

УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

на правах рукописи

УДК 666.965

Киселева Светлана Александровна

ЭНЕРГО– И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТНОГО  
КИРПИЧА

Специальность 05. 23. 05 – строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

научный руководитель:  
Шабанова Галина Николаевна,  
доктор технических наук,  
профессор

Харьков 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6	
РАЗДЕЛ 1		
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ «ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФАЗООБРАЗОВА- НИЯ ПРИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗВЕСТКОВО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ» .....		13
1.1 Особенности технологии силикатного кирпича.....	16	
1.2 Система $CaO - H_2O$ .....	20	
1.3 Система $CaO - SiO_2 - H_2O$ .....	22	
1.3.1 Индивидуальные фазы в системе $CaO - SiO_2 - H_2O$ .....	24	
1.3.2 Механизм взаимодействия компонентов в системе $CaO - SiO_2 - H_2O$ .....	30	
1.4 Влияние дисперсности кремнезема на характер взаимодействия известки и кварца при автоклавной обработке .....	36	
1.5 Добавки, интенсифицирующие процесс автоклавной обработки известково-песчаных смесей .....	37	
1.6 Выбор направления исследований .....	43	
РАЗДЕЛ 2		
СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....		45
2.1 Характеристика сырьевых материалов .....	45	
2.2 Методы исследования .....	54	

## РАЗДЕЛ 3

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ

$CaO - SiO_2 - H_2O$  .....58

3.1 Формирование термодинамической базы гидросиликатов  
кальция, образующихся при гидротермальной обработке

известково-песчаных смесей .....58

3.2 Термодинамический анализ реакций в системе

$CaO - SiO_2 - H_2O$  .....66

3.3 Выводы по разделу и постановка задач исследования .....78

## РАЗДЕЛ 4

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ,

## ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩЕЙ ПРОЦЕСС АВТОКЛАВНОЙ

ОБРАБОТКИ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА .....81

4.1 Влияние тонкодисперсной добавки отхода мелющих тел

на свойства силикатного кирпича .....81

4.2 Влияние активных тонкодисперсных добавок –

отходов промышленности на физико-механические свойства

силикатного кирпича .....90

4.3 Влияние добавок-электролитов на параметры

гашения извести .....98

4.4 Влияние добавок-электролитов на режим гидротермальной

обработки силикатного кирпича и его физико-механические

свойства .....105

4.5	Влияние комплексных добавок на режим гидротермальной обработки силикатного кирпича и его прочностные характеристики .....	114
4.6	Выводы по разделу .....	121
РАЗДЕЛ 5		
КИНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ $CaO - SiO_2 - H_2O$ .....		
124		
5.1	Оптимизация параметров гидротермальной обработки силикатного кирпича и уточнение его рационального состава .....	124
5.2	Кинетические особенности процессов фазообразования в системе $CaO - SiO_2 - H_2O$ .....	131
5.3	Исследование продуктов гидратации известково-песчаных смесей рациональных составов .....	140
5.4	Выводы по разделу .....	169
РАЗДЕЛ 6		
АПРОБАЦИЯ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА .....		
155		
6.1	Определение физико-механических и технических свойств образцов силикатного кирпича .....	173
6.2	Выпуск экспериментальной партии силикатного кирпича в лабораторных условиях .....	174
6.3	Выпуск экспериментальной партии силикатного кирпича в полупромышленных условиях .....	175

	5
6.4 Выводы по разделу .....	177
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....	179
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	184
Приложение А .....	185
Приложение Б .....	190
Приложение В .....	194
Приложение Г .....	195
Приложение Д .....	197
Приложение Е .....	199
Приложение Ж .....	201
Приложение З .....	203
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	204

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В настоящее время в Украине наблюдается бурное развитие строительства, что вызвало стремительно растущий спрос на стеновые материалы, в том числе и силикатные материалы автоклавного твердения.

С каждым годом все большую актуальность приобретает проблема энергосбережения, что связано с ограниченностью запасов собственных энергоносителей, ростом цен на экспортные и низкой эффективностью использования современных технологий, по сравнению с развитыми странами. В развитых странах уровень переработки промышленных отходов достигает 70 – 80%, в то время как в Украине не превышает 12 – 15%, в связи с чем все более актуальной становится проблема утилизации твердых промышленных отходов, занимающих огромные площади под отвалы и негативно влияющих на природные ландшафты и экологические условия.

Промышленность строительных материалов относится к энерго- и ресурсоемким отраслям: так, расход топлива на производство извести составляет порядка 11% от общих расходов топлива в строительном комплексе. Уменьшить затраты на производство строительных материалов возможно путем использования отходов промышленности, что позволит сэкономить природное сырье и снизить экологическую нагрузку в регионах накопления отходов.

Несмотря на высокие качественные и технико-экономические показатели, снижение себестоимости силикатных изделий автоклавного твердения остается актуальной задачей, решение которой связано с заменой основных компонентов сырьевой смеси отходами промышленного производства и снижением энергозатрат при гидротермальной обработке изделий.

В процессе производства силикатного кирпича используется известково-песчаная смесь, которая увлажняется водой, формируется путем прессования и подвергается гидротермальной обработке в автоклаве. Наиболее доро-

гостоящим компонентом сырьевой смеси для производства силикатных изделий является известь, а наиболее энергоемким процессом – набор давления и выдержка изделий под давлением в автоклаве.

Технико-эффективным решением представляется замена извести на более дешевые материалы – отходы промышленности, и разработка технологии, которая позволит уменьшить давление и время автоклавной обработки, что приведет к снижению энергозатрат при производстве силикатных стеновых материалов.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Диссертационная работа выполнялась на кафедре "Охрана труда и окружающей среды" УкрГАЗТ. Работа выполнялась согласно плана фундаментальных работ МОН Украины № ДР 0106U001508, хоздоговорной работы "Усовершенствование технологии строительных материалов" (ДП "Укрспецвагон", 2007 г.), где соискатель был ответственным исполнителем.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является выявление закономерностей и особенностей процессов фазообразования при гидротермальной обработке известково-песчаных смесей для разработки энерго- и ресурсосберегающей технологии силикатного кирпича.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- сформировать базу термодинамических данных для соединений, входящих в систему  $CaO - SiO_2 - H_2O$ , и выполнить анализ направленности химических реакций;
- разработать комплексную добавку на основе отходов промышленности и добавок - электролитов, и исследовать ее влияние на эксплуатационные характеристики силикатного кирпича;
- оптимизировать режим гидротермальной обработки силикатного кирпича;
- исследовать кинетические особенности процессов фазообразования в системе  $CaO - SiO_2 - H_2O$ ;
- выпустить экспериментальную партию силикатного кирпича и определить его эксплуатационные характеристики.

**Объект исследований** – процессы фазообразования в известково-песчаных смесях при гидротермальной обработке.

**Предмет исследования** – закономерности образования гидросиликатов кальция в системе  $CaO - SiO_2 - H_2O$  в присутствии комплексной добавки и их участие в формировании структуры изделий при автоклавной обработке.

**Методы исследований.** Решению поставленных задач способствовало применение комплекса современных методов экспериментальных и теоретических исследований. Для установления направленности процессов фазообразования в известково-песчаных смесях применялся метод термодинамического анализа твердофазных реакций. Статистическая обработка экспериментальных данных и термодинамических расчетов выполнены с использованием пакета прикладных программ. Исследования фазового состава сырья и продуктов гидротермальной обработки, а также микроструктуры материалов, проводились с привлечением комплекса аппаратурных физико-химических методов анализа, таких как: рентгенофазовый, дифференциально-термический, петрографический, метод растровой электронной микроскопии. Физико-механические и эксплуатационные свойства силикатных изделий определялись в соответствии с ДСТУ Б В.2.7–80–98 «Будівельні матеріали. Цегла і камені силікатні. ТУ» и ДСТУ Б В.2.7–42–97 «Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів».

**Научная новизна** данной диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана кристаллохимическая концепция направленного формирования высоких физико-механических свойств материала силикатного кирпича при энергосберегающем режиме гидротермальной обработки 0,6 МПа – 6 ч, за счет формирования кристаллических новообразований гидросиликатов кальция с плотноупакованной структурой, путем введения в сырьевую смесь активных минеральных добавок промышленных отходов, имеющих гидравлический и



пуццолановый характер и добавок – электролитов с изоморфными кристаллической решетке гидросиликатов кальция анионными группировками разных типов.

2. Сформирована и уточнена термодинамическая база данных, необходимых для исследования системы  $CaO - SiO_2 - H_2O$ , в состав которой входят гидросиликаты кальция. Установлено, что соотношение  $C/S$ , близкое к 1, при пониженной температуре гидротермальной обработки 437 К, обеспечивает предпочтительность кристаллизации фаз пластинчатой и игольчатой морфологии, что обеспечивает армирование структуры материала силикатного кирпича и повышение его физико-механических и технических характеристик.

3. Установлены закономерности влияния на процессы фазообразования при гидротермальной обработке известково-песчаных смесей активных тонкодисперсных добавок – промышленных отходов, таких как: кремнеземистый отход производства мелющих тел, доменный отвальный шлак и цементная пыль-унос рукавных фильтров, которые приводят к более полному усвоению извести, образованию дополнительного количества гидросиликатов кальция, способствуют повышению физико-механических характеристик силикатного кирпича.

4. Установлен механизм действия электролитов на процесс гидратации извести, основанием для которого послужило правило растворения солей, основанное на соотношении произведения концентраций ионов, входящих в состав твердого вещества, к произведению растворимости этого вещества. Произведение концентраций ионов  $C_{Ca^{2+}} \cdot C_{OH^-}$  увеличивается с увеличением концентраций исследуемых электролитов в случае, если один из ионов имеет сродство с  $Ca(OH)_2$ , и уменьшается в случае образования кальциевых солей с намного меньшим произведением растворимости или хорошо растворимых солей, а также с уменьшением  $pH$  водного раствора в сырьевой смеси.

5. Установлена взаимосвязь между процессами структурообразования в силикатных изделиях и коллоидно-химическими представлениями о концентрационной коагуляции дисперсных систем; электроповерхностными свойствами структурных элементов и взаимодействием между ними, с образованием прочных кон-

тактов с двойным электрическим слоем с общим слоем противоионов  $Ca^{2+}$  и слоями потенциалопределяющих ионов  $OH^-$  на гидросиликатных частицах, электрогетерогенных контактов между положительно заряженными кристаллогидратными и отрицательно заряженными гидросиликатными частицами.

6. Исследованы кинетические особенности процессов фазообразования в системе  $CaO - SiO_2 - H_2O$  в присутствии комплексной добавки. Установлено, что лимитирующей стадией при взаимодействии извести с компонентами сырьевой смеси является процесс диффузии через слой новообразований на поверхности зерен песка, о чем свидетельствуют зависимость скорости от времени и величина энергии активации; скорость процессов фазообразования удовлетворительно описывается уравнением Гинстлинга – Броунштейна.

**Практическое значение полученных результатов.** Установлены закономерности и особенности процессов фазообразования в системе  $CaO - SiO_2 - H_2O$  в присутствии добавок, что позволило разработать энерго – и ресурсосберегающую технологию силикатного кирпича. Результаты исследований прошли стадию лабораторной апробации на кафедре огнеупоров, стекла и эмалей НТУ “ХПИ”. Положительные результаты получены при испытании экспериментальной партии силикатного кирпича на ГП “Укрспецвагон”, г. Панютино. Подтверждена эффективность найденных технологических решений при выпуске и испытаниях крупнотоннажной экспериментальной партии силикатного кирпича предприятием ОАО «Северодонецкий завод строительной керамики», получен одинарный рядовой полнотелый силикатный кирпич, соответствующий требованиям ДСТУ Б В.2.7-80-98 и ДСТУ Б В.2.7-42-97: предел прочности при сжатии – 20 МПа, предел прочности при изгибе – 3,2 МПа, морозостойкость – 25 морозоциклов, водопоглощение – от 10% до 12%.

Накопленный в диссертационной работе экспериментальный и теоретический материал может быть использован при поиске новых добавок для изготовления известково-песчаных изделий, позволяющих снизить время выдержки и давление в автоклаве.

Теоретические, технологические и методологические разработки диссертации используются в учебном процессе кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей НТУ «ХПИ» при чтении дисциплин “Общая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов”, «Химическая технология вяжущих материалов».

**Личный вклад** автора диссертационной работы: основные положения диссертационной работы, вынесенные на защиту, получены соискателем лично. Среди них: расчет термодинамических констант соединений, образование которых наиболее вероятно при гидротермальной обработке известково-песчаных смесей; изучение влияния интенсифицирующих добавок отходов промышленного производства и электролитов на физико-механические свойства силикатного кирпича; исследование фазового состава образцов силикатного кирпича с добавками; теоретическое обоснование возможности сокращения параметров автоклавной обработки (давления и времени обработки) без снижения прочности изделий; исследование кинетических закономерностей процессов фазообразования в системе  $CaO - SiO_2 - H_2O$ ; определение физико-механических и технических свойств полученного силикатного кирпича.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международных научно-технических конференциях кафедр академии и специалистов железнодорожного транспорта и предприятий (г. Харьков, 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 гг.), научно-методической конференции общества специалистов по безопасности жизнедеятельности (г. Харьков, 2005, 2006, 2007 гг.), на III Международной конференции “Сотрудничество для решения проблемы отходов” (г. Харьков, 2006 г.), Международных научно-практических конференциях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (г. Харьков, 2007, 2009, 2010 гг.), IV Украинской научно-технической конференции по технологии неорганических веществ “Современные проблемы технологии неорганических веществ” с международным участием (г. Днепропетровск, 2008 г.), IV Международной НТК студентов, аспиран-

тов и молодых ученых “Химия и современные технологии” (г. Днепропетровск, 2009г.), III Международной научно-практической конференции “Безпека життєдіяльності людини, як умова сталого розвитку сучасного суспільства” (г. Харьков, 2009).

**Публикации.** Основные положения и научные результаты диссертационной работы опубликованы в 14 научных работах, среди которых 8 статей в научных изданиях, входящих в перечень ВАК Украины.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України «Про енергозбереження»: за станом на 1 липня 1994 р. // Відомості Верховної Ради України (ВВРУ). – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 1994. – № 30. – ст. 283.
2. Минаев А.А. Организация региональных комплексов утилизации отходов металлургии Украины / А.А. Минаев, Н.И. Конищева, И.П. Навка, В.И. Ростовский // Семинар по черной металлургии и рециркуляции, 24-27 апреля 1995 г.: доклады. – Дюссельдорф (Германия). – 1995. – С. 5.
3. Хазан В.Б. На шляху до екологічно стійкого використання ресурсів в Україні: проблема накопичення промислових відходів / В.Б. Хазан, О.К. Лівшиць. – Дніпропетровськ: Січ, 1999. – 27 с.
4. Мандзюк І.А. Питання поводження з промисловими та побутовими відходами / І.А. Мандзюк // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 3. – С. 41 – 43.
5. Шавкат Б. Последний кирпич / Б. Шавкат // Бизнес. – 2006. – № 35. – С. 106 – 109.
6. Будівельні матеріали. Цегла і камені силікатні. ТУ: ДСТУ Б В.2.7.-80-98. – [Чинний від 1999-03-01]. – К.: Держбуд України, 1998. – 28 с. – (Національний стандарт України).
7. Слободяник И.Я. Строительные материалы и изделия: учебн. для студ. строит. инст. и факульт. / И.Я. Слободяник. – К.: Вища школа, 1973. – 376 с.
8. Горчаков Г.И. Строительные материалы: учебн. для студ. строит. специальн. высш. учебн. завед / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
9. Боженов П.И. Технология автоклавных материалов: учебн. для студ. ВУЗов, специальн. «Произв. строит. изд. и констр.» / И.П. Боженов. – Л.: Стройиздат, 1978. – 368 с.

10. Леонтьев Е.Н. Роль цементирующего вещества в создании прочности плотного (тяжелого) силикатного бетона / Е.Н. Леонтьев // Автоклавные бетоны и изделия на их основе. – 1972. – С. 33 – 45.

11. Кржеминский, С.А. К теории интенсификации процесса автоклавного твердения силикатных материалов на основе извести / С.А. Кржеминский // Сборник трудов РОСНИИМС. – 1953. – № 4. – С. 127 – 137.

12. Taylor H.F.W. Hydrated calcium silicates. Part V. The water content of calcium silicate hydrate / H.F.W. Taylor // J. Chem. Soc. – 1953. – P. 163 – 171.

13. Pepler R.B. System of CaO – SiO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O at 180 °C / R.B. Pepler // J. Res. NBS. – 1955. – Vol. 54. – № 4. – P. 205 – 211.

14. Kalousek G.L. Studies in the lime-rich crystalline solid phases in the system lime–silica–water / G.L. Kalousek, J.S. Logindise, V.H. Dodson // J. Amer. Ceram. Soc. – 1954. – Vol. 37. – № 1. – P. 7 – 13.

15. Бутт Ю.М. Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю.М. Бутт, Л.Н. Рашкович. – М.: Госстройиздат, 1969. – 232 с.

16. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий / И.А. Хинт. – Л.: Госстройиздат, 1962. – 604 с.

17. Knibbs N.V.S. Lime and limestone: the Origin, Occurrence, Properties, Chemistry, Analysis and Testing of Limestone, Dolomite and their Products, and teory of lime – burning and Hydration / N.V.S. Knibbs, B.J. Gee. – Canade: H.L. Hall Corporation LTD, 1974. – 232 p.

18. Григорьев П.Н. Применение извести в строительстве: монография / Григорьев П.Н.; под ред. А.М. Щепетов. – М.: Госстройиздат, 1952. – 80 с.

19. Осин Б.В. Негашеная известь как новое вяжущее вещество / Осин Б.В. – М.: Промстройиздат, 1954. – 384 с.

20. Гулинова Л.Г. Технология автоклавных строительных материалов / Гулинова Л.Г., Корнилович Ю.Е., Скатынский В.И. – К.: Госстройиздат, 1958. – 256 с.

21. Будников П.П. Определение активности извести и ускорение ее гашения / П.П. Будников, Л.Г. Гулинова, М.И. Гершман // Строительные материалы. – 1956. – № 7. – С. 16 – 25.

22. Вельд Е.И. Физико-химические основы технологии автоклавных строительных материалов / Е.И. Вельд, Г.М. Бакланов, Е.Ф. Жаров. – К.: Будівельник, 1966. – 212 с.

23. Бутт Ю.М. Синтез индивидуальных фаз в системе  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  / Ю.М. Бутт, О.М. Грачева, Л.Н. Рашкович, А.А. Майер // Изучение автоклавных материалов и их применению в строительстве: межвузовская конференция, 1959 г.: доклады. – Л., 1959. – С. 274 – 280.

24. Красильников К.Г. Химические процессы в дисперсных телах (исследование системы  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ) / К.Г. Красильников // Совещание по химии цемента: труды. – М., 1956. – С. 351 – 380.

25. Assarson G. Hydrothermal reaction between calcium hydroxide and silica: the reaction between 120 °C and 160 °C / G. Assarson // J. Phys. Chem. – 1957. – Vol. 62. – № 2. – P. 223 – 228.

26. Assarson G. Hydrothermal reaction between calcium hydroxide and silica: the reaction between 180 °C and 220 °C / G. Assarson // J. Phys. Chem. – 1957. – Vol. 61. – № 4. – P. 473 – 479.

27. Assarson G.J. Hydrothermal reaction between calcium hydroxide and amorphous silica / G.J. Assarson, E. Rydberg // J. Phys. Chem. – 1956. – Vol. 60. – № 4. – P. 397 – 404.

28. Flint E.P. Formation of hydrated calcium silicates at elevation temperatures and pressures / E.P. Flint, H.F. Mc. Murder, L.S. Wells // J. Res. NBS. – 1938. – Vol. 21. – № 5. – P. 617 – 638.

29. Kalousek G.L. Crystal chemistry of hydrous calcium silicates. Part III. Morphology and other properties of tobermorite and related phases / G.L. Kalousek, A.F. Prebus // J. Amer. Ceram. Soc. – 1958. – Vol. 41. – № 4. – P. 124 – 132.

30. Taylor H.F.W. Hydrated calcium silicates. Part I. Compounds formation at ordinary temperatures / H.F.W. Taylor // *J. Chem. Soc.* – 1950. – № 12. – P. 3682 – 3690.
31. Taylor H.F.W. The Calcium Silicate Hydrates / H.F.W. Taylor // *V Internat. Symposium on the Chemistry of Cement.* – Tokio, 1968. – Part 1. – P. 1 – 26.
32. Тейлор Х.Ф. Гидротермальные реакции в системе  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  и автоклавная обработка цементных и цементно-кремнеземистых продуктов / Х.Ф. Тейлор // *IV межд. конгр. по химии цемента.* – М., 1964. – С. 159 – 200.
33. Luke K. Phase studies of pozzolanic stabilized calcium silicate hydrates at 180 °C / K. Luke // *Cem. and Concr. Res.* – 2004. – Vol. 34. – № 9. – P. 1725 – 1732.
34. Siaucionos R. Formation of  $\text{CaO}$  and amorphous  $\text{SiO}_2$  or quartz / R. Siaucionos, K. Baltakys // *Cem. and Concr. Res.* – 2004. – Vol. 34. – № 11. – P. 2029 – 2036.
35. Мамедов Х.С. Кристаллическая структура минералов волластонитовой группы / Х.С. Мамедов, Н.В. Белов // *Записки Всесоюзного минералогического общества.* – 1956. – Вып. 85. – № 1. – С. 13 – 38.
36. Бернал Дж. Структура цементных гидратированных соединений / Дж. Бернал // *III Международный конгресс по химии цемента.* – М., 1958. – 137 с.
37. Мамедов Х.С. Кристаллическая структура ксонотлита / Х.С. Мамедов, Н.В. Белов // *Докл. АН СССР.* – 1955. – Т. 104, № 4. – С. 614 – 618.
38. Куколев Г.В. Химия кремнезема и физическая химия силикатов: учебн. для студ. вузов / Г.В. Куколев. – М.: Высшая школа, 1966. – 464 с.
39. Мамедов Х.С. Кристаллическая структура тоберморита / Х.С. Мамедов, Н.В. Белов // *Докл. АН СССР.* – 1958. – Т. 123, № 1. – С. 163 – 165.
40. Merlino S. The real structure tobermorite  $11\text{\AA}$  normal and anomalous form, OD character and polytypic modifications / S. Merlino, E. Bonassorsi,



140. Шейкин А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

141. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / Л.Г. Шпынова, В.И. Чих, М.А. Саницкий и др. – Львов: Вища школа, 1981. – 158 с.

142. Эмралиева С.А. Ультрадисперсные пуццолановые добавки для гидроизоляционных растворов: автореф. дисс. на соиск. уч степени канд. техн. наук.: спец. 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / С.А. Эмралиева. – Челябинск, 2009. – 22 с.

143. Шабанова Г.Н. Влияние времени автоклавной обработки на механическую прочность силикатных изделий / Г.Н. Шабанова, А.В. Шапка, С.А. Киселева // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2006. – Вип. 72. – С.180 – 184.

144. Шапка О.В. Кінетичні особливості процесів фазоутворення в системі  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  / О.В. Шапка, О.В. Костиркін, С.О. Кисельова, Г.М. Шабанова // Зб. наук. пр. української державної академії залізничного транспорту. – 2010. – Вип. 113. – С. 15 – 19.

145. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів: ДСТУ Б В.2.7-42-97. – [Чинний від 1997-07-01]. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 19 с.