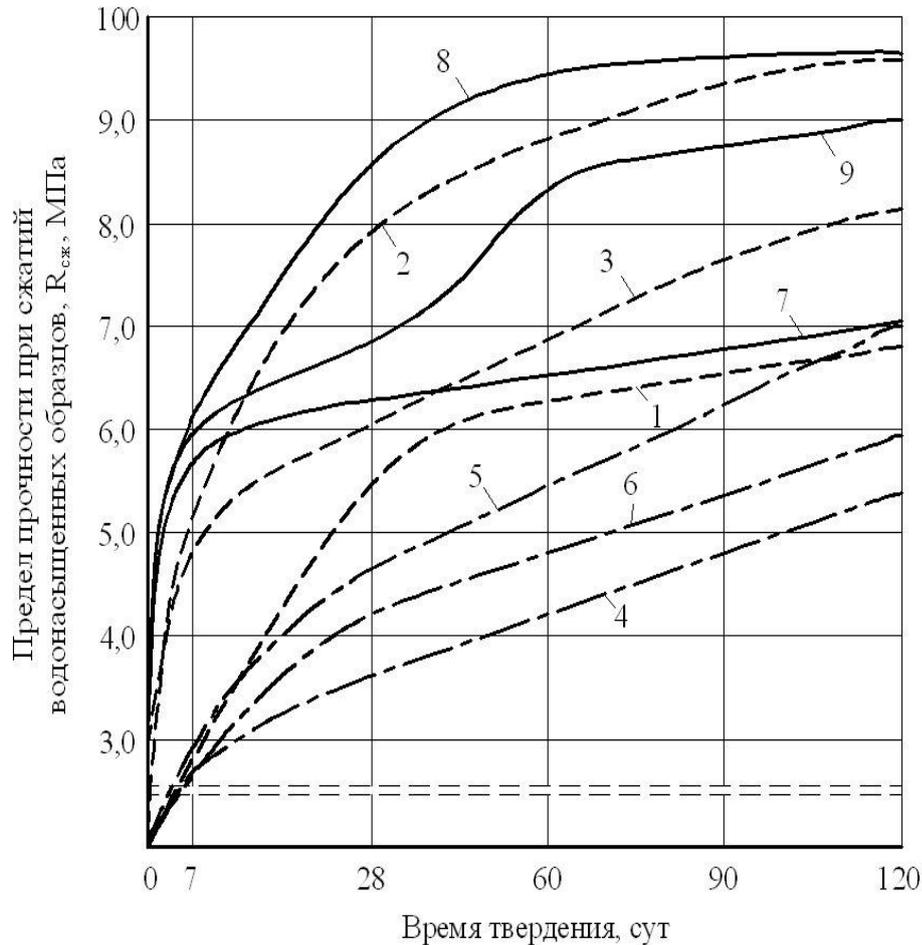


Рис. 3. Кинетика структурообразования глинистых грунтов, укрепленных 8, 12, 14% цемента с добавками: 1 – супесь + 8% цемента; 2 - то же + 1% CaCl₂; 3-то же + 1% Na₂SO₄; 4 - суглинок легкий + 12% цемента; 5 - то же + 1,5% CaCl₂; 6 - то же + 0,5% NaOH; 7 - суглинок тяжелый + 14% цемента; 8 - то же + 2% Ca(OH)₂; 9 - то же + 1% NaOH.

При укреплении супесчаного грунта (кривые 1, 2, 3) 8% цемента с добавкой 1% CaCl₂ (кривая 2) или 1% Na₂SO₄ (кривая 3) процессы структурообразования протекают в два этапа. На первом этапе наблюдается ускорение процессов структурообразования в начальные сроки твердения (7 и 28 сут) с относительно постоянным нарастанием прочности в более поздние интервалы времени (60, 120 сут). Второй этап протекания процессов струк-

турообразования сопровождался относительно постоянным набором прочности цементогрунтов в интервале времени 60-120 сут, в связи с гидратацией безводных силикатов портландцементного клинкера, в результате чего в цементогрунтах обеспечивалась прочная кристаллизационная структура твердения, представленная относительно стабильными гидросиликатами кальция.

Образцы цементогрунтов испытаны на морозостойкость. Определено, что глинистые грунты, укрепленные цементом с оптимальными дозировками химических веществ: NaOH, Na₂SO₄, Ca(OH)₂, CaCl₂ обладают высокой морозостойкостью. С увеличением в укрепляемых грунтах глинистых фракций (тяжелый или лёгкий суглинок) добавка NaOH оказывает весьма благоприятное влияние на протекание процессов структурообразования в сторону получения морозостойкого материала из цементогрунта

2.5. Физико-химические особенности гидратации цемента в полимерцементных суспензиях

Для исследования влияния добавок различных полимеров на свойства инъекционных суспензий был взят шлакопортландцемент марки М300 Душанбинского цемзавода, имеющий следующий расчетный минералогический состав клинкера: C₃S - 57,53%; C₂S - 17,91%; C₃A - 4,05%; C₄AF - 14,58%. Количество гранулированного шлака в цементе составляло 15%.

На основе шлакопортландцемента в лабораторной растворомешалке готовилась инъекционная суспензия В/Ц=1,0 с разным процентным содержанием добавки полимера в виде фурилового спирта от 0 до 5%. Отвердитель - солянокислый анилин в количестве 12% от количества фурилового спирта. Все пробы, полученные в условиях водного хранения, изучались различными физико-химическими методами: кристаллооптически, петрографически, термографически, рентгенографически и методом инфракрасной спектроскопии.

При термографическом анализе образцов, как видно из рис. 4, а и б, выявляются термоэффекты, характерные для продуктов гидратации обычного портландцемента - обнаруживаются три основных эндотермических пика при температурах: 100-140; 470-490 и 760-780°C. Присутствие других эффектов (при температурах 770°C) объясняется, очевидно, наличием в образцах Ca(OH)₂ и CaCO₃ соответственно. Имеющиеся экзотермические эффекты в области температур порядка 300, 500 и 800-900°C отвечают последующим процессам кристаллизации продуктов дегидратации, декарбонизации и др.

На ИК-спектрах поглощения образцов 28-суточного твердения в диапазоне волновых чисел 700-1700 выявляются две четкие полосы с длиной волн 784-927 см⁻¹ и 1286-1351 см⁻¹, которые суммарно отвечают наличию в образцах клинкерных минералов (700-927 см⁻¹), карбоната (900-1350 см⁻¹), гидросиликатов кальция (900 см⁻¹).

Согласно ИК-спектров 45-суточного твердения полосы поглощения сильно размыты, выявляются широкие полосы со значениями волновых чисел 1000 и 1670-1700 см⁻¹, отвечающих гидросиликатам кальция. Только в

образце без добавки фурилового спирта еще отмечается полоса 880 см^{-1} , что свидетельствует о меньшей степени гидратации без добавочного цемента.

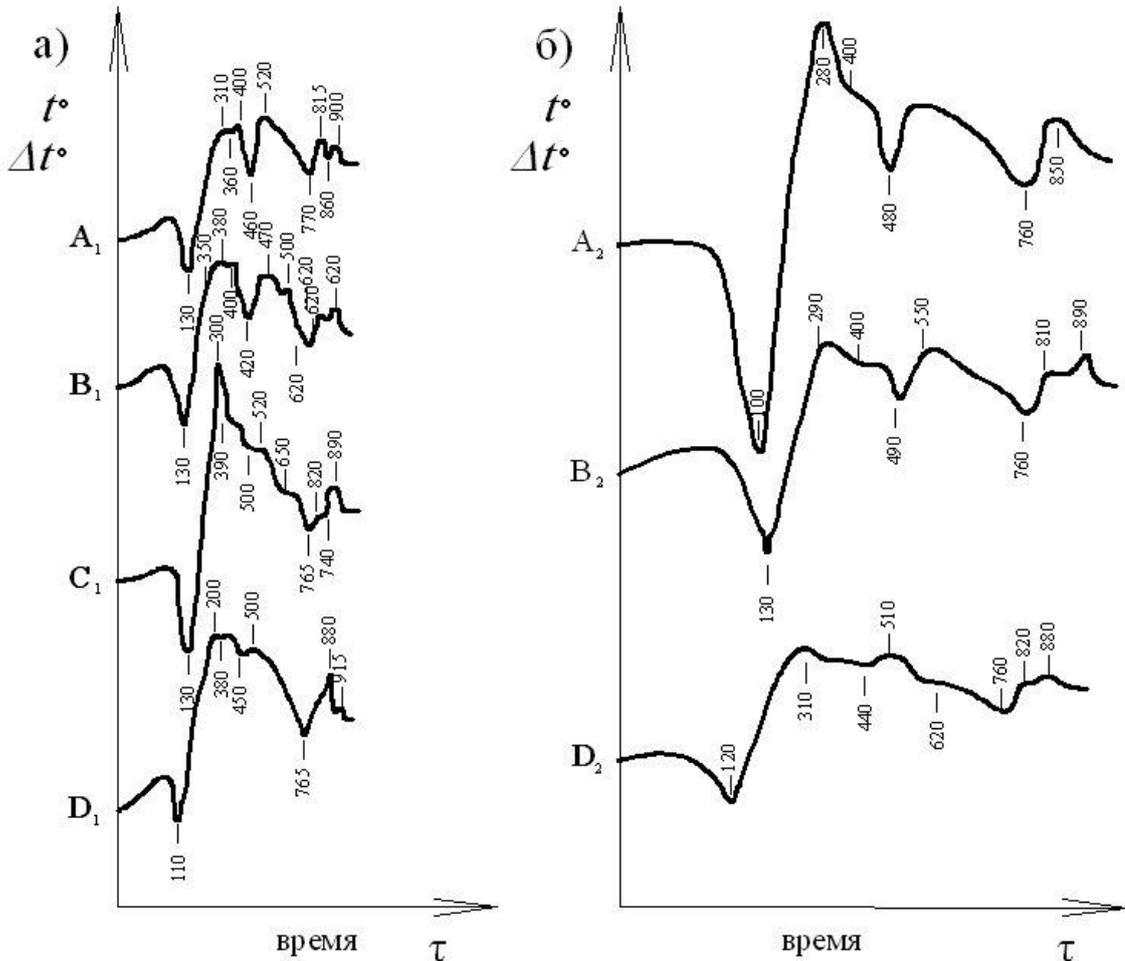


Рис. 4. Термограммы продуктов твердения полимерцементного камня: *a* - в возрасте 28 сут твердения; A₁ - без добавки; B₁ - добавка 1% фурилового спирта; C₁ - 3% фурилового спирта; D₁ - 5% фурилового спирта; *б* - в возрасте 45 сут твердения; A₂ - без добавки; B₂ - добавка 1% фурилового спирта; D₂ - 5% фурилового спирта.

По данным рентгенографического анализа присутствие алита подтверждается наличием на дифрактограммах индивидуальных максимумов $1,755$; $1,820\text{ \AA}$; другие же пики совпадают с максимумами белита: $2,77$; $2,74$; $2,62$; $2,40$; $2,10$; $1,981\text{ \AA}$; $\text{Ca}(\text{OH})_2$: $2,62$; $1,923$; $1,793$; $1,482\text{ \AA}$; CaCO_3 : $2,28$; $3,86$; $3,02$; $2,10\text{ \AA}$ и др. Из сопоставления штрихрентгенограмм (рис. 5, *a* и *б*) видно, что в целом они однотипны, а различия между сериями и внутри каждой серии выражаются, для образцов, приготовленных с различным содержанием полимера - фурилового спирта. Указанные изменения особенно отчетливо видны по изменению интенсивностей пиков с величиной межплоскостных расстояний; $4,90$; $3,02$; $2,62$; $1,923$; $1,820$ и др.

Уменьшение пиков $4,90$; $2,62$ обусловлено уменьшением количественного содержания кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и алита ($1,820$), а увеличение ряда пиков свидетельствует о некотором увеличении в образцах CaCO_3 ($3,02$) и гидросиликатов кальция ($3,02$, $2,18$, $1,890$, в первую очередь $\text{CH}(\text{A})$).

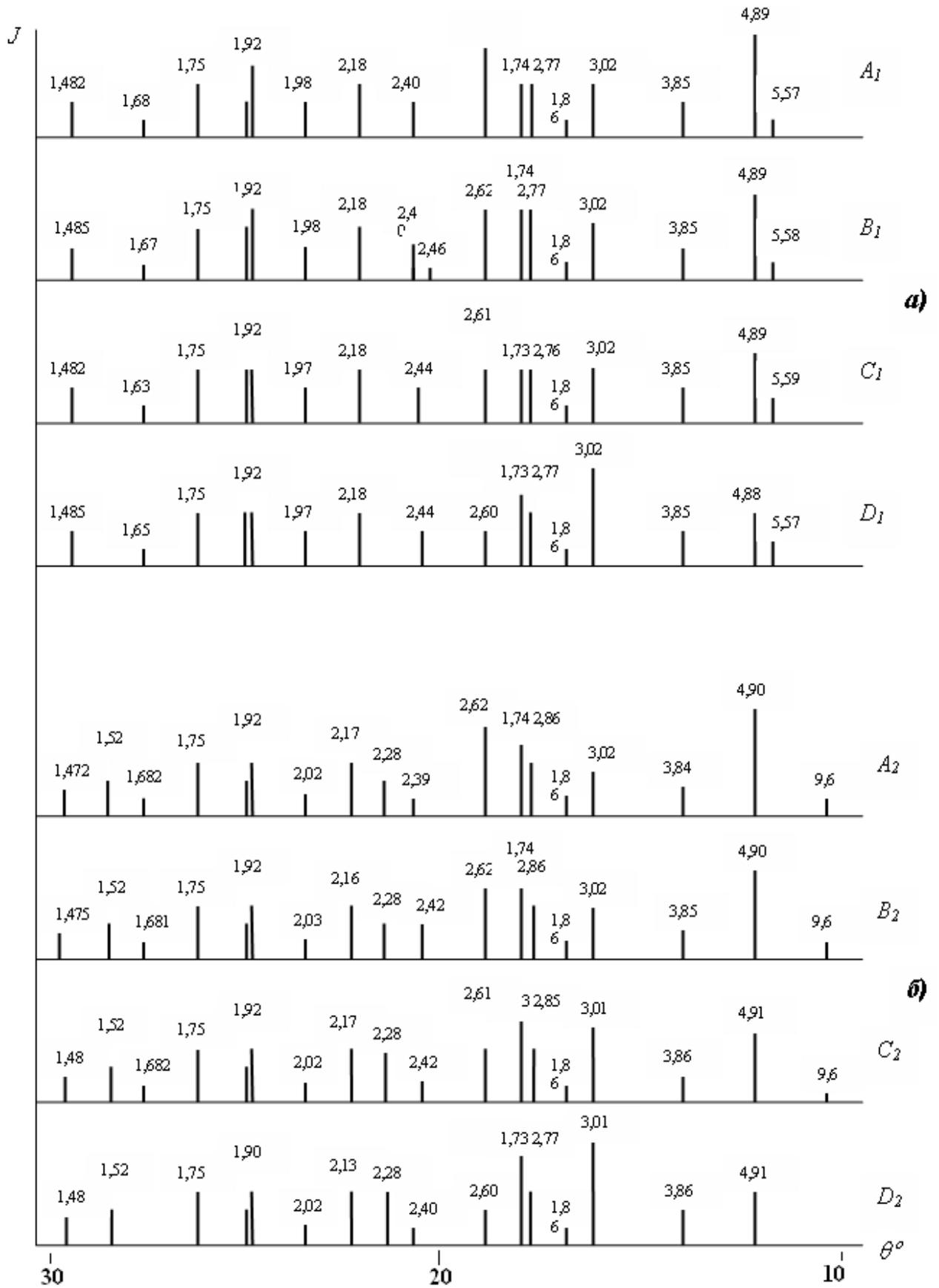


Рис. 5. Штрихрентгенограммы образцов полимерцементного камня: а - в возрасте 28 сут твердения (серия А_{1и} D₁); б - в возрасте 45 сут твердения (серия А_{2и} D₂).

2.6. Механохимический синтез заполнителей для огнестойких бетонов из вторичных минеральных ресурсов

Результаты химического анализа компонентов исследуемого материала приведены в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав огнеупорной глины, продукта высокоглиноземистый (ПВГ) и отходов карбида кремния (SiC)

№ пп.	Компоненты	Содержание, %									Огнестойкость, °С
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	R ₂ O	SiC	п.п.п.	
1.	Огнеупорная глина	50,6	32,2	0,4	0,3	0,2	1,6	0,5	-	13,5	1780
2.	ПВГ	10,5	53,5	4,1	4,6	13,2	6,4	0,84	-	6,14	2010
3.	Отходы карбида кремния	15,4	10,8	2,3	4,2	-	-	-	52,6	13,1	1650

По данным рентгенофазового анализа основным компонентом огнеупорной глины является каолин, ПВГ-глинозем. Карбид кремния в пределах точности метода не содержит примесных фаз. Дифрактограммы глины и ПВГ приведены на рис. 6. Исходный компонент состоит из изометрических зерен около 1 мкм.

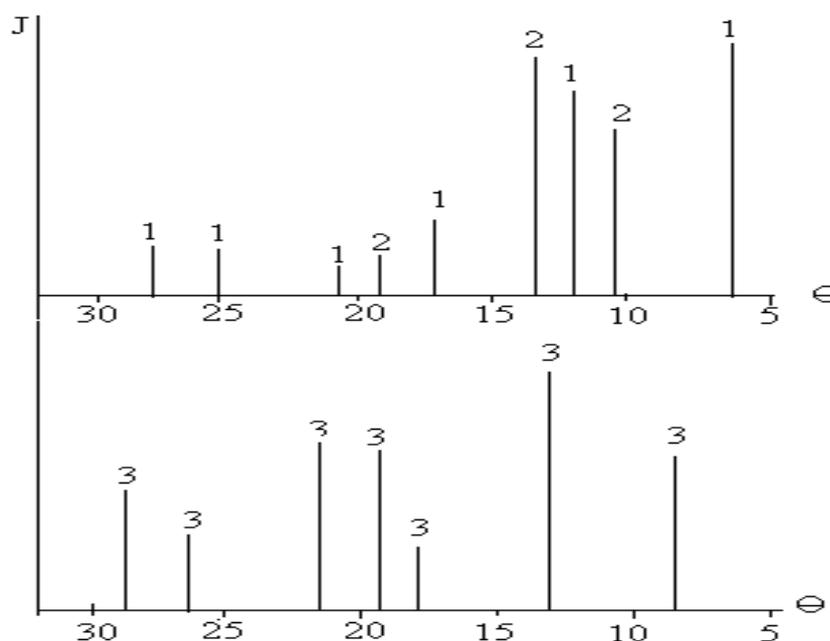


Рис. 6. Штрихрентгенограммы огнеупорной глины и высокоглиноземистого продукта. 1 - каолинит $Al_2[OH]_4 \cdot \{Si_2O_5\}$; 2 - кварц (SiO_2); 3 - глинозем ($\alpha-Al_2O_3$).

Определенная по ГОСТ 30108-94 эффективная удельная активность составила 39,5 Бк/кг. Согласно действующим нормам радиационной безопасно-

сти ПВГ соответствует первому классу ($A_{эфф}=365$ Бж/кг) и не имеет по этому показателю ограничений по использованию. Этот порошок используется для повышения прочностных и огнестойких свойств будущего вяжущего и бетона (от 5 до 10%).

В результате экспериментальных исследований синтеза муллита из ВМР на измельчительных аппаратах специальной конструкции установлена возможность переработки смесей до наноструктур. При этом разрушаются связи Si-O-Si в тетраэдрическом слое каолинита и образуются новые связи Si-O-Al в этом же слое. Это позволяет, в конечном итоге, значительно увеличить основные показатели и снизить температуру отжига муллита. Из полученных данных следует, что синтез муллита начинается при 900°C и завершается при температуре 1400°C , что на $200-300^{\circ}\text{C}$ снижает температуру отжига. На базе синтезированного муллита был получен композиционный огнеупорный материал – муллит-карбид кремния. В смесь перед активацией, состоящую из огнеупорной глины и ПВГ, добавляли отход производства карбида кремния (SiC) Исфаринского гидрометаллургического завода (от 25 до 50%).

Образцы после активации в проточной мельнице прессовали в пластинки (таблетки) размером $4,1 \times 1,5 \times 0,5$ см, отжигали при различных температурах и анализировали на рентгеновском дифракторе ДРОН-3М. Затем по стандартным методикам определяли прочность на изгиб и на сжатие (табл. 4)

Таблица 4

Основные показатели синтезированных материалов

№ пп.	Компоненты	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на сжатие, МПа	Огнестойкость, $^{\circ}\text{C}$
1.	Муллит	100	18,4	1860
2.	Муллит-карбид кремния (муллит + 25%SiC)	310	43	2076

Результаты измерений свидетельствуют о значительном повышении основных прочностных и огнестойких показателей получаемых продуктов.

Глава 3. КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ И ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ ИЗ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

3.1. Кинетика изменения физико-технических свойств цементных бетонов

В связи с продолжающейся длительное время гидратацией цемента структура затвердевшего бетона постоянно изменяется за счет развития кристаллического роста. Вместе с ней изменяются физико-механические свойства бетона, и в частности его прочность. При тонкости помола от 2200 до $2500 \text{ см}^2/\text{г}$ она изменяется согласно данным, приведенным в табл. 5.

Таблица 5

Кинетика изменения прочности бетона на портландцементе

Возраст бетона в сутках	Относительный предел прочности при сжатии при $R_{28} = 1$	Возраст бетона в годах	Относительный предел прочности при сжатии при $R_{28} = 1$
3	0,3	1	1,75
7	0,65	2	2
28	1	4-5	2,25
90	1,25	20-25	-
180	1,5	-	-

На рост прочности вначале интенсивный, а затем замедляющийся значительное влияние оказывает вид цемента, тонкость его помола и условия твердения – температура и влажность окружающей среды.

3.2. Резервные поры водонасыщенного цементного камня при его замораживании

Принимая во внимание особенности структуры бетона, механизм замерзания поровой воды и условия фильтрации из капилляра в воздушную пору, получено теоретическое решение. Оно показало, что величина максимального давления в поре, которое может обеспечить отжатие воды в пузырьки, определяется зависимостью:

$$P_{\max} = \left(\mu v_l (\rho_v - \rho_l) \right) \left(\sum r_i^2 P_t \right), \quad (1)$$

где μ – динамическая вязкость воды; v_l – скорость распространения фронта кристаллизации при льдообразовании; ρ_v, ρ_l – плотность воды льда; l_k – длина капилляра, соединяющего пору с воздушным пузырьком; r_i – радиус этого капилляра; P_t – пористость, соответствующая данному радиусу капилляра.

Результаты расчета по (1) показывают, что с повышением В/Ц величина давлений увеличивается.

3.3. Кинетика изменения поровой структуры в зависимости от характеристик бетонной смеси

На процесс структурообразования существенное влияние оказывает наличие влаги в бетоне в ходе его эксплуатации. Изменения, происходящие в структуре цементного камня, сопровождаются уменьшением объемов общей n_o , капиллярной n_k и увеличением объема гелевой пористости n_g ($r < 5$ нм) (рис. 7).

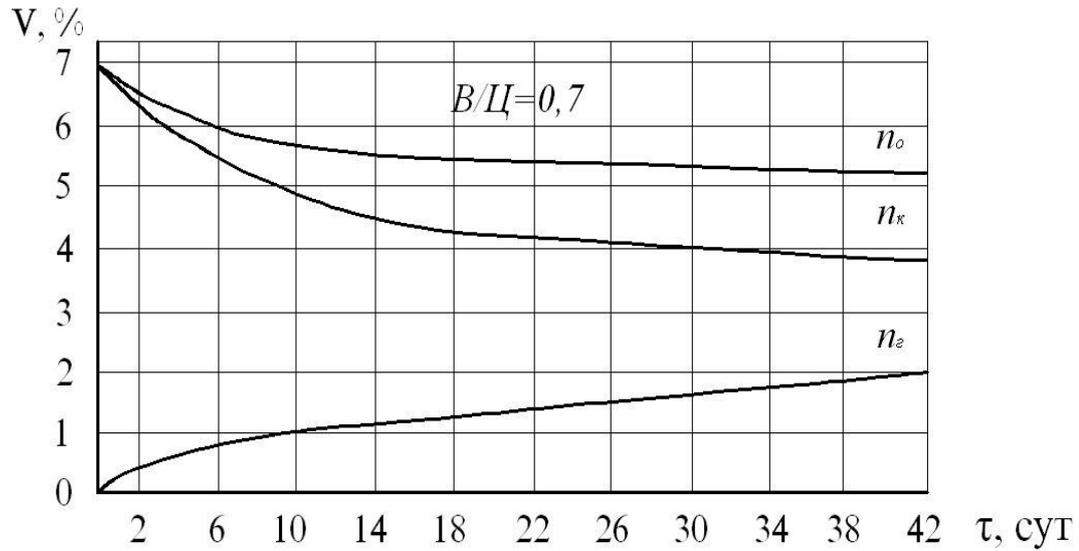


Рис. 7. Изменение общей, капиллярной и гелевой пористости цементного камня во времени при $B/C = 0,7$.

Несмотря на то, что гидратация цемента сопровождается контракцией (уменьшением объёма новообразований по сравнению с исходными объёмами цемента и воды) и появлением контракционных (гелевых) пор, $r < 5$ нм, объём твёрдой фазы увеличивается.

3.4. Колебание вязкоупругого слоя бетона с формой при вибрационных воздействиях

Задача для установившихся колебаниях балки, взаимодействующей с вязкоупругим слоем, записывается следующим образом:

$$E_* \partial^2 u (\partial y^2 + G_* \partial^2 u / \partial x^2) = \rho \partial^2 u / \partial t^2 \quad (2) \quad y = 0, \quad \partial u / \partial y = 0; \quad (3)$$

$$y = h, \quad \mathcal{G} = u; \quad (4) \quad x = 0, \quad x = l; \quad (5)$$

$$\partial u / \partial x = u \eta i \omega / \partial G_*, \quad y = h$$

$$m_o \partial^2 u / \partial t^2 + D_* \partial^4 \mathcal{G} / \partial x^4 = b E_* \partial u / \partial y +$$

$$+ \sum_{k=1}^N P_o \delta(x - x_k) e^{i\omega t} - \sum_{k=1}^N C \mathcal{G} \delta(x - x_k); \quad (6)$$

$$x = 0, \quad x = l, \quad \partial^2 u / \partial x^2 = \partial^3 \mathcal{G} / \partial x^3; \quad (7) \quad E_* = E(1 + \nu_o i \omega); \quad (8)$$

$$G_* = G(1 + \nu_1 i \omega); \quad (9) \quad D_* = D(1 + i\gamma); \quad (10) \quad P = P_o e^{i\omega t} (\cos \omega t); \quad (11)$$

Здесь m_o - эквивалентная масса; x_k^1 - значение производной балочной функции в этой точке; b - ширина балки; J_n - момент инерции массы m_n , $J_n = m_n a^2$ (a - расстояние от центра тяжести вибровозбудителя до нейтральной оси балки); u , P - деформация и плотность бетонной смеси; E , G - динамический модуль упругости и сдвига бетонной смеси; ν_o , ν_1 -

коэффициенты неупругого сопротивления колебаниям бетонной смеси; \mathcal{G} - деформация балки; D - жесткость балки; γ - коэффициент неупругого сопротивления колебаниям ($\gamma = 0,1$); η, d - вязкость и толщина пристенного вязкого слоя; δ - импульсная дельта-функция; N - количество вибраторов и сосредоточенных масс.

В данном случае, для решения (5) используя предложенный нами алгоритм расчета и упрощенный метод, связанный с приравниванием конечного числа M членов ряда в (3) и (5) при условии равенства средних значений деформаций на длине l , получаем для контактных динамических давлений $\sigma(x, h, t)$ выражение ($\gamma = 0$):

$$\sigma(x, h, t) = \sum_{m=n}^N (E/2lm_o) \pi n (-1)^{(n-1)/2} \sum X_m(a_k) L_m P_o \cos(n\pi x/l) T_n \cos(\omega t + \xi);$$

$$m = n = 3, 5, 7; \quad (12)$$

$$\text{где } T_n = \lambda_3 / \lambda_2 \lambda_4 \sqrt{M_1^2 + M_2^2};$$

$$M_1 = \omega_m^2 - \omega^2 - (b\lambda_4\lambda_2\lambda_3\lambda_5 / m_o\lambda_4) \cos(\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4);$$

$$\lambda_4 = 1 + tg^2 \alpha h \cdot th^2 \beta h; \quad tg\Phi_1 = v_o \omega; \quad tg\Phi_2 = \beta / \alpha; \quad tg\Phi_3 = gt\beta h th \alpha h;$$

$$tg\Phi_4 = tg \alpha h \cdot th \beta h; \quad tg\Phi_5 = -M_2 / M_1; \quad \xi = \Phi_4 - \Phi_2 - \Phi_5,$$

$$\text{где } L_m = (l / r_m) [chr_m - \cos r_m^2 - shr_m^2 + \sin^2 r_m];$$

$$\omega_m^2 = (Dr_m^2 / l^4 m_o) + (C / m_o) \sum_{k=1}^N X_m(a_k) / L_m.$$

где ω_m - собственная частота колебаний незагруженной балки.

Уравнение (12) с достаточной для практики точностью совпадает с полученным ранее для случая ударных воздействий.

3.5. Кинетика изменения прочности грунтогрунта при сжатии и изгибе при влиянии замораживания-оттаивания

Образцы изготавливались из смеси портландцемента марки М500 и мелкозернистого песка ($pH = 7,05$) определенного гранулометрического состава. Результаты коэффициентов морозостойкости приведены в табл. 6.

Как видно из таблицы, влияние замораживания-оттаивания на прочность цементогрунта при сжатии и изгибе различно. Значения коэффициента морозостойкости по сжатию находятся в основном в пределах $0,7 \div 0,8$, а средние значения, близкие для образцов с содержанием цемента в количестве 18 и 20%, удовлетворяют требованиям к морозостойкости укрепленных грунтов ($K \geq 0,75$).

Однако почти все значения коэффициента морозостойкости по изгибу меньше, чем по сжатию, и находятся в пределах $0,5 \div 0,7$. Почти все значения соотношений коэффициентов морозостойкости по изгибу и сжатию меньше

единицы и находятся, в основном, в пределах $0,6 \div 0,8$, средние значения для образцов с содержанием цемента в количестве 18 и 20% довольно близкие и могут быть приняты равными 0,7.

Таблица 6

Результаты вычислений коэффициентов морозостойкости по сжатию $K_{сж}$ и по изгибу $K_{изг}$

Содержание цемента, % по весу	№ образцов	Коэффициенты морозостойкости		M= $K_{изг}/K_{сж}$
		по прочности на сжатие, $K_{сж}$	по прочности на изгиб, $K_{изг}$	
18	1	0,98	0,53	0,52
	2	0,67	0,58	0,87
	3	0,77	0,72	0,94
	4	0,58	0,47	0,81
	5	1,02	0,52	0,51
	6	0,79	0,79	1,00
	7	0,88	0,28	0,32
	Среднее	0,81	0,56	0,69
20	1	0,70	0,47	0,67
	2	0,70	0,58	0,83
	3	0,70	0,49	0,70
	4	0,65	0,44	0,68
	5	0,65	0,58	0,89
	6	0,84	0,56	0,67
	7	1,05	0,71	0,68
	8	0,91	0,65	0,71
	9	0,55	0,49	0,89
	10	0,95	–	–
	11	1,19	0,68	0,57
	12	0,46	0,49	1,06
	13	0,83	0,27	0,32
	Среднее	0,78	0,57	0,73

3.6. Техничко-экономическая целесообразность применения цементных бетонов на основе местного минерального сырья Республики Таджикистан

Установлено, что в настоящее время технико- и экономически целесообразным является применение химических вяжущих материалов для укрепления грунтов основной площадки земляного полотна железнодорожного транспорта (в зависимости от видов деформации и типов грунтов).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе комплекса физико-химических и физико-технических исследований выявлено, что процесс формирования структуры цементного камня происходит через химическое взаимодействие минералов с водой и кристаллизацию новообразований, протекающую на границе раздела фаз, формируется из небольшого количества гидросиликатов, крупных кристаллов гидрооксида (СН) и этtringита ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot(32-34)\text{H}_2\text{O}$).

2. Методом рентгенофазового анализа продуктов процесса кристаллизации и гидратации трехкальциевого алюмината $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) в воде установлено, что продукты трёхкальциевого силиката в первые минуты представляют собой силикагель, высокоосновный гидросиликат – двуводный трёхкальциевый силикат (C_3SH_2), неустойчивые новообразования, постепенно превращающиеся в более стабильные гидросиликаты сложного состава типа $n\text{CaO}\cdot x\text{SiO}_2\cdot y\text{H}_2\text{O}$. При концентрации гидрооксида кальция в жидкой среде от 0,05 до 1,1 г/л (в пересчете на CaO) в растворе возникают новообразования типа $(0,6\div 1,5)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot(0,5\div 2,5)\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ (CSH (I)) или $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ (CSH (B)).

3. В результате взаимодействия трехкальциевого алюмината $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) с водой в зависимости от температуры и щелочности среды, первоначально формируются кристаллы продуктов гидратации алюминатов, представляющие собой рыхлый слой неустойчивых гидратов $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ (C_4AH_{13}) и $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (C_2AH_6) в виде тонких гексагональных пластинок, в последующем перекристаллизуются в стабильную форму гидроалюмината $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (C_3AH_6) с кристаллами кубической формы.

4. Определено, что при длительном взаимодействии в водной среде с различными компонентами, входящими в состав клинкера, в структуре твердого сростка появляются частицы: гидросиликоалюминатов кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSiO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSiO}_4\cdot 31\text{H}_2\text{O}$); гидрохлораалюминатов кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$); гидрокарбоалюминатов кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaCO}_3\cdot 31\text{H}_2\text{O}$); гидроферритов кальция ($\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), перекристаллизующихся в $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ и способных подобно гидроалюминатам давать комплексные соединения с гипсом, хлористым кальцием и др. Одновременное образование трех и четырех кальциевых гидроалюминатов и гидроферритов приводит при гидратации C_4AF к возникновению кубических кристаллов твердых растворов типа: $3\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $4\text{CaO}\cdot(\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 13\text{H}_2\text{O}$.

5. Установлено, что эффективность химических добавок в глинистые грунты (с pH = 5,6-6,2), при получении цементогрунтов высокой морозостойкости и механической прочности зависит от вида и количества химической добавки, количества цемента и гранулометрического состава обрабатываемого грунта; при укреплении супесчаного грунта эффективны добавки CaCl_2 , Na_2SO_4 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Для легко- и тяжелосуглинистого грунта наиболее эф-

фективны добавки $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , CaCl_2 . Также при этом наблюдается ускорение формирования структурно-механических свойств цементогрунта в ранние сроки твердения (7 - 28 сут).

6. При термографическом анализе образцов шлакопортландцемента с разным процентным содержанием добавки полимера в виде фурилового спирта от 0 до 5% (отвердитель - солянокислый анилин в количестве 12% от количества фурилового спирта), выявлены три основных эндотермических пика при температурах: 100-140; 470-490 и 760-780°C. Присутствие других эффектов (при температурах 770°C) объясняется, очевидно, наличием в образцах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 соответственно. Имеющиеся на термограммах экзотермические эффекты в области температур порядка 300, 500 и 800-900°C отвечают последующим процессам кристаллизации продуктов дегидратации, декарбонизации и др.

7. Механохимическим методом синтезированы новые огнестойкие материалы с высокими прочностными и огнеупорными характеристиками исключительно из вторичных минеральных ресурсов. При переработке смесей на мельницах до наноструктур установлена перестройка структур составляющих смесей, в частности, разрушение связей Si-O-Si в тетраэдрическом слое каолинита и образование новых связей Si-O-Al в этом же слое, что позволило значительно повысить основные прочностные и огнестойкие показатели получаемых продуктов (муллита и муллит-карбида кремния), снизить температуру отжига на 200-300°C.

Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Саидов Д.Х., Комилов А.Х. Эффективность использования минерального сырья Республики Таджикистан // Информационный листок №1-2005. - Душанбе, НПИЦентр Республики Таджикистан. -8 с.

2. Кобулиев З.В., Саидов Д.Х., Комилов А.Х. Физико-химические аспекты структурообразования строительных материалов на основе минерального сырья Республики Таджикистан // Доклады АН Республики Таджикистан. -Душанбе, 2005. -Том XLVIII. -№ 8. -С.42-48.

3. Kobuliev Z.V., Saidov J.Ch., Muhamadiev M.S. Komilov A.Ch. On reological study of fresh cement paster (Dushanbe power) (Proceedings) // 7 TPC. -Dundee, 2005. - P.212-219.

4. Саидов Д.Х., Комилов А.Х. Влияние вибрации на формирование бетонной смеси и кинетики изменения физико-технических свойств цементных бетонов // Материалы Международной научно-практической конференции (НПК) «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты» (г.Душанбе, 25-27 октября 2006 г.). -Душанбе, 2006. -С.120-125.

5. Комилов А.Х., Саидов Д.Х. Влияние химических добавок и гранулометрического состава на комплексное укрепление грунтов цементом // Материалы II Международной НПК «Перспективы развития науки и образования в XXI веке», Ч.2. -Душанбе: ТТУ, 2007. -С.70-75.

6. Комилов А.Х., Саидов Д.Х. Физико-химические закономерности структурообразования в цементогрунтах / Материалы II Республиканской НПК. –Чкаловск: ГМИТ, 2008. –С.63-68.

7. Комилов А.Х. Физико-химические основы структурообразования цементных бетонов // Материалы Республиканской НПК «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». -Душанбе, 2009. –С.254-258.

8. Саидов Д.Х., Комилов А.Х. Механохимический синтез заполнителей для огнестойких бетонов из вторичных минеральных ресурсов // Материалы Республиканской НПК «Прогрессивные методы производства», посв. 35-летию кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» ТТУ им. акад. М.С.Осими. -Душанбе, 2009. –С.143-147.

9. Кобулиев З.В., Комилов А.Х., Исмонкулов С. Экологические формы представления систем взаимосвязи предприятия с окружающей средой // Вестник Таджикского национального университета: Серия естественных наук. –Душанбе. - 2010. -№6(62). –С.228-236.

10. Комилов А.Х. Физико-химические особенности гидратации цемента в полимерцементных суспензиях // Материалы Республиканской НПК «Горные, геологические и экологические аспекты развития горнорудной промышленности в XXI веке», посв. 100-летию акад. АН РТ С.М.Юсуповой. –Душанбе, 2010. –С.254-260.

11. Саидов Д.Х., Гуломов А.Г., Умаров У.Х. Физико-химические механизмы воздействия агрессивных сред на строительные конструкции / Материалы Республиканской НПК «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», посв. 20-летию независимости Республики Таджикистан и 55-летию ТТУ им. акад. М.С.Осими. –Душанбе, 2011. –С.84-87.

12. Гуломов А.Г., Комилов А.Х., Маджидов Т.С. Элементный линейный эмпирический метод расчета физико-химических характеристик веществ // Материалы Республиканской НПК «Наука и строительное образование на современном этапе», посв. 20-летию независимости Республики Таджикистан и 55-летию Таджикского технического университета (ТТУ) им. акад. М.С.Осими. –Душанбе, 2011. –С.50-54.

13. Комилов А.Х. Применение способа химической активации и химическая гидролитическая деструкция молекул при получении вяжущих и модификаторов бетонов // Материалы Республиканской НПК «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», посв. 20-летию независимости Республики Таджикистан и 55-летию ТТУ им. акад. М.С.Осими. –Душанбе, 2011. –С.81-83.

Разрешено к печати 18.04.2012 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитур Times New Roman.
Заказ №128. Тираж 100 экз.

Напечатано в типографии ООО «Хирад»,
Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул. Айни – 47.