

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПРИМЕНЕНИЯ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Минск , 20-21 сентября 2018

УДК 536.2  
ББК Н113.6

**МАТЕРИАЛЫ IX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО - ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ»/ Под научной редакцией А.Ф. Бурьянова, Изд-во «Де Нова» М., 2018, 274 стр.**

Сборник содержит труды IX Международной научно-практической конференции. В нем рассматривается широкий круг научных и практических проблем, связанных с теоретическими разработками, исследованиями, практическим опытом производства и применения гипсовых вяжущих и изделий.

**Предназначен для специалистов научных, проектных, производственных и строительных организаций, а также преподавателей, студентов, магистров, аспирантов и докторантов строительных ВУЗов.**

**Авторы предоставленных к опубликованию докладов несут ответственность за достоверность приведенных в них сведений. Доклады публикуются в авторской редакции.**

© Российская Гипсовая Ассоциация

ISBN 978-5-9900-3111-1

ГАСНТИ 67.03.05



Тираж 500 экз.

## **ОРГАНИЗАТОРЫ**

Российская гипсовая ассоциация

Московский государственный строительный университет

Научно-исследовательский институт строительной физики

при поддержке Министерства строительства и архитектуры и  
Союза строителей Республики Беларусь

## **ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

**140050, Московская обл.,  
п. Красково, ул. К. Маркса, 117  
Российская гипсовая ассоциация  
Телефоны: (916) 501-36-56, (8442) 49-34-80**

**[rga-service@mail.ru](mailto:rga-service@mail.ru)  
[rosgips@rosgips.ru](mailto:rosgips@rosgips.ru)**

**[www.rosgips.ru](http://www.rosgips.ru)**

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР:

**KNAUF**  
Немецкий стандарт

ООО «КНАУФ ГИПС»

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ:



**LAHTI**  
PRECISION



**GRENZEBACH**



**CLAUDIUS PETERS**








**ERİŞİM A.Ş.**

**БОЛМА**



СПОНСОРЫ:

 <p><b>Gyptech</b> Proven Technology Worldwide</p>	 <p><b>GEBR. PFEIFFER</b></p>	
 <p><b>ВСЕЛУГ</b></p>	 <p><b>HAYER &amp; BOECKER RUSSIA</b></p>	
 <p><b>Berolan</b><sup>GmbH</sup> Dry Mortar Additives</p>	 <p><b>BANG &amp; BON SOMER</b> DELIVERING SMART MATERIAL TECHNOLOGIES</p>	 <p><b>PAMIBRO</b></p>
 <p><b>dobrava</b> christof industries</p>	 <p><b>segezha group</b></p>	 <p><b>BOTAI</b> 博来化工建材</p>
 <p><b>ПОЛИПЛАСТ®</b> ИДЕЯ. КАЧЕСТВО. МАТЕРИЯ</p>	 <p>"РУБЕЖАНСКИЙ КАРТОННО-ТАРНЫЙ КОМБИНАТ" ЧАСТНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО</p>	

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СПОНСОР:

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ®**

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПОНСОРЫ:



**БИЗНЕС  
НОВОСТИ**  
doingbusiness.by



# РАЗРАБОТКА БЕЗОБЖИГОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФОГИПСА С УЧЕТОМ РАННЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА

*Абраменко А.А.*

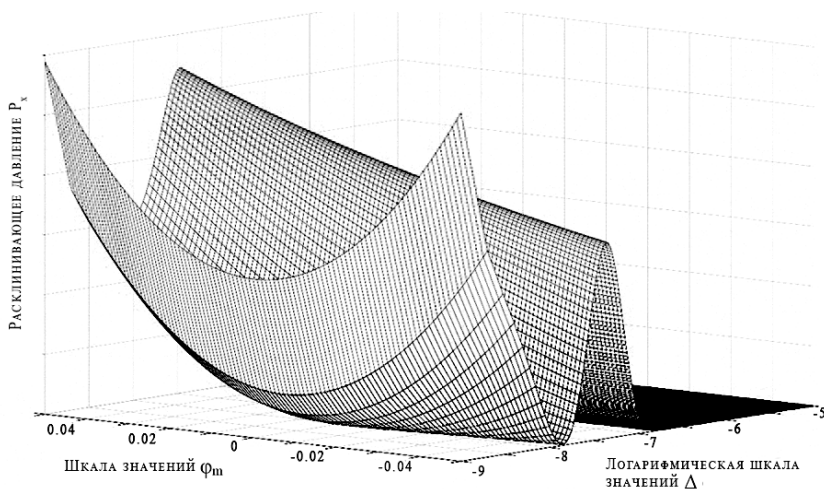
*Воронежский государственный технический университет*

Фосфогипс дигидрат является крупнотоннажным отходом производства серной кислоты. При сернокислотном методе вскрытия апатитового концентрата на 1 т фосфорной кислоты  $H_3PO_4$  в зависимости от сырья и принятой технологии образуется 4,3 – 5,8 т фосфогипса дигидрата.

Несмотря на значительное количество разработок по утилизации фосфогипса дигидрата [1-9] из 20 млн. т. его, получаемого ежегодно, находит применение только 0,3 млн.т. или 1,5 %, остальное удаляется с территории предприятий как отход, где хранится в отвалах десятилетиями, в результате чего должны меняться их физико-механические свойства. Актуальность работы заключается в разработке технологии, позволяющей снизить стоимость строительных материалов, посредством замещения компонентов сырьевой смеси на более дешевые [10-12].

На базе Воронежского государственного архитектурно-строительного университета разработана технология с использованием механо-гидрохимической активации, прессования материалов на основе гипсовых вяжущих [13-17]. Новая технология реализуется на типовом оборудовании для получения стеновых материалов и позволяет создавать ресурсосберегающие эффективные материалы с применением фосфогипса дигидрата.

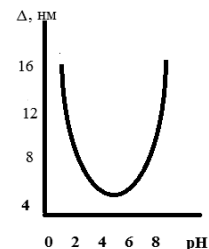
Фундаментальные положения, составляющие основу разработанной безобжиговой технологии получения строительных материалов с использованием фосфогипса базируются на том, что в структурообразовании композиционных строительных материалов наибольшее значение имеют электрические взаимодействия, которые зависят от масс, величины зарядов частиц их образующих, расстояния между ними и среды взаимодействия. Предложенные Б.В. Дерягиным и Л.Д. Ландау зависимости расклинивающего давления  $P_x$  от расстояния между взаимодействующими частицами в дисперсной среде позволяют предположить, что эти взаимодействия реализуются посредством суммарного энергетического действия электростатических сил притяжения и отталкивания, образующихся вокруг частиц, входящих в структуру композиционных строительных материалов (рис. 1).



*Рисунок 1. Изменение расклинивающего давления в зависимости от толщины водной пленки для гидрофильных частиц*

При перемешивании компонентов сырьевых смесей вода адсорбируется в виде пленок на гидрофильных частицах. Максимальные прочностные показатели у получаемых материалов достигаются при толщинах водных пленок  $10^{-7} \text{ м} > \Delta > 10^{-9} \text{ м}$ .

Особое место в формировании структуры композиционных строительных материалов принадлежит воде. Здесь и далее водой следует считать водные растворы, где присутствуют ионы и коллоидные частицы материалов, образующих композит. Вода является средой, резко меняющей диэлектрическую проницаемость среды, предопределяя силы взаимодействия между частицами (рис. 2).



*Рисунок 2. Зависимость толщины граничного слоя на частицах кварца от рН.*

При температуре 65 ... 70 °С и изменении рН водных вытяжек от 2 до 8 водные пленки резко меняют свою толщину. При этих же температурах резко повышается проникающая способность воды.

Эти зависимости (рис. 1, 2) можно использовать при формировании структуры получаемых материалов.

Понимание процессов взаимодействия между дисперсными минеральными компонентами через водные пленки, находящиеся на их поверхности, позволит направленно формировать структуру композитов с получением наперед заданных свойств и определять наиболее целесообразные условия эксплуатации получаемых материалов. Исследования, проводимые в Воронежской государственной архитектурно-строительной академии в 1998 - 2000 г.г. с фосфогипсом и дисперсными строительными материалами с использованием термогравиметрических методов на дериватографе системы Е. Паулик, П. Паулик и Л. Эрдей, доказали существование зависимости между толщиной водной пленки, температуры первых эндозффектов (их площади) и прочностными показателями получаемых материалов [18-21].

В процессе исследований обнаружилось, что исходная прочность композитов не влияет на свойства получаемых изделий. Значит нет необходимости измельчать минеральные компоненты с высокой первоначальной прочностью, так как диспергирование мягких материалов (гипс, фосфогипс, доломит, шлаки, туф и т.п.) позволит снизить энергозатраты на помол и стоимость минеральных компонентов [18-21].

Во время помола андезита, карбоната кальция и фосфогипса выполнен дифференциальный термический анализ образцов. Анализ показал, вещества приобретают вяжущие свойства при увеличении удельной поверхности (помол материалов прекращался в шаровой мельнице с образованием устойчивых агрегатов из размалываемых частиц). Отмечено, что существует взаимозависимость между площадью эндозффектов термограмм (дегидратация воды) и прочностью получаемых материалов [20].

За счет водородных связей при помоле вокруг минеральных компонентов образуются водные пленки. По мере увеличения дисперсности пленки увеличиваются. Толщина зависит от количества дефектов на поверхности минеральных компонентов, природы, внешних условий. Длительное диспергирование ведет к росту толщин водных пленок, в которых растворяются мелкие частицы с собственными гидратными пленками. Кроме того, на дериватограммах зафиксировано накопление гидратированных ионов.

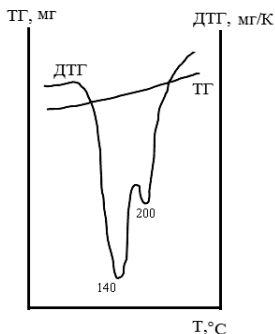
По нашему мнению, при соблюдении определенных условий, как температура среды, определенная концентрация гидратированных, гидратированные ионы начинают образовывать дисперсные

кристаллогидраты с последующим ростом. Процесс хорошо прослеживается на микрофотографиях [22,23].

Замечено, что при дроблении, помоле, обжиге и перемешивании минеральные компоненты становятся химически активными, и существует взаимозависимость между первыми эндоэффектами на дериватограммах и показателями получаемых композитов.

Первые эндоэффекты, которые наблюдаются на термограммах высокодисперсных материалов, отвечают за удаление диффузионных пленок, образовавшихся на самых мелких коллоидных частицах, которым легче всего перемещаться и скапливаются в местах термодинамической нестабильности. За второй эндоэффект отвечают более крупные коллоидные частицы, растворенные в водной пленке, образованной частицами минеральных компонентов с размерами до 100 мкм. Третий эндоэффект связан дегидратации воды с поверхности частиц минеральных компонентов размерами до 100 мкм.

На рис. 3, 4 представлены данные термического анализа фосфогипса дигидрата. Результаты дифференциально-сканирующей калориметрии показывают, что первые эндоэффекты фосфогипса дигидрата имеют энергию дегидратации более 200 Дж/г и не теряются во времени. Анализом результатов дифференциально-сканирующей калориметрии прессованного при 5 МПа фосфогипса в возрасте 1, 3, 24 суток установлено, что при уплотнении образцов наблюдается увеличение энергии дегидратации, при этом прослеживается взаимосвязь между изменением толщин водных пленок и энергии дегидратации.



*Рисунок 3. Кривая дифференциально-термического анализа фосфогипса дигидрата Уваровского химического завода 1998 г.*

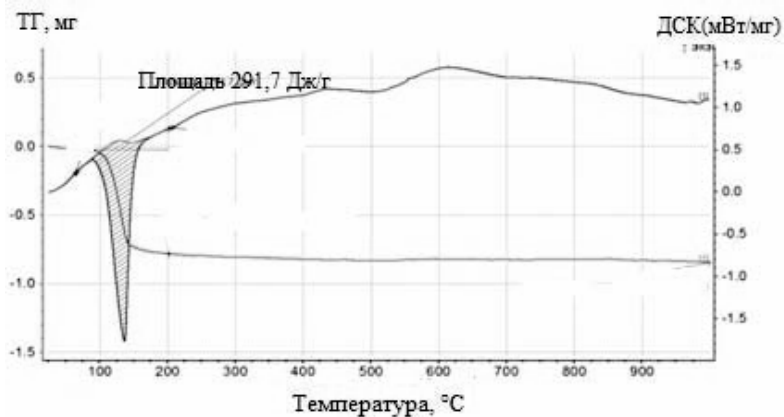


Рисунок 4. Результат ДСК фосфогипса дигидрата Уваровского химического завода 2017 г. (энергия дегидратации 291,7 Дж/г)

Фосфогипс дигидрат Уваровского химического завода в 1998 г. имел ярко выраженный двойной эндотермический эффект дегидратации двуводного гипса, выявляющийся в интервале 100 – 180 °С. Начало первого эндоэффекта фосфогипса проявляется при 100 °С, достигая максимума при 145 °С. В 2017 г. фосфогипс дигидрат потерял ярко выраженный двойной эндотермический эффект дегидратации двуводного гипса. Первый эндоэффект проявляется в интервале 85 – 180 °С, следовательно, за годы хранения в отвалах водорастворимые фосфаты, фториды и другие примеси входящие в структуру свежего фосфогипса дигидрата в результате внешних воздействий (увлажнение – высушивание, замораживание – оттаивание в насыщенном водой состоянии), растворились в воде, а входящие в кристаллическую решетку гидро- и дигидрофосфаты кальция подверглись полному гидролизу и распаду под действием молекул воды, тем самым, изменив физико-химические свойства фосфогипса.

С уменьшением толщин водных пленок наблюдается рост энергии дегидратации, что свидетельствует об увеличении количества и роста прочности межкристаллизационных связей. При сравнении микрофотографий исходного и прессованного фосфогипса дигидрата хорошо видно, как меняются габитусы кристаллов: кристаллы прессованного фосфогипса дигидрата становятся однороднее, при этом появляется монолитная структура. Одной из причин монолитности прессованного фосфогипса дигидрата необходимо считать высокую активность поверхности фосфогипса дигидрата. Прессование способствует созданию толщин водных

пленок, соответствующих данным теории структурообразования композитов в дисперсных средах.

По результатам исследований рН водных вытяжек с фосфогипсомдигидратом, данным микрохимического, микроскопического, рентгенофазового, термического анализов можно сделать вывод, что с возрастом (с 1998 по 2017 гг.) фосфогипс изменил свои физико-химические показатели. Фосфорной кислоты, водорастворимых соединений фосфора, фтора в виде механических включений или соединений, входящих в состав кристаллической решетки фосфогипса дигидрата в виде твердых растворов не обнаружено в том количестве, в котором рН имел значение меньше 6, что могло бы создавать слабокислую и кислую среду. Таким образом, фосфогипс дигидрат постоянно проявляет вяжущие свойства, независимо от условий хранения, и при прессовании эти свойства будут способствовать появлению прочности у композиционных материалов с его использованием.

У негашеной извести энергия дегидратации более 600 Дж/г. В процессе гашения и твердения после прессования при давлении 5 МПа происходят фазовые превращения с выигрышем в энергии. На 1 сутки твердения наблюдался эндозэффект с энергией дегидратации 295,9 Дж/г и изменением массы 24,52 %. 3 суткам твердения извести соответствовал эндозэффект энергией дегидратации 126,9 Дж/г и изменением массы 9,52 %. А к 24 суткам извести эндозэффект имел энергию дегидратации 10,21 Дж/г и изменение массы 3,97 %. Такие фазовые изменения извести подтверждают ее вяжущие свойства в начальный период ее гидратации. Однако, в отличие от фосфогипса дигидрата, где энергия дегидратации постоянно остается высокой, у прогидратировавшей извести с возрастом происходит резкое уменьшение энергии дегидратации, что говорит о снижении поверхностной активности во времени, связанное с карбонизацией ее поверхности. Основной вклад прогидратировавшей извести в прочность композитов, связан с ее высокой дисперсностью и способностью дисперсных минеральных компонентов занимать термодинамически нестабильные места в системе твердения, способствуя созданию более плотных упаковок и росту числа кристаллизационных контактов, уменьшая при этом толщины водных пленок. Однако известь обладает сильнощелочной реакцией среды. Это (согласно рис. 2) приводит к увеличению толщин водных пленок даже прессованных материалов от 1 мкм до 3 мкм, что, несомненно, оказывает влияние на изменение свойств (плотность, прочность, водопоглощение и коэффициент размягчения) получаемых с применением извести композитов.

Супесь является материалом, на поверхности которого удерживается адсорбционная вода. Размеры кварцевых зерен около 100 мкм. Размеры глинистых компонентов соответствуют наноразмерным. Учитывая, что



кварцевые частицы являются очень прочными, будучи равномерно перемешанными в сырьевой смеси, при прессовании (особенно при высоком уровне давления) способны ломать кристаллогидраты фосфогипса, что способствует росту дисперсности фосфогипса дигидрата и появлению у него свободных активных поверхностей непосредственно в процессе его приготовления. Глинистые компоненты, находящиеся в составе супесей, будучи растворенными в воде, способны занимать термодинамически нестабильные места, имеющиеся в формируемых структурах, способствуя созданию более плотных упаковок и росту кристаллизационных контактов. Применение супеси в прессуемом известково-песчаном фосфогипсовом материале приводит к росту прочности получаемых композитов.

Разработана безобжиговая технология переработки фосфогипса для изготовления мелкоштучных стеновых материалов на линии производства силикатного кирпича. Технология отработана в лабораторных условиях. Производился помол песка в шаровой мельнице до получения удельной поверхности 4000 – 4500 см<sup>2</sup>/г, который добавлялся в лабораторную мешалку МЛА-30 совместно с лежалым фосфогипсом дигидратом, песком и известью в момент ее гашения водой при температуре 90 °С. Перемешивание проводили при температуре более 80 °С в течение 45 – 50 минут. Прессовали образцы на прессе гидравлического действия ПСУ-125 в формах 250 × 120 × 65 при давлении 5 МПа на образец. Набор прочности образцов проходил в течение 28 суток при температуре 20 °С, влажности 55 %.

В качестве оптимального состава для внедрения по технологии с использованием типового оборудования с применением вибропрессовых установок типа Кондор был использован состав из 10 % негашеной извести, 60 % фосфогипса дигидрата Уваровского химического завода 2017 г., 30 % супеси Уваровского песчаного карьера. Технологическая схема производства включала в себя:

- параллельно в смеситель принудительного действия подавали нагретую до 80 °С воду и негашеную известь;
- по мере гашения извести начинали подавать фосфогипс дигидрат;
- по мере перемешивания подавали супесь (смеситель использовался с подогревом, температура смеси не опускалась ниже 60 °С);
- смесь перемешивалась 15 – 20 минут (до окончания гашения извести);
- горячая жесткая растворная смесь загружалась в форму (матрицу) и уплотняется с помощью вибрации;
- производится распалубка изделия (изделие извлекается из матрицы) и направляется на сушку;

-готовые изделия подвергаются вылеживанию на поддонах в течение от 1-х (при температуре +15...+45 °С) до 2-х суток. За это время изделия набирают 70 % будущей марочной прочности. Их нельзя снимать с поддонов, подвергать сотрясениям и ударам;

-по истечении указанных сроков вылеживания или после подсушивания изделия отделяют от поддонов. Освободившиеся поддоны очищают от остатков раствора, после этого они готовы для дальнейшего использования. Полученные полублоки имели следующие показатели, представленные в таблице 1.

На технологию и состав смеси получен патент «Сырьевая смесь для изготовления строительных изделий по безобжиговой технологии» [24].

Себестоимость производства 1 м<sup>3</sup> стеновых гипсовых материалов в зависимости от производительности оборудования колеблется от 900 до 1950 рублей/м<sup>3</sup>, что в 2 - 3 раза дешевле аналогов.

*Таблица 1*

*Физико-механические свойства изделий, изготовленных из состава фосфогипс 60 %, песок 30 %, известь 10 % в лабораторных условиях на установке для прессования Кондор*

Показатель	Значение
Средняя прочность, МПа	3
Водопоглощение	0,23
Коэффициент размягчения	0,63
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1700

Таким образом, разрабатываемая технология формования известково-песчаного фосфогипсового материала позволит производить дешевые эффективные гипсовые изделия, которые могут быть использованы при получении конструкционных материалов для низко- и среднечисловых стеновых материалов для внутренних работ.

## Литература

1. Коровяков, В. Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве / В. Ф. Коровяков, А. Ф. Бурьянов // Жилищное строительство. – 2015. – № 12. – С. 38-40.

2. Будников, П. П. Гипс и его исследование / П. П. Будников. – Ленинград: Изд-во Академии наук СССР, 1933. – 266 с.

3. Петропавловская, В. Б. Твердеющие кристаллизационные системы на основе порошков двуводного гипса / В. Б. Петропавловская, В. В. Белов, А. Ф. Бурьянов // Строительные материалы. - 2007. - Вып. 12. - С. 46-47.

4. Петропавловская, В. Б. Малоэнергоемкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности / В. Б. Петропавловская, А. Ф. Бурьянов, Т. Б. Новиченкова // Строительные материалы. - 2006. - Вып. 7 - С. 8-9.

5. Недосеко, И.В. Гипсовые и гипсошлаковые композиции на основе природного сырья и отходов промышленности / И.В. Недосеко [и др.] // Строительные материалы. - 2012. - № 8. - С. 66-68.

6. Гордашевский, П. Ф. Об использовании фосфогипса / П. Ф. Гордашевский // Химическая промышленность. – 1966. – № 10. – С. 12-13.

7. Гордашевский, П. Ф. Свойства и возможность использования фосфогипса / П. Ф. Гордашевский // Строительные материалы. – 1960. – № 12. – С. 32.

8. Запольский, С. В. Исследование и отработка процессов гранулирования фосфогипса с целью его дальнейшей переработки. Обзорн. информ. / С. В. Запольский // Промышленность по производству мин. удобрений. Сер. Минеральные удобрения. – 1984. – С. 53.

9. Золотухин, С.Н. Строительные материалы на основе фосфогипса / С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко, Е.А. Савенкова, Е.А. Соловьева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука, 2016, Выпуск № 3 (11), С. – 37 – 42.

10. Степанова, М.П. К разработке технологии портландитовых систем твердения для получения бесклинкерных строительных композитов / М.П. Степанова, Н.Д. Потамоснева, О.Б. Кукина // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5(38), Часть 2. – С.166 – 170.

11. Чернышов, Е.М. Портландитовые и портландито-карбонатные бесцементные системы твердения (ч. 1) / Е.М. Чернышов, Н. Д. Потамоснева, О.Б. Кукина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – М., 2002. – № 4. – С. 12.

12. Чернышов, Е.М. Портландитовые и портландито-карбонатные бесцементные системы твердения (ч. 2) [и др.]/ Е.М. Чернышов, Н. Д. Потамошнева, О.Б. Кукина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – М., 2002. – № 5. – С. 8 – 9.

13. Zolotukhin S N. Energy-efficient unburned technologies for the use of phosphogypsum IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / S N Zolotukhin, O B Kukina, A A Abramenko, E A Soloveva and E A Savenkova // Accepted papers received: 16 October 2017 Published online: 3 November 2017 To cite this article: S N Zolotukhin et al 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 90 012088.

14. Золотухин, С.Н. Бесцементные безобжиговые строительные материалы с использованием фосфогипса / С.Н. Золотухин, О.Б. Кукина, А.А. Абраменко, Е.А. Савенкова, Е.А. Соловьева, К.К. Новикова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно -строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология, 2016, № 1, С. – 115 - 121.

15. Золотухин, С.Н. Исследование влияния давления прессования на прочность материала на основе фосфогипса / Золотухин С.Н., Савенкова Е.А., Соловьева Е.А. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. 2015. № 8. С. 247-249.

16. Соловьева, Е.А. Разработка безобжиговой технологии получения строительных материалов из крупнотоннажных отходов минеральной промышленности/Соловьева Е.А. Савенкова Е.А., // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. 2014. С. 28.

17. Золотухин, С.Н. Прогнозирование свойств композиционных строительных материалов с использованием современных компьютерных программ и методов / С.Н. Золотухин, О.Б. Кукина, А.А. Абраменко, Е.А. Соловьева, Е.А. Савенкова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции / под. ред. С.У. Увайсова – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2017, – С. 375 - 379.

18. Золотухин, С. Н. К вопросу о структурообразовании и технологии некоторых эффективных композиционных строительных материалов / С. Н. Золотухин // Строительные материалы. – 1993. – № 5. – С. 26.

19. Золотухин, С. Н. Эффективные карбамидные полимербетоны для животноводческих помещений: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Золотухин Сергей Николаевич. – Воронеж. – 1990. – 186 с.

20. Семенов В.Н. Строительные растворы на основе фосфогипса и безобжиговой технологии: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Семенов Виктор Николаевич. – Воронеж, 2002. - 144 с.

21. Шмелев, Г.Д. Эффективные фосфогипсовые композиции для строительных изделий из многотоннажных техногенных отходов химического производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Шмелев Геннадий Дмитриевич. – Воронеж. – 1998. – 256 с.

22. Золотухин, С. Н. Влияние толщины водных пленок на структуру композиционного строительного материала с использованием фосфогипса / С. Н. Золотухин [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, 2017. – т. 13, № 4. – С. 138-143.

23. Золотухин, С.Н. Исследование влияния водных пленок на процесс структурообразования полимерных композитов / С.Н. Золотухин, Е.А. Савенкова, Е.А. Соловьева // Сборник статей по материалам научной конференции, посвященной 100-летию Иванова А.М. «Композитные строительные материалы и конструкции». –Воронеж, 2014. –С. 150 –155.

24. Сырцевая смесь для изготовления строительных изделий по безобжиговой технологии : пат. 2015106177/03 Рос. Федерация: С04В11/26. / С.Н. Золотухин, Е.А. Савенкова, Е.А. Соловьева, Ф. Ибрагим, А.С. Лобосок, А.А. Абраменко, А.А. Драпалюк, Ю.Б. Потапов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Воронежский ГАСУ ; заявл. 15.02.16 г.

## **ЗВУКО-ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩАЯ СТЯЖКА**

*Абраменко А.А., Гагулаев А.В.*

*Воронежский Государственный Технический Университет*

В современном строительстве, проектируя объекты различного назначения - жилые, офисные, социальные здания, все больше внимания уделяется комфортности пребывания людей в помещениях, а значит, в частности, звуко-теплоизоляционным свойствам перекрытий, т.е. полам. Приказом Минстроя России №950/пр от 16.12.2016г. , с 17.06.17 года введен в действие свод правил СП 275.1325800.2016 "Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции" Согласно СНиП 23-03-2003. Свод правил устанавливает требования, которые должны быть реализованы при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Выполнение этих требований позволяет повысить акустическую комфортность проживания, отдыха и труда населения в помещениях различного назначения. Вступил в силу в октябре 2017 года. [1].

Еще один немаловажный фактор современного строительства – сжатые сроки при проведения строительных и отделочных работ, а также простота и технологичность применения используемых экологических материалов, при оптимальном соотношении цена-качество.

Опираясь на труды Бурьянова А.Ф. и взяв его идею за эталон использовать для отделки внутри помещений материалы на основе гипсового вяжущего, в ВГТУ создали новый продукт для устройства стяжки. Технология по устройству комплексной стяжки – это система материалов позволяющих повысить звукоизоляцию, теплоизоляцию, значительно снизить затраты на логистику , а также снизить нагрузку на перекрытия и фундаменты зданий). А самое главное это НИЗКАЯ ЦЕНА на готовую стяжку и высокая скорость проведения работ. [2].

**Комплексная стяжка состоит из слоя пеногипсобетона залитого по маякам и упрочняющего быстротвердеющего самонивелирующего слоя.**

Преимущество перед другими видами стяжек – это менее трудоемкий процесс, скорость твердения, экологичность, высокие показатели снижения индекса приведенного ударного шума и низкие показатели коэффициента теплопроводности. Простыми словами говоря, такая система не дает холоду проходить по плите перекрытия в дом тем самым делая стяжку теплой и служит барьером от ударного шума передающегося по плите перекрытия соседям снизу

Для обеспечения теплоизоляции и снижению ударного шума, комплексная стяжка формируется из слоя пеногипсобетона по выставленным маякам высотой от 3 до 10 см в зависимости от проектной высоты а также упрочняющего быстротвердеющего верхнего слоя. Эти слои имеют разную поверхностную плотность. Плотность упрочняющего слоя в три раза выше плотности пеногипсобетона. Этим достигается шаговая прочность для

последующей эксплуатации. Слой пеногипсобетона из-за своей низкой плотности и теплопроводности отсекает все возможные мостики передачи холода по плите перекрытия к полу [3].

Проведенные испытания в НИИ строительной физики ( НИИСФ РААСН, "Заключение по результатам акустических испытаний слоистого пола, укладываемого по беспустотным ж.б.панелям" от 22.06.2017г.), показали, что композиционная система для устройства полов (звукоизолирующая прокладка - гипсопенобетон - упрочняющая стяжка) обеспечивает выполнение защиты пола от ударного шума и может быть применена в домах с высоким комфортом проживания. Измерения приведенного уровня ударного шума слоистого пола толщиной 60мм (прокладка 3мм - пеногипсобетон 47мм - упрочняющий слой 10мм) показали, что индекс изоляции ударного шума ж.б.плиты (140мм) снижается с 78 дБ на 24 дБ и составляет 54 дБ. Этот показатель в соответствии с СНИП 23.03.2003 (СП 275.132800.2016) удовлетворяет категориям домов с высоко комфортными условиями проживания (категория А - не более 55 дБ) - детские сады, школы, больницы и т.п., требованиям Московских городских строительных норм МГСН 2.04-97 "Нормативные требования к звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий".

Изготовление стяжки с применением гипсопенобетона и верхнего упрочняющего слоя позволяет снизить уровень ударного шума на 24 дБ, при этом повысить теплоизолирующую способность полов в 5 раз. Данная система по устройству полов снижает сроки строительства, за счет применения средств малой механизации; повышает экологичность помещений, т.к состоит 70-80% из гипсового вяжущего, выполняет требования по ударной звукоизоляции помещений соответствующих зданий категории А.

## Литература

1. СП 275.1325800 «Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции»// Москва 2016.
2. Попова Н.Н. (ЦНИИЭП жилища), А.Ф.Бурьянов (ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова) // Рекомендации по проектированию и устройству полов по монолитным самовыравнивающимся стяжкам на основе гипса для массового жилищного строительства//Москва 1987г.
3. Пустовгар А.П., Опыт применения гипсовых вяжущих при возведении зданий // Строит. материалы. 2008. №4. С. 8–9.

# КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛУГИДРАТА СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ СМЕШАННЫХ ЭФИРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Арасланкин С.В.<sup>1,2</sup>, Кострюков С.Г.<sup>1</sup>, Томилин О.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

<sup>2</sup>ООО «Экспонента»

Одними из основных компонентов сухих строительных смесей на гипсовом вяжущем, определяющими их область применения и проявляемые свойства, являются смешанные эфиры целлюлозы [1]. Как правило, в производстве гипсовых строительных смесей используют гидроксиэтилметилцеллюлозу (ГЭМЦ) или гидроксипропилметил-целлюлозу (ГПМЦ), которые являются продуктами этерификации целлюлозы в щелочной среде метилхлоридом и оксидом этилена или оксидом пропилена соответственно (рис. 1). Использование указанных эфиров целлюлозы в составе сухих строительных смесей, в частности гипсовых, вносит существенный вклад в формирование реологических свойств получаемых растворов [2].

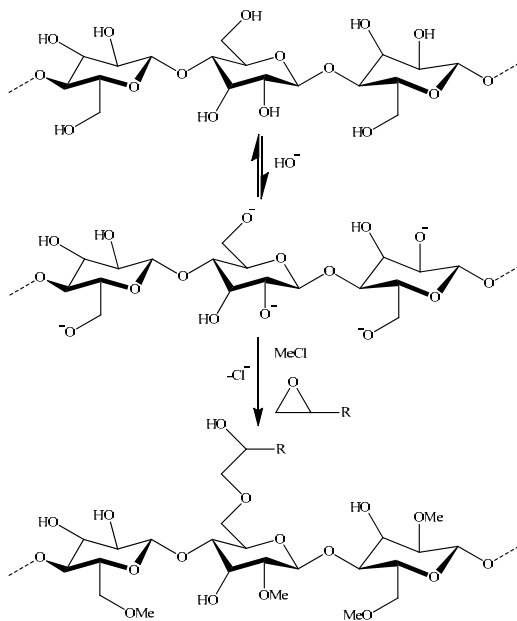


Рисунок 1. Схема получения ГЭМЦ ( $R = H$ ) и ГПМЦ ( $R = Me$ )



Как известно, схватывание и твердение строительного гипса, в целом обусловлено гидратацией полугидрата сульфата кальция, являющегося его основным компонентом. Механизм гидратации в соответствии с кристаллизационной теорией твердения Ле-Шателье включает стадию растворения, нуклеации и кристаллизации. Наличие кислородосодержащих функциональных групп в структуре смешанных эфиров целлюлозы обуславливает их способность адсорбироваться на поверхности кристаллов полугидрата и дигидрата сульфата кальция, тем самым замедляя растворение первых и рост последних. Данный факт определяет способность эфиров целлюлозы уменьшать скорость реакции гидратации полугидрата сульфата кальция и, как следствие, замедлять процесс структурообразования дисперсных систем на основе полугидрата [3].

Основными структурными характеристиками смешанных эфиров целлюлозы являются степень замещения ( $DS$ : degree of substitution), молекулярное замещение ( $MS$ : molar substitution) и степень полимеризации ( $DP$ : degree of polymerization). В производстве сухих строительных смесей на гипсовом вяжущем в каждой рецептуре закладывается вид используемого эфира целлюлозы и его концентрация ( $\omega$ ). При приготовлении из сухой гипсовой смеси строительного раствора регулируется водотвердое отношение ( $W/S$ ). Таким образом, управляемыми факторами, определяющими способность смешанных эфиров целлюлозы замедлять процесс структурообразования, являются химическая природа используемого эфира целлюлозы ( $DS$ ,  $MS$ ), его концентрация по отношению к сухой смеси ( $\omega$ ) и раствору ( $W/S$ ) [4].

На сегодняшний день отсутствуют методы прогнозирования кинетики структурообразования дисперсных систем на основе полугидрата сульфата кальция в присутствии смешанных эфиров целлюлозы. В данной работе рассматривается кинетическая модель, описывающая влияние степени замещения, молекулярного замещения и концентрации эфира целлюлозы на скорость структурообразования модифицированного гипсового раствора.

Для описания кинетики гидратации полугидрата сульфата кальция, как правило, используется уравнение Аврами (1):

$$\alpha = 1 - \exp(-at^m) \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень гидратации;

$t$  – время с момента затворения водой, с;

$a$  – константа;

$m$  – параметр, зависящий от механизма реакции, скорости нуклеации и геометрии зародышей ( $m = \beta + \lambda$ , где  $\beta$  – число стадий в образовании зародыша и  $\lambda$  – число направлений эффективного роста

зародышей (равно 3 для сфер и полусфер, 2 – для дисков и цилиндров, 1 – для одномерного роста) [5].

Учитывая, что в строительном гипсе схватывание и твердение в основном обусловлено гидратацией полугидрата сульфата кальция степень схватывания гипсового вяжущего ( $\chi$ ) будет прямо пропорциональна степени гидратации полугидрата, являющегося его основным компонентом. Таким образом, общий вид кинетики структурообразования является сигмоидальным и описывается экспоненциальным уравнением (2):

$$\chi = 1 - \exp(-10^{-f_1(MS, DS, \omega)} \tau^{f_2(MS, DS, \omega)}) \quad (2)$$

где  $\chi$  – степень схватывания;

$f_1(MS, DS, \omega)$  и  $f_2(MS, DS, \omega)$  – функции от параметров замещения и концентрации смешанного эфира целлюлозы.

Для получения математического выражения функций  $f_1(MS, DS, \omega)$  и  $f_2(MS, DS, \omega)$  был использован метод множественной корреляции в рамках двух последовательных приближений теоретических значений к экспериментальным данным. Таким образом, уточнение указанных функций осуществлялось с получением линейной и квадратичной зависимости.

Экспериментальная процедура заключалась в определении степени схватывания модифицированного гипсового вяжущего по результатам измерений глубины погружения иглы на приборе Вика в различный момент времени (рис. 2) (3):

$$\chi_\tau = 1 - \frac{L_\tau}{40} \quad (3)$$

где  $\chi_\tau$  – степень схватывания в момент времени  $\tau$ ;

$L_\tau$  – глубина погружения иглы в момент времени  $\tau$ , мм.

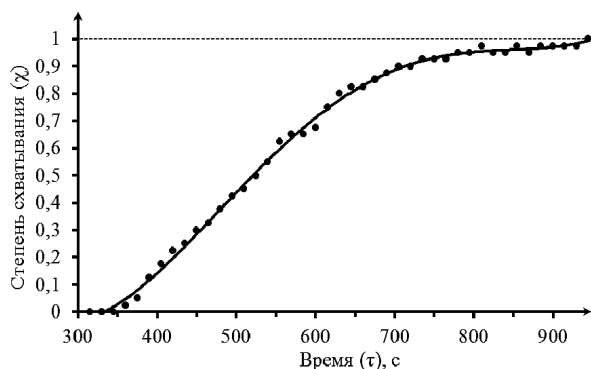


Рисунок 2. Кинетическая кривая структурообразования по экспериментальным данным

В рамках каждой композиции, представляющей собой смесь гипсового вяжущего Г-5 Б II ГОСТ 125 и эфира целлюлозы, измерения проводились при различном водотвердом отношении. Параметры замещения и концентрации использованных эфиров целлюлозы показаны в таблице 1.

Таблица 1  
Параметры замещения и концентрации эфиров целлюлозы

№ п/п	модификатор	$MS$	$DS$	$\omega$ , %
1	нет	0,00	0,00	0,00
2	ЭЦ 1	2,00	1,00	0,20
3	ЭЦ 2	0,35	1,70	0,20
4	ЭЦ 3	0,30	1,70	0,20
5	ЭЦ 4	0,15	1,70	0,20
6	ЭЦ 5	0,05	1,90	0,20
7	ЭЦ 1	2,00	1,00	0,10
8	ЭЦ 1	2,00	1,00	0,30

Примечание: ЭЦ – эфир целлюлозы.

Первое приближение заключалось в нахождении численных значений  $f_1(MS, DS, \omega)$  и  $f_2(MS, DS, \omega)$ , удовлетворяющих минимальному отклонению теоретических данных от экспериментальных в рамках линейной зависимости. Результаты указанных определений представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Численные значения  $f_1^{(1)}$  и  $f_2^{(1)}$

№ п/п	$MS$	$DS$	$\omega$ , %	(W/S)	$f_1^{(1)}$	$f_2^{(1)}$
1	0,00	0,00	0,00	0,563	24,787	9,007
				0,570	22,179	8,033
				0,573	16,995	6,106
2	2,00	1,00	0,20	0,613	20,777	7,623
				0,650	17,134	6,388
				0,653	16,452	6,054
3	0,35	1,70	0,20	0,700	16,140	5,966
				0,733	14,557	5,297
				0,750	14,720	5,335
4	0,30	1,70	0,20	0,830	14,680	5,447
				0,833	11,965	4,399
				0,837	14,301	5,070
5	0,15	1,70	0,20	0,690	16,855	6,310
				0,700	14,219	5,247
				0,707	13,226	4,782
6	0,05	1,90	0,20	0,757	16,744	6,334

				0,762	13,883	5,293
				0,767	11,420	4,293
7	2,00	1,00	0,10	0,613	22,052	8,504
				0,620	17,653	6,802
				0,625	18,491	7,112
8	2,00	1,00	0,30	0,665	24,392	9,238
				0,669	20,484	7,676
				0,670	20,101	7,367

Примечание:  $f_1^{(1)}$  и  $f_2^{(1)}$  – численные значения, удовлетворяющие функциям  $f_1(MS, DS, \omega)$  и  $f_2(MS, DS, \omega)$  в рамках первого приближения.

Используя метод множественной корреляции, было получено два линейных уравнения регрессии для  $f_1^{(1)}$  и  $f_2^{(1)}$  (4) и (5):

$$f_1^{(1)} = 23,51 + 0,56MS - 6,77DS + 11,47\omega \quad (4)$$

$$f_2^{(1)} = 9,46 + 0,78MS - 1,82DS - 7,38\omega \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) обеспечивают достаточно большое отклонение теоретической кривой структурообразования от экспериментальной. Для сокращения полученного отклонения было проведено второе приближение, заключающееся в нахождении численных значений множителей уравнений (4) и (5), удовлетворяющих минимальному отклонению теоретических данных от экспериментальных в рамках квадратичной зависимости. Результаты указанных определений представлены в таблице 3.

Таблица 3

Численные значения  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$

№ п/п	$MS$	$DS$	$\omega, \%$	$\varphi_1$	$\varphi_2$
1	0,00	0,00	0,00	0,516	0,464
2	2,00	1,00	0,20	0,573	0,551
3	0,35	1,70	0,20	0,760	0,778
4	0,30	1,70	0,20	0,787	0,808
5	0,15	1,70	0,20	0,717	0,759
6	0,05	1,90	0,20	0,823	0,884
7	2,00	1,00	0,10	0,632	0,662
8	2,00	1,00	0,30	0,679	0,773

Используя метод множественной корреляции, было получено два уравнения регрессии для  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  (4) и (5):

$$\varphi_1 = 0,51 - 0,03MS + 0,13DS + 0,20\omega \quad (6)$$

$$\varphi_2 = 0,46 + 0,02MS + 0,14DS + 0,52\omega \quad (7)$$

Произведение уравнений (4) и (5) на (6) и (7) соответственно позволило получить математическое выражение для функций  $f_1(MS, DS, \omega)$  и  $f_2(MS, DS, \omega)$  в рамках второго приближения (8) и (9):

$$f_1^{(2)} = f_1^{(1)}\varphi_1 = 11,99 - 0,42MS - 0,39DS + 10,55\omega - 0,02MS^2 - 0,88DS^2 + 2,29\omega^2 + 0,28MSDS - 0,23MS\omega + 0,14DS\omega \quad (8)$$

$$f_2^{(2)} = f_2^{(1)}\varphi_2 = 4,35 + 0,55MS + 0,49DS + 1,52\omega + 0,02MS^2 - 0,25DS^2 - 3,84\omega^2 + 0,07MSDS + 0,26MS\omega - 1,98DS\omega \quad (9)$$

Так как уравнения (8) и (9) обеспечивают хорошее согласование теоретических данных с экспериментальными (рис. 3) математические выражения для функций  $f_1(MS, DS, \omega)$  и  $f_2(MS, DS, \omega)$  справедливы в рамках второго приближения.

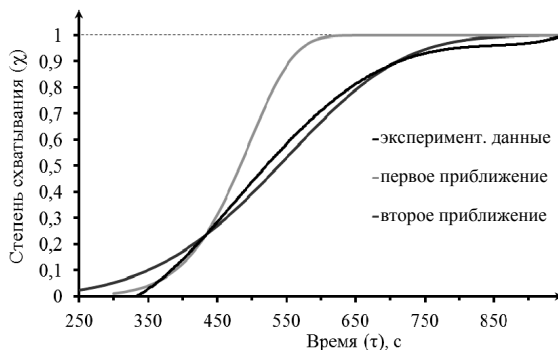


Рисунок 3. Кинетические кривые структурообразования

Анализ полученной кинетической модели позволяет сделать вывод о влиянии химической природы используемого смешанного эфира целлюлозы ( $DS$ ,  $MS$ ), его концентрации по отношению к сухой смеси ( $\omega$ ) и раствору ( $W/S$ ) на структурообразование дисперсных систем на основе полугидрата сульфата кальция.

Для оценки влияния водотвердого отношения на кинетику структурообразования проведено восемь серий экспериментов, в результате которых установлено, что водотвердое отношение вносит незначительный вклад в изменение скорости схватывания (рис. 4). Таким образом, данный фактор не учитывался при расчетах теоретических кривых структурообразования.

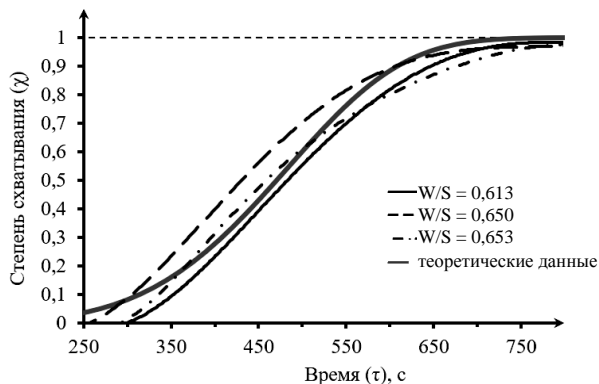


Рисунок 4. Кинетические кривые структурообразования гипсового вяжущего в присутствии 0,2 мас.% ЭЦ №1 при различном водотвердом отношении

Для определения влияния концентрации эфира целлюлозы проведено 3 серии опытов. В рамках серий 2, 7 и 8 изменялась концентрация ЭЦ 1 от 0,1 до 0,3 мас.%. На рисунке 5 представлены теоретические кривые структурообразования для данных серий.

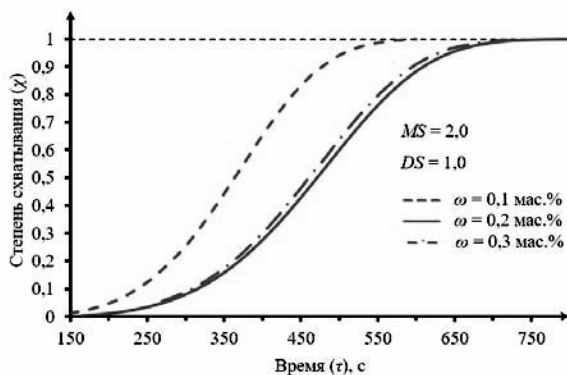


Рисунок 5. Кинетические кривые структурообразования гипсового вяжущего в присутствии различных концентраций ЭЦ 1

Как видно из графиков, скорость схватывания от концентрации эфира целлюлозы зависит нелинейно. Продолжительность индукционного периода для всех кривых примерно равна, а период активного схватывания с ростом концентрации эфира сначала возрастает, а затем наблюдается незначительное его снижение.

Из результатов исследования нам известно влияние отдельных эфиров целлюлозы на кинетику структурообразования гипсового раствора. Нам также известны и параметры замещения ( $DS$ ,  $MS$ ) всех использованных эфиров. Для того, чтобы определить влияние конкретного параметра, а именно степени замещения с помощью кинетической модели была построена теоретическая кривая структурообразования для гипсового вяжущего в присутствии эфира целлюлозы с заданными параметрами замещения. Для сравнения был взят исследуемый эфир целлюлозы, отличающийся только степенью замещения ( $DS$ ). На рисунке 6 представлена зависимость степени схватывания от времени для гипсового вяжущего в присутствии эфиров целлюлозы с различной  $DS$ .

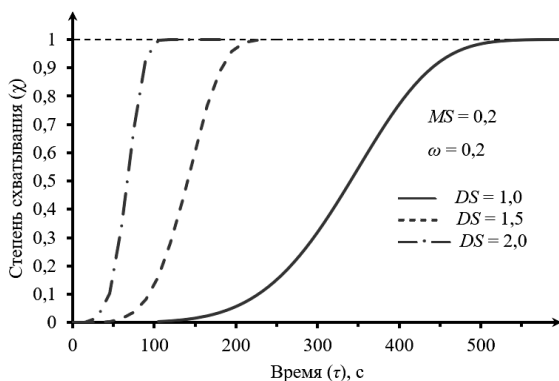


Рисунок 6. Кинетические кривые структурообразования гипсовых вяжущих в присутствии ЭЦ с различной  $DS$

Из графика видно, что с увеличением  $DS$  уменьшается продолжительность индукционного периода, резко возрастает скорость структурообразования, и соответственно сокращается период активного схватывания.

Для оценки влияния молекулярного замещения ( $MS$ ), используя полученную кинетическую модель, были построены кривые структурообразования гипсовых вяжущих в присутствии эфиров целлюлозы, которые отличаются только молекулярным замещением. На рисунке 7 представлена зависимость степени схватывания от времени для гипсового вяжущего в присутствии эфиров целлюлозы с различным  $MS$ .

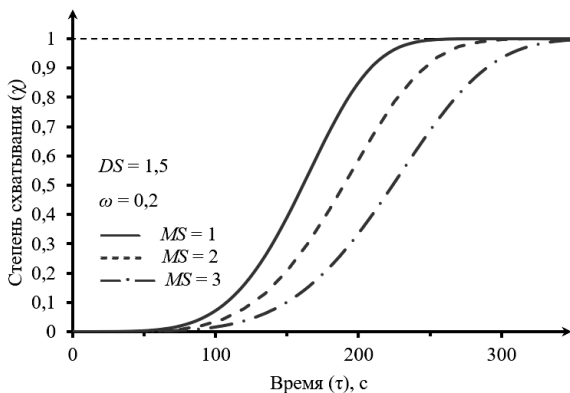


Рисунок 7. Кинетические кривые структурообразования гипсовых вяжущих в присутствии ЭЦ с различным  $MS$

Из графика видно, что с увеличением  $MS$  индукционный период остается неизменным. Однако наблюдается падение скорости схватывания, и соответственно увеличение времени периода активного схватывания.

Полученная кинетическая модель раскрывает влияние химической природы и концентрации эфиров целлюлозы на структурообразование дисперсных систем на основе полугидрата сульфата кальция. Учитывая соответствие теоретических данных экспериментальным, можно сделать вывод о применимости рассмотренной кинетической модели для описания процесса структурообразования гипсовых вяжущих модифицированных эфирами целлюлозы.

### Литература

1. Гонтарь Ю.В. Сухие строительные смеси на основе гипса и ангидрита/ Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова, А.Ф. Бурьянов; под общей редакцией А.Ф. Бурьянова. – М.: Изд-во «Де Нова», 2010. – 214 с.
2. Корнеев В.И. Сухие строительные смеси (состав, свойства): учебное пособие/ В.И. Корнеев, П.В. Зозуля. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2010. – 320 с.
3. Hill, J.R. Retardation of setting of plaster of Paris by organic acids: Understanding the mechanism through molecular modeling / J.R. Hill, J. Plank // J. Computation Chem. – 2004. – Vol.25 – P.1438–1448.
4. Николаев А.Ф. Водорастворимые полимеры. – Л.: Химия, 1979. – 144 с.
5. Singh, N.B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization / N.B. Singh, B. Middendorf // J. Elsevier. – 2007. – Vol.53 – P. 57–77.



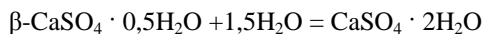
## ГЛИНОГИПСОВАЯ ШТУКАТУРКА В СИСТЕМАХ ИНТЕРЬЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

*Асаматдинов М.О.<sup>1</sup>, Тер-Закарян К.А.<sup>2</sup>, Жуков А.Д.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Национальный исследовательский московский  
государственный строительный университет  
<sup>2</sup>ООО «ТЕПОФОЛ»*

Глиногипс это природный материал осадочного происхождения, который широко распространен как в пределах Российской Федерации, так и на территории Средней Азии. По своим свойствам он близок к гипсу и может использоваться в качестве его заменителя, в штукатурных и кладочных растворах [1–3].

О значительной водостойкости древнего ганчевого раствора и долговечности, сложенных на нем кирпичных и каменных сооружений при непрерывном воздействии воды свидетельствуют арочный мост XIV в. через Мургаб (Туркмения), служивший до его разборки в конце XIX в., и баня XVI в., эксплуатируемая в Бухаре и поныне.

Формирование гидратационных структур твердения глиногипсового вяжущего при взаимодействии с водой лежит в основе твердения минеральных вяжущих. Для глиногипса обожжённого при температуре 250 °С, основным структурообразующим элементом служит полуводный гипс  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Как и для чистого гипса, дегидратированного до 180 °С процессы твердения глиногипсового вяжущего определяется условиями протекания реакции



Этот процесс служит для нас общей моделью для выяснения природы твердения глиногипса. Ле-Шателье, А.А. Байков и др. выдвинутые различные гипотезы являются классическими представлениями. В.Б. Ратиновым изучены и представлены основные закономерности формирования кристаллизационных структур твердения [4, 5].

Этот материал может использоваться в качестве штукатурных покрытий по жесткому основанию, а так же в системах интерьерной изоляции, в том числе и по изоляционному слою. В эксперименте исследовалась адгезия двух типов штукатурных покрытий (к теплоизоляционному слою из НПЭ): на основе портландцемента (для фасадных систем) и на основе гипсового вяжущего (для интерьерных систем). Для фасадных систем адгезия определялась до и после климатического воздействия.

Штукатурное покрытие наносилось на гладкую поверхность образцов несшитого пенополиэтилена и на поверхность, предварительно обработанную механически. Порядок выполнения работ был следующий. На поверх-

ность образца НПЭ наносилась насечка механическим путем (рис. 1). Приготавливался штукатурный раствор и далее на образец наносились базовый и 1й слои штукатурного покрытия. В сырую штукатурную поверхность втапливалась монтажная сетка и наносились следующие штукатурные слои. В процессе твердения определялась прочность на отрыв слоев. Результаты представлены на рис. 2.

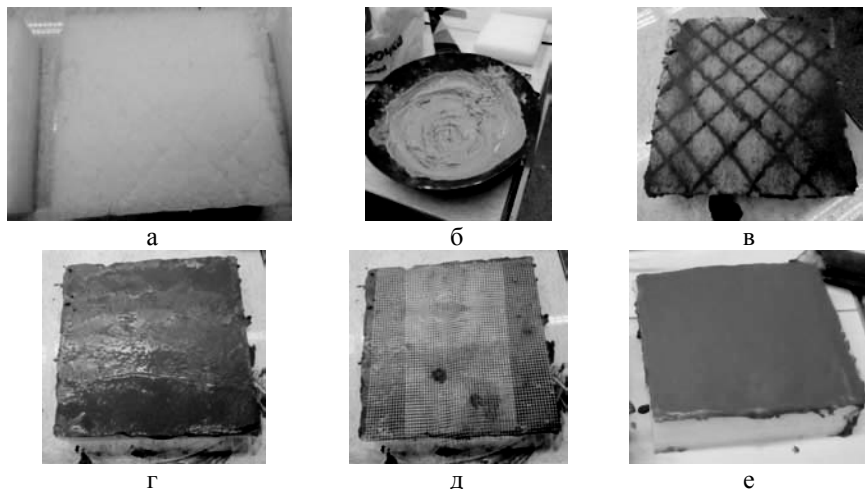


Рисунок 1. Последовательность выполнения штукатурного покрытия: а – нанесение механической насечки; б – приготовление штукатурного раствора; в – нанесение базового штукатурного слоя; г – нанесение 1го основного штукатурного слоя; д – укладка стеклосетки; е – нанесение финишного штукатурного слоя



Рисунок 2. Динамика нарастания прочности штукатурного покрытия во времени: а – на основе портландцемента; б – на основе гипсового вяжущего

Испытание на адгезию штукатурного покрытия на портландцементе к теплоизоляционному (НПЭ) слою осуществлялось через 7, 14 и 28 суток твердения (рисунок 2.3а). Штукатурное покрытие наносилось на образец без подготовительного слоя.

Отрыв по границе «штукатурное покрытие-основание» носит когезионный характер (по границе «штукатурное покрытие-теплоизоляция»), поэтому значение, полученное при испытании, равно фактической прочности сцепления (согласно ГОСТ 31356-2007).

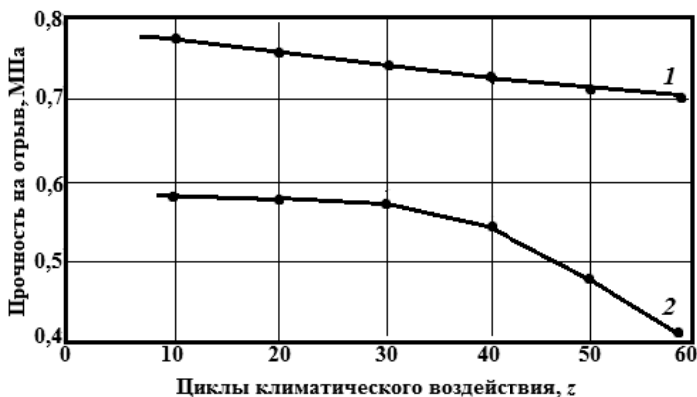


Рисунок 3. Изменение адгезии в результате климатических воздействий: 1 – с нанесением насечки на поверхность образца НПЭ; 2 – без обработки поверхности

Изменение адгезии в результате климатических воздействий изучалось при климатических циклах ( $z$ ) от 10 до 50. Результаты представлены на рисунке 3. Штукатурное покрытие наносилось на образец без подготовительного слоя с предварительной обработкой поверхности средством «Бетон-контакт».

Испытание на адгезию штукатурного покрытия на основе гипсового вяжущего, в том числе глиногипса, осуществлялось через 3, 7, 14 суток твердения; без климатического воздействия. Штукатурное покрытие (на основе гипсового вяжущего и глиногипса) набирало нормативную прочность через 7 суток твердения.

Для изучения адгезии штукатурного интерьерного покрытия (на основе гипсосодержащих вяжущих) к поверхности был проведен эксперимент (по результатам которого были подготовлены образцы изоляционной системы. Далее часть образцов была направлена на климатические испытания. Внеш-

них изменений в штукатурном покрытие замечено не было. Прочность адгезионного контакта соответствует нормативным требованиям.

В качестве основания используют жесткие несущие конструкции (стены) из монолитного бетона, из ячеистобетонных блоков (плотностью не ниже  $600 \text{ кг/м}^3$ ), кирпичную кладку, внутренние стены на основе пазогребневых плит, гипсокартонных или гипсоволоконистых листов. В состав системы входят: изделия на основе вспененного полиэтилена (НПЭ): маты или рулоны; тарельчатые дюбели с распорным элементом; адгезионная грунтовка, наносимая на слой теплоизоляции; базовая штукатурка; стеклотканевая щелочестойкая сетка; финишная грунтовка; защитно-декоративная штукатурка.

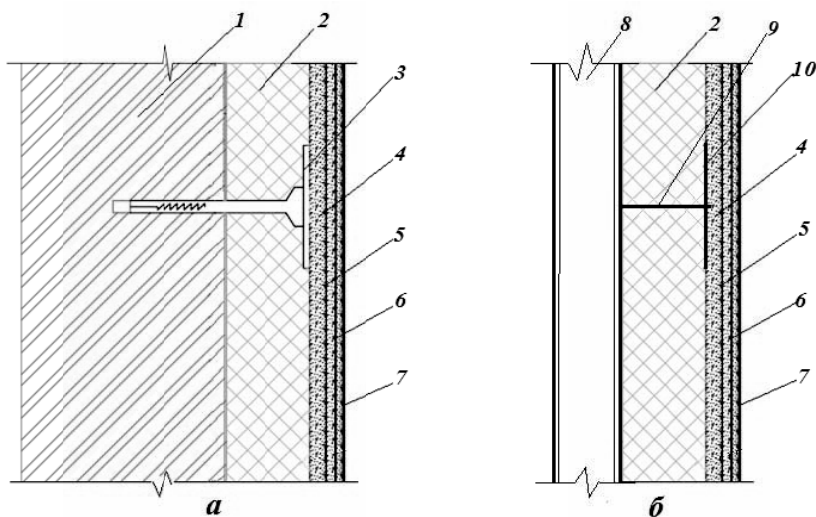


Рисунок 4. Система внутреннего утепления с оштукатуриванием: а – по бетонному (кирпичному) основанию; б – по профилированному листу; 1 – несущая стена; 2 – теплоизоляция (рулонный НПЭ); 3 – тарельчатый дюбель с распорным элементом; 4 – базовый штукатурный состав; 5 – стеклотканевая щелочестойкая сетка; 5 – защитная штукатурка; 6 – упрочняющая грунтовка; 7 – финишное покрытие; 8 – профилированный лист; 9 – приваренный штифт крепления; 10 – фиксирующая шайба

Последовательность монтажа системы следующая. Листы (маты или рулоны) НПЭ механически закрепляют на изолируемой поверхности с помощью распорных дюбелей, соединяют внахлест замковые системы и сваривают горячим воздухом. Прорезаются отверстия для окон и дверей, укладываются противопожарные обрамления оконных и дверных проемов.

Наносится адгезионная грунтовка на изолируемые поверхности и (по сырому) первый слой базовой штукатурки толщиной 3–4 мм. В слой базовой

штукатурки втапливается стеклотканевая сетка (по всей поверхности стены с усилением на оконных и дверных проемах) и наносится второй слой базовой штукатурки толщиной 2–3 мм. После высыхания базового слоя наносится финишная грунтовка и защитно-декоративная штукатурка.

В виду того, что необходимость применения противопожарных обрамлений оконных и дверных проемов увеличивает проницаемость покрытия (на тех участках покрытия, где укладывается негорючий минераловолокнистый утеплитель, в том числе и на поверхностях контактов «минплита-НПЭ») и эффективность изоляционной оболочки снижается, такая система фасадной изоляции может быть рекомендована для дополнительного утепления помещений.

Экспериментальные исследования по разработке интерьерных изоляционных систем и изучения их свойств осуществлялись в программе реализации хозяйственного договора между НИУ МГСУ и ООО «ТЕПОФОЛ». Установлено, что использование монтажной системы со штукатурной стеклосеткой и нанесение штукатурного покрытия в несколько слоев позволяет достичь удовлетворительной адгезии штукатурного покрытия к изоляционному материалу.

Формирование замкового соединения листов (рулонов) пенополиэтилена с последующей сваркой горячим воздухом (Патент РФ № 2645190) позволяет сформировать изоляционную бесшовную оболочку, обладающую низкими теплопроводностью, паро- и водопроницаемостью. Высокая тепловая эффективность пенополиэтилена и стабильность его эксплуатационных свойств позволяют ограничить толщину теплоизоляции 50 мм, что делает разработанные решения привлекательными с позиции использования жилого объема помещения. Штукатурный глиногипсовый слой, армированной стеклосеткой обеспечивает прочностные свойства изоляционной системы и ее пожарную безопасность. В качестве финишной отделки могут использоваться декоративные штукатурки, окраска поверхности и оклейка обоями.

## Литература

1. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.
2. Румянцев Б.М., Жуков А.Д., Орлов А.В. Декоративно-акустические гипсосодержащие материалы. Монография. М. МГСУ. 2014. –256 с.
3. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Zelenshchikov D.B., Mustafaev R.M., Khimich A.O. Insulation systems and green sustainable construction // «Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering». Volumes 1025–1026 (2014).– P. 1031–1034
4. Коровяков В.Ф. Перспективы применения водостойких гипсовых вяжущих в современном строительстве // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий : мат. Всероссийского семинара. – М. : РААСН, апрель 2002. – С. 51–56.
5. Асаматдинов М.О. , Еремин А.В., Тургаев Д.А. Глиногипсовое вяжущее // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий : мат. VIII Международной научно-практической конференции, Майкоп. –М : Изд-во «Де-Нова», 2016. – С. 16–20.

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО МЕЛКОШТУЧНЫХ ГИПСОВЫХ СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Булатов Б.Г.*

*Башкирский государственный аграрный университет*

*Недосеко И.В.*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Основным направлением развития строительного комплекса как в России в целом, так и регионов в частности предусматривают опережающий рост строительства объектов малой и средней этажности. Решение данной задачи невозможно без изделий и конструкций различного назначения увеличения производства низкоэнергоемких и экономичных материалов материалов, изделий и конструкций различного назначения (большей частью стеновых), получаемых на основе местного сырья и отходов промышленности, к которым в первую очередь следует отнести гипсовые материалы и изделия. По сравнению с подобными строительными материалами – бетонными изделиями, керамикой, газосиликатом они обладают важными преимуществами, такими как повсеместная распространенность сырьевой базой, простотой и дешевизной технологического процесса получения гипсовых вяжущих, экологической чистотой гипсовых материалов и их достаточно хорошие теплофизические свойства. Однако, несмотря на то, что за последние годы произошли значительные положительные изменения в развитии отечественной производственной базе гипсовой промышленности, в частности многократно возросло производство гипсовых сухих смесей для внутренней отделки, гипсокартона и пазогребневых перегородочных плит, изготовление же наиболее массовых и востребованных строительством стеновых изделий на гипсовой основе в сожалению, остаются ничтожно малым [1].

Между тем, почти вековой положительный опыт производства и применения гипсовых мелкоштучных изделий в Башкортостане, Казахстане, Самарской и Свердловской областях и других регионах, где до сих пор успешно эксплуатируется целые поселки малоэтажных жилых домов (один-три этажа), несущими стенами из блоков гипсовой или гипсошлаковой основе подтверждает целесообразность и эффективность использования гипса для данных целей [1,2].

Однако напрямую использовать в современном малоэтажном строительстве положительный опыт предыдущих поколений не представляется возможным, так как используемые до настоящего времени технологии и оборудования для производства гипсовых стеновых изделий устарели не только морально, но и физически и, естественно, не отвечают

требованиям сегодняшнего дня как производительности так и по себестоимости выпускаемой продукции. Вся экономика производства гипсовых изделий в первую очередь связана с удельным расходом вяжущего на единицу объема изделий, а по ценному показателю устаревшая литьевая технология производства гипсовых блоков не может конкурировать с эффективным высокопроизводительным оборудованием используемым при автоматизированном производстве силикатных и керамических изделий.

Несмотря на то, что в последние годы разработаны достаточно эффективные технологические способы получения стеновых и перегородочных изделий на основе безбжигового гипса и различных гипсосодержащих отходов (фосфогипса, гипсовых отсевов дробления и др.) их внедрению в производство, по нашему мнению, мешает недостаточная отработанность технологического процесса, что усложняет проведение его комплексной автоматизации. Например, в проведенной технологической схеме [2,3,4] производства стеновых изделий на основе гипсовых отсевов дробления (или подобных гипсосодержащих отходов) (рисунок 1) представлены различные операции: дозирование, перемешивание, сушка, прессование, которые не так просто увязать в общую систему технологического процесса без разделения на соответствующие иерархические уровни управления согласно степени их важности.

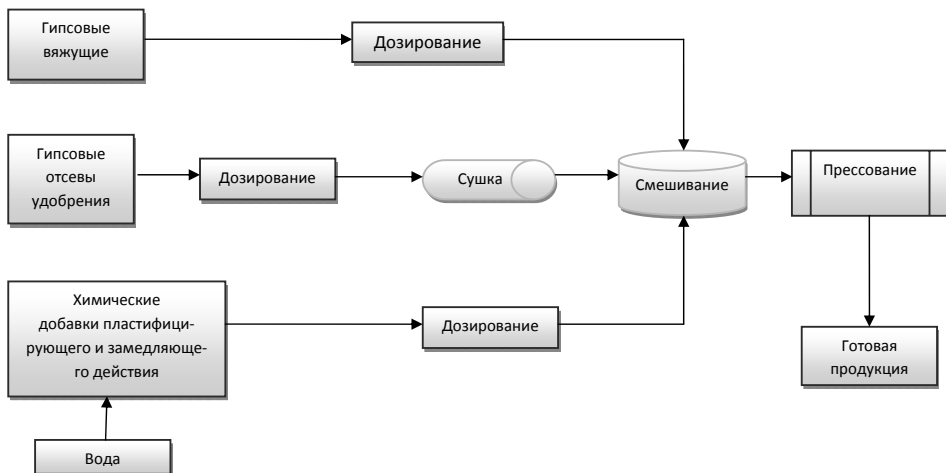


Рисунок 1.

*Схема технологического процесса изготовления мелкоштучного стеновых блоков способом прессования полусухой смеси на основе гипсовых отходов*

Следовательно, для комплексной автоматизации всего технологического процесса необходимо создание оптимальной структуры управления



производством гипсовых стеновых изделий, которое обеспечит решение задач как непосредственного управления технологическим процессом, так и оперативного управления качеством полученных изделий. Решение данной проблемы во многом поможет обеспечить расширенное внедрение в производство данных технологий и удовлетворить расширяющийся спрос малоэтажного строительства на качественные и дешевые гипсовые стеновые изделия

Предложенная система автоматизация производством стеновых изделий на основе гипсосодержащих отходов, которая будет обеспечивать решение задач непосредственного управления технологическим процессом и оперативного управления качеством получаемых изделий.

### **Литература**

1. Булатов Б.Г., Недосеко И.В. Система управления процессом переработки многотонажного гипсосодержащего отхода производства минеральных удобрений - фосфогипса в готовые изделия// Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015. - № 2 (34). - С. 69–73.

2. Ostroukh A.V., Nedoseko I.V., Surkova N.E., Bulatov B.G. Automated control system for the milling unit of mineral powders plant//International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 4. С. 2625-2628.

3. Булатов Б.Г., Недосеко И.В. Автоматизация системы управления производством стеновых изделий на основе фосфогипса // В сборнике: Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий. Материалы VIII международной научно-практической конференции. 2016. С. 21-25.

4. Булатов Б.Г., Недосеко И.В. Автоматизация технологического процесса производства гипсовых стеновых изделий// В сборнике: Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий. Материалы VII международной научно-практической конференции. 2014. С. 36-38.

# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО (ИСКУССТВЕННОГО) АНГИДРИТА В КАЧЕСТВЕ ВЯЖУЩЕГО В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Бурьянов А.Ф.<sup>1</sup>, Гальцева Н.А.<sup>1</sup>, Фишер Х.-Б.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>НИУ МГСУ  
<sup>2</sup>BauHaus-Universitaet Weimar, Deutschland*

Переизбыток серной кислоты на предприятиях цветной металлургии повышает значимость поиска новых (альтернативных) способов ее утилизации, одним из которых является обработка кальцийсодержащими нейтрализующими реагентами - известняк, мел, известь, известковое молоко, с получением различных модификаций сульфата кальция, которые можно использовать в качестве гипсовых вяжущих [1-2].

Существующие методы нейтрализации серной кислоты имеют сложные технологические схемы, низкую технологичность, инженерную сложность и также большие экономические затраты.

В данный момент разработан новый способ получения искусственного ангидрита непосредственно из сильноокислых растворов при взаимодействии серной кислоты с молотым известняком. Фазовый состав сульфата кальция соответствует нерастворимому ангидриту. К недостатку получаемого искусственного ангидрита можно отнести его низкую реакционную способность. Одним из наиболее перспективных направлений будущего применения искусственного ангидрита являются закладочные смеси, производство и применение которых позволит решить проблему утилизации концентрированной серной кислоты и создать эффективный конкурентоспособный аналог применяемых материалов, отвечающий техническим и технологическим требованиям [3-6].

Возможность применения искусственного ангидрита для закладочных смесей определялась по физико-механическим показателям, в том числе сравнимым с аналогичными значениями для природного и термического ангидрита (полученного путем термической обработки гипсового камня).

Были проведены исследования влияния катализаторов твердения - сульфат калия, портландцемента и пластифицирующие поверхностно-активные вещества и анализ характеристик природного, термического и искусственного ангидрита с этими катализаторами. Установлены зависимости прочности на сжатие от концентрации извести и сульфата калия, также зависимость степени гидратации от концентрации извести и сульфата калия, которые согласуются с данными ведущих ученых в сфере гипсовых материалов [7-9].

Сравнительный анализ результатов исследования природного, термического и искусственного ангидритов, приведенный на рисунках 1 и 2, показал, что сроки схватывания термического и искусственного ангидрита длиннее, чем природного, а их прочность значительно выше. Прочность при сжатии затвердевшего термического ангидрита вдвое, а искусственного втрое выше прочности природного.

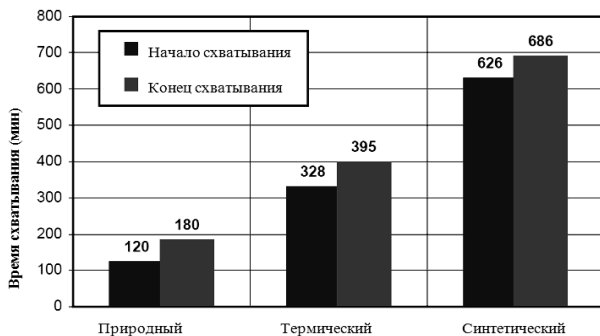


Рисунок 1. Значения времени схватывания в зависимости от вида ангидрита

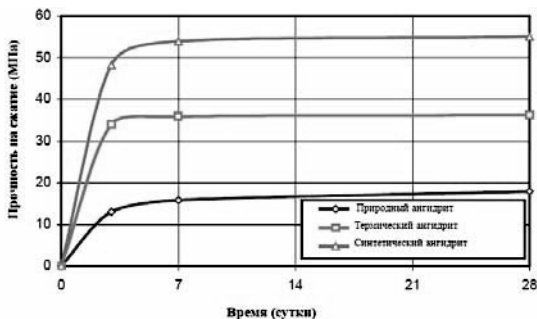


Рисунок 2. Прочность при сжатии различных видов ангидрита

Полученные результаты исследований показали, что наиболее перспективным для дальнейших исследований и применения в закладочных смесях является искусственный ангидрит.

Для применения искусственного ангидрита в качестве вяжущего при производстве закладочных смесей должны быть обеспечены их свойства, приведенные в таблицах 1 и 2. Обеспечение технологических и физико-механических свойств подобных закладочных смесей может быть достигнуто за счет направленной модификации искусственного ангидрита различными активаторами. В таблице 3 приведены результаты исследования свойств синтетического ангидрита с различными видами и содержанием добавок. Анализ полученных результатов показал, что оптимальной

модифицирующей добавкой является смесь щелочного активатора (портландцемент) и сульфатного (сульфат калия), которые обеспечивают требуемые сроки начального твердения активированного искусственного ангидрита.

Таблица 1

*Технологические параметры закладочных смесей*

Нормируемые параметры закладочных смесей (без крупного заполнителя или с содержанием мелкого заполнителя)	Значение
Осадка эталонного конуса (полное погружение)	9,0-14,0 см
Растекаемость смеси из вискозиметра Сутгарда	13-20 см
Коэффициент расслаиваемости	не более 1,3
Схватывание смеси	не меньше 2 ч с
Водоотделение от закладочного массива	не более 2%

Таблица 2

*Прочность закладочной смеси в зависимости от размеров выработки*

Высота выработки, м	Нормативная прочность, МПа	Ширина пролета выработки, м	Нормативная прочность, МПа	
			(коэф. запаса 3)	(коэф. запаса 2)
до 10	1,0	6	4	3
до 20	1,5	7	5	4
до 30	2,0	8	6	5
до 40	2,5	9	7	6
до 50	3,0	10	8	7

Таблица 3

*Свойства искусственного ангидрита с активаторами твердения*

№	Добавки-ускорители		В/А, %	Сроки схватывания, час-мин	
	Вид	Кол-во, %		Начало	Конец
1	Без добавки	--	28	Не схватывается	
2	Цемент (М-500 Д0) K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	48	1-10	2-30
		2			
3	Цемент (М-500 Д0) K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,5	41	1-10	2-50
		2			
4	Цемент (М-500 Д0) K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,5	40	1-50	3-00
		1			
5	Са(ОН) <sub>2</sub> K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,3	39	0-50	1-50
		1			

Для определения оптимальной удельной поверхности вяжущего были проведены испытания, в которых синтетический ангидрит с добавкой портландцемента и сульфата калия совместно молотся в вибромельнице до удельной поверхности от 350 до 550 м<sup>2</sup>/кг. Для полученных образцов вяжущего определялись сроки схватывания и прочность в возрасте 7 суток. На основании проведенных исследований установлено, что оптимальная удельная поверхность, при которой свойства модифицированного вяжущего обеспечат получение закладочных смесей с требуемыми характеристиками, равна 450 м<sup>2</sup>/кг.

Для определения оптимального содержания модификаторов в разрабатываемом ангидритовом вяжущем для производства закладочных смесей было использовано математическое планирование эксперимента.

Оптимизация содержания модификаторов обусловлена следующими требованиями к вяжущему для получения закладочных смесей:

- начало схватывания не ранее 2 часов (время необходимое для изготовления закладочной смеси и ее укладки);
- прочность на 7, 28 и 180 сутки в пределах 0,3 до 10 Мпа.

Конечным результатом обработки данных эксперимента явилось получение математических моделей (уравнений регрессий) по количеству определяемых характеристик со значимыми коэффициентами при выбранных переменных. На основании графического построения полученных математических моделей для начала схватывания вяжущего и прочности в возрасте 7 суток, установлено, что оптимальный состав модификатора ангидритового вяжущего, обеспечивающий соответствие требованиям, предъявляемым к вяжущему для закладочных смесей, содержит ПЦ500Д0 в количестве 2,5 % от массы вяжущего и сульфата калия - 1 %. Вяжущее с данным модификатором было принято в качестве базового при проведении дальнейшей разработки закладочных смесей.

Полученные результаты исследований показали возможность и перспективность применения модифицированного синтетического сульфата кальция в составах закладочных смесей. Применение различных местных заполнителей (крупного и мелкого) при разработке составов закладочных смесей различных марок на основе модифицированного синтетического (искусственного) ангидрита позволит достигнуть результатов, полученных в данном исследовании, и в отдельных случаях получить более высокие результаты.

## Литература

1. Фишер Х.-Б., Второв Б.П. Международное совещание по химии и технологии цемента. Обзорные доклады. Том 2. - г.Москва, РХТУ им. Менделеева, 4-8 декабря 2000, с.53-61
2. Нафталья М.Н., Илюхин И.В., Шестакова Р.Д., Козлов А.Н. Альтернативные направления утилизации серы и газов металлургического производства, Цветные металлы, 2009, №8, с.41-47
3. Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е. М., Бурьянов А.Ф., Получение синтетического ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка, Строительные материалы, 2013, №11, с. 16-19
4. Гриневич А.В, Киселев А.А., Бурьянов А.Ф., Кузнецов Е.М., Мошкова В.Г. Способ получения сульфата кальция. Патент РФ № 2445267. Оpubл. 20.03.2012. Бюл. № 8.
5. Бурьянов А.Ф., Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е.М. Получение синтетического ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка, Строительные материалы, 2013, №11, с. 16-19
6. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И. и др., Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция, монография, Под общей редакцией А.Ф.Бурьянова, Изд-во «Де Нова», М., 2012, 196 с.
7. Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Булдыжова Е.Н., Соловьев В.Г. Использование синтетического ангидрита сульфата кальция для приготовления закладочных смесей Строительные материалы, №6, 2015, с. 76-77
8. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И. и др., Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция, монография, Под общей редакцией А.Ф.Бурьянова, Изд-во «Де Нова», М., 2012, 196 с.
9. Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Соловьев В.Г., Ткаченко Д.И. Модифицированное вяжущее на основе синтетического ангидрита для закладочных смесей Строительные материалы, №8, 2017, с. 74-76

## ВОПРОСЫ ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Гаркави М.С.<sup>1</sup>, Бурьянов А.Ф.<sup>2</sup>, Фишер Х.-Б.<sup>3</sup>, Колкотаева Н.А.<sup>4</sup>*

*1 ЗАО «Урал-Омега», Россия, г. Магнитогорск*

*2 Московский государственный строительный университет,  
Россия, г. Москва*

*3 Веймарский строительный университет, Германия, г. Веймар*

*4 Магнитогорский государственный технический университет, Россия,  
г. Магнитогорск*

Проблема водостойкости гипсовых материалов, несмотря на длительную историю изучения, остается актуальной для науки и практики. Это связано с необходимостью расширения области применения гипсовых вяжущих и изделий на их основе.

Поскольку носителем свойств гипсовых материалов является их структура, то и их водостойкость обусловлена структурными особенностями гипсового камня.

Термодинамические исследования показали, что при твердении гипсовых вяжущих достигается такая энергия связи влаги с материалом, которая предопределяет наличие коагуляционной структуры гипсового камня [1]. В плотных коагуляционных структурах, обладающих довольно высокой прочностью, контакты между частицами точечные. Структуры с такими контактами (псевдоконденсационные структуры по П.А. Ребиндеру) ближе всего подходят к контактно-конденсационному типу структур с прочными контактами между частицами. Эти структуры возникают при механическом переплетении частиц обычно удлинённой формы, причём отличительной особенностью этих структур является отсутствие между контактирующими частицами жидких прослоек [2].

Наличие в гипсовом камне точечных контактов позволяет объяснить и низкую водостойкость гипсовых изделий. При увлажнении происходит сорбция влаги на точечных контактах, имеющих высокую свободную поверхностную энергию, в результате чего в соответствии с известным положением Гриффитса происходит её снижение и, следовательно, уменьшение прочности. При повторном высушивании эти контакты восстанавливаются, однако прочность уже не достигает первоначального значения из-за накопления напряжений и явлений перекристаллизации, возможных при достаточно высокой степени увлажнения [3].

Таким образом, для повышения водостойкости структуры гипсового камня необходимо либо увеличить в ней число контактов, либо снизить поверхностную энергию образующихся точечных контактов.

Рост числа контактов в твердеющей гипсовой дисперсии достигается введением в нее тонко- и ультрадисперсных наполнителей [4-6], а снизить поверхностную энергию контактов можно введением в систему ПАВ (гидрофобизаторов) или полимерных добавок. С технологической точки зрения наиболее приемлемым способом повышения водостойкости гипсового камня является увеличение в нем числа контактов, на что и направлено введение в состав материала водорастворимого полимера или редиспергируемого полимерного порошка (РПП).

Основой для образования контактов в твердеющей вяжущей системе являются контактные зародыши, возникновение которых является энергетически более выгодным, нежели непосредственное срастание частиц [6]. Возникновение контактных зародышей происходит на активных поверхностных центрах, которые непосредственно участвуют в формировании межчастичных контактов. Молекулы полимера способны выполнять роль активных центров зародышеобразования неорганического материала (в нашем случае контактных зародышей дигидрата). После образования полимерной пленки на твердых частицах роль источника активных центров переходит к входящему в состав полимера защитному коллоиду.

Водостойкость гипсовых материалов традиционно оценивается по величине коэффициента размягчения. Однако такой подход неприемлем для определению водостойкости гипсовых материалов в реальных условиях их применения. Более показательным критерием водостойкости может служить стойкость к попеременному увлажнению и высушиванию.

Метод определения стойкости к попеременному увлажнению и высушиванию заключается в следующем: изготавливались образцы-балочки размером 2\*2\*8 см. из гипсового вяжущего без добавок и гипсополимерной композиции с содержанием полимера 5% и 10%. Цикл увлажнения и высушивания состоял из увлажнения образцов в течение 24 ч и последующего высушивания в течение 24 ч в сушильном шкафу при температуре не выше 60<sup>0</sup>С. Через каждые 5 циклов определялась прочность образцов при изгибе. Отношение прочности образцов после испытаний к начальной прочности принималось за относительную прочность, по которой оценивалась стойкость к попеременному увлажнению и высушиванию.

Введение в состав смеси полимера приводит к тому, что гипсовое вяжущее при гидратации создает каркас из кристаллических сростков дигидрата, а полимер не только участвует в создании контактных зародышей, но и заполняет поры стекловидной субстанцией. В начальной стадии под действием капиллярных сил происходит сжатие частиц в объеме полимерной пленки и уменьшение пористости ее поверхностного слоя, непроницаемого для воды.



Последнее обуславливает дополнительное давление, уплотняющее структуру пленки.

В процессе дальнейшей эксплуатации при контакте с водой полимерные пленки, не растворяясь набухают и увеличиваются в объеме. Образующийся защитный экран из полимерной пленки вокруг кристаллов гипса препятствует доступу воды к ним. При удалении влаги пленки возвращаются в первоначальное состояние, повышая водостойкость гипсового камня.

В результате проведенных исследований установлено, что стойкость гипсового камня к попеременному увлажнению и высушиванию значительно повышается (рисунок 1), что подтверждает решающее влияние растворимости гипсового камня на стойкость к действию воды.

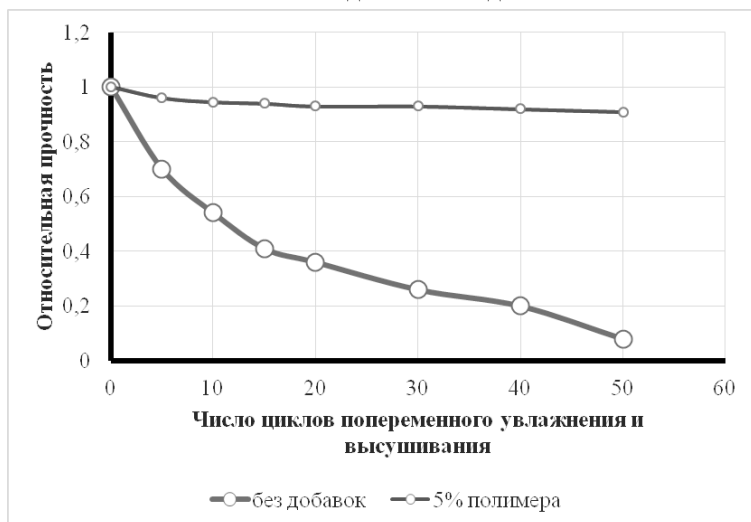


Рисунок 1. Относительная прочность гипсовых образцов при попеременном увлажнении и высушивании

Прочность гипсового камня без добавок снизилась на 40% после 10 циклов испытаний, а после 12 циклов произошло разрушение образцов. Снижение прочности образцов, содержащих полимер, происходит только в первые 10 циклов испытаний, а далее прочность стабилизируется и снижается незначительно.

Прогноз долговечности гипсополимерного материала по величине коэффициента стойкости осуществлен по ускоренной методике, согласно которой скорость снижения прочности композиционного материала в начальном периоде испытаний под воздействием агрессивной среды коррелирует с величиной прочности материала после ее длительного воздействия.

Прочность материала в результате длительного воздействия агрессивной среды ( $R_{\min}$ ) определяется по формуле:

$$R_{\min} = R_0 - \frac{(R_1 - R_\tau)}{1 - e^{-\alpha \tau}}, \quad (1)$$

$R_0$  – прочность материала перед началом испытаний;

$R_\tau$  – прочность материала после испытаний в течение времени  $\tau$ ;

$\alpha$  – показатель экспоненты, характеризующий скорость снижения прочности, определяемый по формуле:

$$\alpha = -\frac{1}{\tau} * \ln \frac{(R_1 - R_2)}{(R_0 - R_1)} \quad (2)$$

при условии (всегда возможно при эксперименте)  $\tau_2 = 2\tau_1$

Результаты испытаний после 5 и 10 циклов попеременного увлажнения и высушивания представлены в таблице 1.

*Таблица 1. Стойкость гипсополимерного материала при попеременном увлажнении и высушивании*

Состав	Прочность при сжатии, МПа			Коэффициент стойкости
	до испытания	через 5 циклов	через 10 циклов	
Без добавки	5,2	5	3,01	0,53
5% добавки	7,5	7,3	7,03	0,9
10% добавки	8,6	8,3	8,2	0,9

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о высокой стойкости гипсополимерных образцов к действию воды.

Таким образом, использование добавок полимеров можно рассматривать как эффективный способ повышения водостойкости долговечности гипсовых изделий.

## Литература

1. Цимерманис Л.-Х.Б. Термодинамика влажностного состояния и твердения строительных материалов. - Рига: Зинатне, 1985. - 247 с.
2. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. - М.: Стройиздат, 1989. - 188 с.
3. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. - М.: Наука, 1979. - 384 с.
4. Козлов Н.В., Панченко А.И., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Г. Микроструктура гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Строительные материалы. 2014. №5. С.72-75
3. Халиуллин М.И., Алтыкис М.Г., Рахимов Р.З. Композиционное ангидритовое вяжущее повышенной водостойкости // Строительные материалы. 2000. № 12. С. 34-35.
5. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Композиционные гипсовые вяжущие с использованием керамзитовой пыли и доменных шлаков // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 13-16.
6. Полак, А.Ф. Твердение минеральных вяжущих веществ / А.Ф. Полак, В.В. Бабков, Е.П. Андреева. – Уфа: Башк. кн. изд-во, 1990. – 216 с.

# **КОМПАНИЯ LAHTI PRECISION КАК ПОСТАВЩИК ЗАВОДОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ГИПСОВОЙ ОСНОВЕ**

*Глухов Г.В.  
Лахти Прецизион Оу в РФ, СНГ и ЕАЭС*

## **Общая информация**

Lahti Precision Oy – это, прежде всего, компания, специализирующаяся на технологиях взвешивания и обработки любых сыпучих материалов, для различных отраслей промышленности. Нами накоплен огромный опыт, позволяющий быть законодателем и первопроходцем в сфере производства современного оборудования для дозирования, взвешивания, смешивания и технологической обработки сыпучих материалов, а также в промышленной автоматизации и услуг технологического сопровождения. Наш успех основан на мировом признании Lahti Precision, как первоклассного эксперта в области промышленного взвешивания и дозирования. Мы помогаем нашим клиентам добиться успеха в их производстве, тесно сотрудничая с ними и, находя наилучшие решения для их реальных потребностей. Все это обеспечивает нашим клиентам минимальные эксплуатационные расходы и гарантирует снижение себестоимости производства.

Компания Lahti Precision располагается в Финляндии, в городе Лахти. Компания создана в 1914 году и с тех пор специализируется на процессах точного дозирования и взвешивания, а кроме того, производит высокоэффективные системы смешивания и технологической обработки сыпучих материалов. Продвинутая система управления позволяет использовать современный, интуитивный, простой в использовании, процесс управления.

В истории компании было несколько переломных этапов развития и, в итоге, сегодня мы являемся одной из ведущих компаний, по созданию заводов ССС в мире. Наши уникальные, запатентованные системы дозирования потоков сыпучих материалов, под действием силы тяжести (гравитации) и системы псевдооживления для транспортировки сухих порошков являются очень экономичными, энергосберегающими технологиями как при разгрузки силосов, так и для реализации точного дозирования и подачи сыпучих материалов. Эти решения показали свою эффективность и в гипсовой промышленности.



Рис 1: География поставок заводов Lahti Precision

Благодаря передовой, беспыльной технологии дозирования с псевдооживлением материалов, Lahti Precision было присвоено звание экологически чистой компании и она стала членом организации Cleantech Finland. Компании, которым присваивают такое звание должны доказать, что их технические решения являются энергосберегающими, высокоточными, не требуют технического обслуживания, экологически чистые и безотходные. В совокупности с положительными откликами клиентов, данное звание подтверждает реальность высоких оценок потребителей продукции Lahti Precision.

Исторически, Lahti Precision всегда была инновационной компанией. Совсем недавно, в мае 2018 года, она продала своё, когда-то, очень известное, но и самое консервативное- стекольное бизнес подразделение и сконцентрировалась на разработке самых современных и высокотехнологичных решений в области производства ССС.

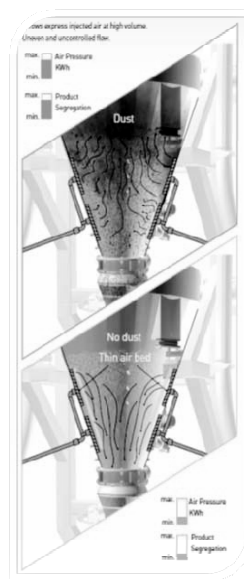


Рис 2: Система псевдооживления материалов для разгрузки силосов



Рис 3: Lahti Precision удостоена звания «экологически чистой компании»

### **Lahti как поставщик заводов по производству ССС на гипсовой основе**

Уникальная технология флюидизации (псевдооживления) Лаhti доказала свою эффективность для точного и высокопроизводительного дозирования компонентов ССС на гипсовом вяжущем. Используя технологию псевдооживления Лаhti, появляется больше возможностей для оборудования дозирования и транспортировки, таких как дозирование порошковых компонентов дозирующими клапанами Лаhti, транспортировка с помощью гибких шлангов Lahti и др.



Рис 4: Дозирование в шлангах с псевдооживлением



Рис 5: Дозирование клапаном с псевдооживлением

В течение последних лет Лаhti поставил для компании Волма три больших завода ССС. Каждый из них предназначен для производства очень широкого спектра продуктов на основе гипса. На всех заводах процесс получения гипсового сырья непосредственно с завода, интегрирован в структуру завода ССС. Таким образом, они являются логически эффективными. Окончательный план установки и локальные технологические решения были приняты и согласованы в тесном сотрудничестве с экспертами компании Волма. Основные требования к заводам - высокая производительность с высоким и стабильным качеством продукции.



Рис 6: ВОЛМА Оренбург



Рис 7: ВОЛМА Майкоп

Поставка завода ССС для Белгипса включает в себя 12 силосов для материалов наполнителей и вяжущих и 17 силосов для химических добавок. Основное сырье дозируется с точностью от нескольких сотен граммов до 40 кг в секунду. Самые высокие требования к точности реализованы для химического сырья и добавок. Эти материалы дозируются с точностью до нескольких граммов. Оптимальное решение для дозирования и взвешивания достигается путем разделения процесса дозирования на шесть разных масштаба. Каждая весы предназначены только для одного отдозированного сырья. Таким образом, время чистки, необходимое для смены продукта, сведено к минимуму.



Рис 8: На этапе дозирования



Рис 9: Высокопроизводительный дозирующий клапан

Двухвальный смеситель Lahti обеспечивает плавное и однородное перемешивание без разрушения мелких частиц легкого материала (перлита).

Низкая скорость вращения (35 оборотов в минуту) и, соответственно, низкий уровень вибрации, позволяют использовать очень чувствительное и точное взвешивание.



Рис 10: Двухвальный миксер Lahti

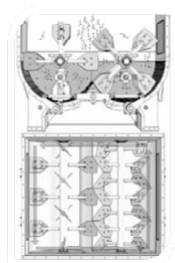


Рис 11: Принцип смешивание

Продвинутая современная система управления упрощает управление заводом. Система включает удаленный мониторинг и контроль в случае необходимости в срочном удаленном помощнике. Универсальное программное обеспечение для отчетности предоставляет информацию в реальном времени о различных системах. База данных отчетов на основе SQL хранит всю информацию и годами сохраняет данные для последующего анализа. Возможно объединение баз данных в ERP-систему компании.

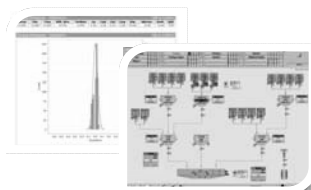


Рис 12-14: Система управления и отчетности Lahti



## Заключение

Lahti Precision может разработать оптимальный процесс производства ССС для удовлетворения потребностей клиентов. Выбранная технология дает клиентам Lahti Precision несколько конкурентных преимуществ по сравнению с использованием оборудования конкурентов. Было измерено, например, уровень отходов значительно ниже, а производительность установки выше при использовании технологии дозирования и взвешивания Lahti Precision. Высокая производительность процесса позволяет не использовать дополнительное количество дорогостоящих добавок для достижения высокого качества конечных продуктов. Также, ниже затраты на эксплуатацию, что дает лучшую доступность для установки по сравнению с используемой технологией конкурентов. В совокупности это означает, что суммарные инвестиции в Завод ССС, поставленный компанией Lahti Precision, могут быть возвращены уже через четыре года.

Lahti Precision Oy  
Ahjokatu 4 A  
FI-15801 Lahti, Finland  
[www.lahtiprecision.com](http://www.lahtiprecision.com)  
[general@lahtiprecision.com](mailto:general@lahtiprecision.com)  
[lahtiprecision@mail.ru](mailto:lahtiprecision@mail.ru)



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШЛАМОВ ПРОИЗВОДСТВА ПВХ. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИХ ПРИМЕНЕНИЕМ

Головин В.О., Сучков В.П.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: Цель данной работы - определение технологических свойств шламов производства ПВХ, анализ возможности использования их в строительных материалах в качестве наполнителей для формовочных смесей на основе гипса. Использование отходов крайне актуально с точки зрения организации производства, так как позволяет существенно снизить затраты на сырьевые материалы и частично решить проблему утилизации. Это также выгодно выделяет предприятие в вопросе защиты окружающей среды.

Включение шлама в состав формовочной смеси для производства строительных материалов (в частности гипсовых плит-перегородок) позволяет существенно снизить расход вяжущего вещества. При этом изделия полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 6428-83. «Плиты гипсовые для перегородок. Технические условия.» по прочностным показателям. Использование шламов производства ПВХ безопасно для здоровья человека и для окружающей среды.

Ключевые слова: отходы, переработка, шлам, ПВХ, гипс, экономия.

1. Определение нормальной густоты смеси шламов и гипсового вяжущего.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 23789-79«Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

Результаты определения нормальной густоты гипсового теста приведены в таблице 1.

Таблица 1

Определение нормальной густоты

Номер опыта	Гипс, г.	Вода, мл.	В/Г	Распływ, мм
1	400	240	0,600	290
2	400	180	0,450	135
3	400	200	0,50	190
4	400	188	0,470	173
5	400	195	0,487	182

Нормальная густота гипсового теста составила 48,7%

Определение нормальной густоты смеси из гипсового вяжущего и шламов.

*Таблица 2*

*Определение нормальной густоты смеси гипса и шлама установки электролиза*

Номер опыта	Гипс, г.	Шлам, г.	Вода, мл.	В/Т	Распływ, мм.
1	200	200	200	0,500	125
2	200	200	220	0,550	190
3	200	200	215	0,537	177

Нормальная густота составила 53,7%

*Таблица 3*

*Определение нормальной густоты смеси гипса и шлама установки ПВХ*

Номер опыта	Гипс, г.	Шлам, г.	Вода, мл.	В/Т	Распływ, мм.
1	200	200	200	0,500	125
2	200	200	260	0,650	155
3	200	200	290	0,725	180

Нормальная густота составила 72,5%

2. Определение сроков схватывания смеси шламов и гипсового вяжущего.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

Результаты определения сроков схватывания приведены в таблице 4.

*Таблица 4*

*Сроки схватывания*

	Гипс	Гипс и шлам элек.	Гипс и шлам ПВХ
Начало схватывания	12мин 30сек	4мин 30сек	10мин 20сек
Конец схватывания	17мин 15сек	6мин	17мин

Введение шлама установки электролиза сокращает сроки схватывания смеси примерно в 3 раза.

Введение шлама ПВХ в формовочную смесь приводит к сокращению начала схватывания, при неизменном окончании схватывания.

3. Определение прочности образцов – кубиков из смеси шлама и гипсового вяжущего.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубики с ребром 20,7 мм, они были испытаны через 6 часов естественного хранения и после полного высыхания. Результаты испытаний приведены в таблице 5.

## Прочность образцов

Номер образца	Прочность, МПа					
	Гипс	Гипс сух.	Гипс и шлам эл.	Гипс и шлам элек. сух.	Гипс и шлам ПВХ	Гипс и шлам ПВХ сух.
1	5,79	5,54	0,51	0,68	1,08	1,14
2	6,42	9,81	0,41	0,5	0,92	1,17
Среднее	6,1	7,67	0,46	0,59	1,0	1,16

## 4. Подготовка формовочных смесей.

В исследованиях использованы два вида подготовки формовочных смесей:

1. Применение шламов с заводской влажностью.
2. Высушенных и измельченных шламов.

С этой целью шламы, отобранные на производстве, оформлены актом отбора проб, герметично упакованы и доставлены в лабораторию.

В связи с изменчивостью влажности шламов, изменением их агрегатного состояния в процессе хранения, их использование непосредственно после фильтр-пресса не позволяет получить формовочную смесь стабильного состава с заданным режимом формования.

По этой причине возникла необходимость усреднения свойств шламов, а именно их предварительной сушки до постоянной массы при температуре 60-80<sup>0</sup>С с последующим измельчением в шаровой мельнице и просеиванием до полного прохода через сито 0,63 мм.

## 5. Методика и результаты испытаний образцов.

Результаты испытаний на прочность образцов – балочек из смесей со шламами ПВХ и установки электролиза на основе гипса приведены ниже.

Балочки размером 160x40x40мм изготовлены из смесей со шламами ПВХ и установки электролиза на основе гипса. После заполнения формы были провибрированы на виброплатформе в течение 10-15 с. Время вибрации установлено экспериментально, исходя из условий получения образцом однородной структуры и контролировалось по началу водоотделения.

Испытания образцов на основе гипсового вяжущего проводились в соответствии с ГОСТ 23789 – 79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.

Образцы со шламом установки электролиза на основе гипсового вяжущего вибрированию на виброплатформе не подвергались, так как введение шлама в состав смеси ускоряет ее схватывание.

Таблица 6

Образцы на основе гипса в возрасте 1 суток.

Шлам уст. электролиза			Шлам ПВХ		
	R <sub>изг.</sub> , МПа	R <sub>сж.</sub> , МПа		R <sub>изг.</sub> , МПа	R <sub>сж.</sub> , МПа
10% от Г.	2,78	6,44	10% от Г.	2,70	7,04
30% от Г.	0,99	1,76	30% от Г.	1,45	3,40
50% от Г.	0,49	0,88	50% от Г.	1,18	2,52

Таблица 7

Образцы на основе гипса после полного высыхания.

Шлам уст. электролиза			Шлам ПВХ		
№обр.	R <sub>изг.</sub> , МПа	R <sub>сж.</sub> , МПа	№обр.	R <sub>изг.</sub> , МПа	R <sub>сж.</sub> , МПа
10% шлама от массы гипса					
1	6,68	14,92	1	6,73	14,96
2	3,78	15,04	2	6,54	14,48
3	5,09	13,04	3	-	14,88
4	-	12,96	4	-	15,88
30% шлама от массы гипса					
1	1,26	2,80	1	3,23	7,72
2	1,10	2,48	2	3,55	7,60
3	-	2,40	3	-	7,36
4	-	2,32	4	-	6,56
50% шлама от массы гипса					
1	0,67	1,12	1	2,30	5,64
2	0,64	1,08	2	2,19	5,40
3	-	0,96	3	-	5,40
4	-	1,08	4	-	4,88

Полученные результаты соответствуют требованиям для изделий гипсовых плит-перегородок, что послужило основанием для разработки проекта ТУ и изготовления контрольного изделия.

6. Изготовление опытного образца изделия, соответствующего требованиям технических условий и рекомендованного к внедрению.

С целью практической реализации выполненных исследований в лабораторных условиях изготовлен образец изделия, рекомендованного к внедрению. С этой целью подобран состав формовочной смеси для изготовления фрагмента плиты для устройства межкомнатных перегородок.

Таблица 8

*Рекомендованные составы смесей на основе гипсового вяжущего с использованием шлама ПВХ*

Компонент смеси	Содержание в смеси, г. (%)		
	Гипс	1000	1000
Шлам	100(10)	300(30)	500(50)
Вода	530(48)	715(55)	865(58)

Содержание шлама дано в процентах от массы вяжущего, содержание воды – в процентах от массы твердого вещества.

### **Заключение**

1. Результаты исследований свидетельствуют о возможности использования шлама химической очистки сточных вод ПВХ в качестве сырья для производства строительных материалов.

2. Формовочные смеси на основе шлама от химической очистки сточных вод ПВХ рекомендуется готовить с использованием в качестве вяжущего гипс, что позволяет получить смесь с максимально возможным содержанием шлама.

3. С позиции максимального использования шлама, снижения энергозатрат при реализации технологии производства и расхода вяжущего рекомендован способ виброформования изделий.

4. На основании исследований и комплекса экспериментальных испытаний разработано техническое условие на производство плит для устройства перегородок на основе шлама от химической очистки сточных вод ПВХ.

5. Разработанные нормативные документы и результаты экспериментальных исследований являются базой для проектирования технологической линии под конкретного Заказчика.

### **Литература**

1. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний

## ЗАЩИТА ОТ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ ГИПСОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Гончаров Ю.А.<sup>1</sup>, Дубровина Г.Г.<sup>1</sup>, Губская А.Г.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> «БЕЛГИПС»,  
<sup>2</sup> ГП «Институт НИИСМ»;

Интенсификация развития промышленности, происходившая во второй половине XX столетия, имеет, к сожалению, ряд неблагоприятных последствий, приводящих к ухудшению условий существования человека. Одним из таких отрицательных экологических последствий явилось увеличение радиационного фона, создаваемого как природными, так и искусственными (техногенными) источниками излучения.

Известно, что природные источники ионизирующего излучения вносят основной вклад в дозу облучения населения. Средняя эффективная эквивалентная доза, обусловленная природными источниками, составляет около 2/3 дозы от всех источников ионизирующего излучения, воздействующих в настоящее время на человека. Наиболее весомым из всех естественных источников радиации является радон [1].

Подсчет вклада радона в формирование средней дозы облучения человека в процессе его жизни дает неожиданные результаты. Общий вклад естественного облучения в дозовую нагрузку составляет около 72 %. Этот факт вызвал громадный интерес к радоновой проблеме практически во всех развитых странах, поскольку более половины годовой дозы от всех природных источников излучения человек получает через воздух, облучая радоном свои легкие во время дыхания.

В связи с проблемой радона, у населения развитых странах, таких как Швеция, Великобритания, возникла коммерческая заинтересованность в определении содержания радона. Заключение о концентрации радона в доме является необходимым при продаже или сдаче внаем.

В настоящее время в странах Европейского союза экспертами по радиационной защите рекомендованы следующие нормативные значения активности радона: от 50 до 200 Бк/м<sup>3</sup> – для новых жилых зданий и 200-400 Бк/м<sup>3</sup> – для эксплуатируемых зданий. Необходимо отметить, что в последнее десятилетие наблюдается тенденция ужесточения нормативные значения активности радона. Так в Швеции с 90 годов XX века до настоящего времени они были снижены вдвое: до 200 Бк/м<sup>3</sup> как для вновь построенных, так и для эксплуатируемых зданий [2].

В Республике Беларусь установлены уровни вмешательства, согласно которых содержание радона в проектируемых жилых и общественных зданиях не должно превышать 100 Бк/м<sup>3</sup>, а при эквивалентной равновесной

объемной активности радона и торона (ЭРОА) в эксплуатируемых зданиях свыше 200 Бк/м<sup>3</sup> решается вопрос проведения защитных мероприятий. Необходимость устройства системы защиты от радона на стадии проектирования определяется по значениям плотности потока радона с поверхности грунта земельного участка под строительство. При плотности потока радона более 80 мБк/(м<sup>2</sup> · с) в проекте в обязательном порядке должна предусматриваться система защиты от радона [3, 4].

Основными источниками радона являются геопатогенные зоны (разломы) земной коры, где радон образуется в результате радиоактивного природного распада радия-226, повсеместно расположенного в природе.

Проникая сквозь трещины и стыки в фундаментах, полы, стены зданий в первые этажи и подвальные помещения, радон задерживается в них и накапливается. Растворимость радона в воде, колебание уровня грунтовых вод способствует вредному двойному действию влажности и радона.

В самом же здании источником радона могут быть материалы строительных конструкций. Количество радона, поступающего в помещения из ограждающих конструкций, зависит от концентрации радия в материалах ограждающих конструкций и их газопроницаемости. В большинстве случаев вклад выделяющегося из ограждающих конструкций радона в суммарные поступления не превышает 10 – 20 %. Однако, для людей находящихся в помещениях, эти значения могут приводить к негативным последствиям.

С целью эффективного предупреждения отрицательных последствий действия радона необходимо преодолеть сложившиеся стереотипы, что только радиационные аварии или утечки отходов могут создавать угрозу для здоровья людей [5, 6]. Противорадоновая защита здания должна осуществляться как система логически связанных технических решений, реализуемых в рамках принятой концепции проекта при разработке его всех основных частей (объемно-планировочном решении, проектировании ограждающих конструкций, систем отопления, вентиляции, канализации, электро- и водоснабжения и т. п.). Неудачное решение одного из элементов такой системы защиты может существенно снизить эффективность системы в целом.

Поэтому в последнее время в мире увеличивается объем исследований, посвященный разработке как принципов радонозащиты, так и материалов для ее осуществления [7, 8]. Проводятся такие исследования и в Республике Беларусь. Первым материалом, разработанным и внедренным в серийное производство в республике, являются плиты гипсовые радонозащитные (ПГР), выпускаемые на ОАО «Белгипс» [9].



ОАО «Белгипс» совместно с Государственным предприятием «Институт НИИСМ» были проведены исследования радонозащитных свойств гипсовых материалов. В качестве критерия эффективности материала использовали коэффициент радонозащиты - уменьшение плотности потока радона с поверхности строительных материалов, рассчитываемый по формуле:

$$K = \frac{\sigma_1}{\sigma_2},$$

где  $\sigma_1$  – плотность потока радона с поверхности строительной конструкции, мБк/(м<sup>2</sup>·с);

$\sigma_2$  – плотность потока радона с поверхности строительной конструкции, покрытой радонозащитным материалом, мБк/(м<sup>2</sup>·с).

Измерения плотности потока радона проводились в соответствии с разработанной Государственным предприятием «Институт НИИСМ» методикой МВИ МН 1885-2003 на гамма-спектрометре «Прогресс» со сцинтилляционным блоком детектирования. Принцип измерения основан на адсорбции радона из воздуха на активированном угле в адсорберах с последующим измерением его активности по интенсивности гамма-излучения дочерних продуктов распада радона Рb-214 и Bi-214, находящихся в состоянии радиоактивного равновесия, с помощью программной обработки спектров «Прогресс».

Значения плотности потока радона с поверхности строительной конструкции, мБк/(м<sup>2</sup>·с), рассчитывают по формуле

$$\sigma = \frac{A \exp(\lambda t)}{Kn(1 - \exp(-\lambda t_{\text{exp}}))} 10^{-1}$$

где  $A$  – суммарная активность радона в угле накопительной камеры, Бк;  
 $t$  – интервал времени между окончанием экспонирования и началом измерения, ч;

$t_{\text{exp}}$  – время экспонирования, ч;

$\lambda$  – постоянная распада радона = 0,00755 ч<sup>-1</sup>;

$N$  – число одновременно экспонируемых накопительных камер;

$K$  – градуировочный коэффициент.  $K = 1,38 - 0,25t_{\text{exp}} + 0,141 \exp(-0,774t_{\text{exp}})$ .

Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние гипсовых материалов на радонозащитные свойства по  
разным типам оснований

Вид материала строительной конструкции	Радонозащитный материал	Плотность потока радона с поверхности, мБк/(м <sup>2</sup> ·с),	Коэффициент радонозащиты
1	2	3	4
Плотный бетон	-	50	-
	Гипсовый штукатурный раствор	39	1,29
	Гипсовый штукатурный раствор + краска	31	1,62
	ГКЛ	31	1,62
	ПГР	17	2,95
	ПГР + краска	13	3,85
	ПГР+ обои	12	4,17
Керамзитобетон	-	58	-
	Гипсовый штукатурный раствор	44	1,32
	Гипсовый штукатурный раствор + краска	34	1,71
	ГКЛ	35	1,66
	ПГР	20	2,90
	ПГР + краска	15	3,87
	ПГР+ обои	14	4,15
Силикатный кирпич	-	37	-
	Гипсовый штукатурный раствор	28	1,33
	Гипсовый штукатурный раствор + краска	26	1,43
	ГКЛ	27	1,37
	ПГР	11	3,37
	ПГР + краска	9	4,12
	ПГР+ обои	9	4,12
Керамический кирпич	-	49	-
	Гипсовый штукатурный раствор	39	1,26
	Гипсовый штукатурный раствор + краска	31	1,58
	ГКЛ	26	1,50
	ПГР	10	3,90
	ПГР + краска	8	4,88
	ПГР+ обои	8	4,88

Проведенные исследования показали эффективность использования гипсовых материалов для радонозащиты в зданиях и сооружениях.

### Литература

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
2. BFS 2011:26, BFS 2015:3 Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd) [Electronic resource].-Available at: [//www.boverket.se](http://www.boverket.se).
3. Санитарные нормы и правила Требования к радиационной безопасности от 28 декабря 2012 г. №213.
4. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения» от 31 декабря 2013 г. №137.
5. Лукутцова Н.П. Строительные материалы в экологическом аспекте. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2001. – 215 с.
6. Кирсанов В.В. Современные технико-технологические методы защиты окружающей среды. Т.3. Физические факторы окружающей и производственной среды: монография. - Казань: КГТУ, 2015. - 504 с.
7. ICRP Publication 126: Radiological protection against radon exposure // Ann. ICRP.- 2014.-Vol.43, №3.-73 p.
8. Council Directive 2013/59EURATOM of December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 9743/Euratom, 2003/122/Euratom [Electronic resource] // Official Journal of the European Union.-17.1.2014.-73 p.- Available at: <http://eur>
9. Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Губская А.Г. Гипсокартон для защиты помещений от проникновения радона// Строительные материалы.- 2017-№10.-С.41-44.

# ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ НА ОСНОВЕ ФОСФОПОЛУГИДРАТА ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД» НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

*Губская А.Г., Лобачевский В.И.  
Государственное предприятие «Институт НИИСМ», Минск  
Осипенко В.В.  
ОАО Гомельский химический завод»*

Основным видом сырья для производства строительных конструкций, используемых в массовом домостроении, был и остается портландцемент. Увеличение объемов производства цемента обусловленное увеличением темпов строительства, неизбежно приведет к увеличению необходимых для его производства сырьевых материалов, частности гипсового камня.

Гипсовый камень применяется в основном в качестве регулятора сроков схватывания цемента и вводится в его состав путем совместного помола с клинкером. Согласно ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия», содержание гипса в цементе не должно превышать 4 % (в пересчете на серный ангидрид), что соответствует 8,6 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . При производстве высокомарочных цементов с удельной поверхностью 350-400 м<sup>2</sup>/кг оптимум гипса оценивается величиной 4,5 - 6 % по серному ангидриду или 13 % по  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

В Республике Беларусь природный гипсовый камень не добывается. В настоящее время весь объем гипсового камня, необходимый для производства портландцемента, импортируется. Основными поставщиками гипсового сырья являются организации, расположенные на территории Украины и России. Поэтому для обеспечения объемов выпуска цемента актуальным является вовлечение в переработку гипсосодержащих отходов, имеющих на территории Беларуси, с целью покрытия потребностей цементной промышленности республики в гипсовом камне. Из гипсосодержащих отходов наиболее перспективным является фосфогипс – отход производства экстракционной фосфорной кислоты.

В зависимости от условий получения экстракционной фосфорной кислоты отход ее производства - фосфогипс может быть получен в виде дигидрата сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (дигидратный процесс) или полугидрата сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) (полугидратный процесс). Основными факторами, сдерживающими широкое использование фосфогипса в цементной промышленности, являются примеси фосфатов и фторидов, оказывающих негативное влияние на твердение портландцемента, а также необходимость кондиционирования отходов для обеспечения перевозки, хранения и ввода в портландцемент [1-3].

В настоящее время на ОАО «Гомельский химический завод» проведена реконструкция с переходом переработки фосфорного сырья на полугидратный процесс. В результате получаемый фосфогипс-полугидрат будет схватываться и твердеть за счет присутствующей в нем физической (свободной) влаги, приобретая прочность, необходимую для его транспортирования. Для связывания примесей предусмотрен ввод нейтрализующего реагента – порошкообразной гидратной извести. Твердение фосфополугидрата происходит в буртах в уплотненном состоянии.

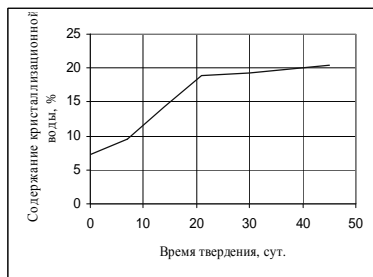
Исследования показывают, что во время хранения нейтрализованного фосфополугидрата происходит связывание водорастворимых фосфорных и фтористых соединений. Наиболее активно этот процесс происходит для водорастворимых фосфорных соединений: к 14 суткам все водорастворимые фосфаты переходят в трехзамещенный фосфат кальция. Полного связывания водорастворимых фторидов при твердении не происходит, однако их содержание снижается в несколько раз. Одновременно происходит и твердение фосфополугидрата с переходом в дигидрат сульфата кальция (рис. 1).



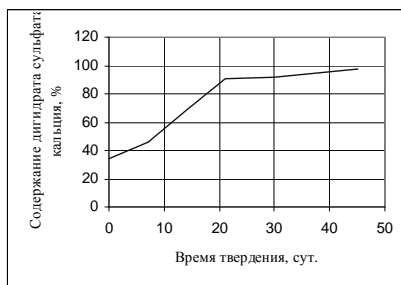
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Изменение свойств фосфополугидрата при твердении  
 а) – содержание  $P_2O_5$  в.р., б) – содержание F в.р., в) – содержание кристаллизационной воды, г) – содержание дигидрата сульфата кальция

При хранении в буртах происходит увеличение прочности искусственного гипсового камня на основе нейтрализованного фосфополугидрата (табл.1). При хранении нейтрализованного фосфополугидрата в буртах его свойства приближаются к свойствам природного гипсового камня.

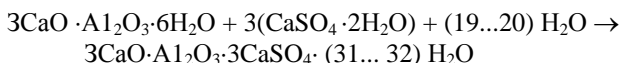
*Таблица 1*

*Изменение прочности искусственного гипсового камня при твердении*

Вид материала	Время твердения, сут.	Предел прочности при сжатии, МПа
Природный гипсовый камень	-	15,5
Искусственный гипсовый камень на основе фосфополугидрата	14	6,6
	30	9,8
	45	14,9

В Государственном предприятии «Институт НИИСМ» проведены исследования влияния искусственного гипсового камня на основе нейтрализованного фосфополугидрата на твердение цемента. Исследования проведены на клинкерах ОАО «Белорусский цементный завод» и ОАО «Кричевцементношифер».

Как уже отмечалось выше, регулирование сроков схватывания портландцемента осуществляется введением при помоле клинкера дигидрата сульфата кальция. В результате химического взаимодействия трехкальциевого гидроалюмината с введенным дигидратом сульфата кальция и водой образуется труднорастворимый гидросульфалоюминат кальция (этtringит) по схеме:



В насыщенном растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  этtringит сначала выделяется в коллоидном тонкодисперсном состоянии, осаждаясь на поверхности частиц  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , замедляет их гидратацию и продлевает схватывание цемента. Таким образом, на некоторое время, пока не израсходуется весь находящийся в растворе дигидрат сульфата кальция (обычно 1...2 ч), предотвращается появление свободного гидроалюмината кальция и преждевременное загустевание цементного теста.

При правильной дозировке дигидрата сульфата кальция он является не только регулятором сроков схватывания портландцемента, но и улучшает свойства цементного камня. Это связано с тем, что кристаллизация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из пересыщенного раствора понижает концентрацию гидроксида кальция в растворе и этtringит уже образуется в виде длинных иглоподобных

кристаллов. Кристаллы этtringита и обуславливают раннюю прочность затвердевшего цемента. Кроме того, объем гидросульфоалюмината кальция более чем в 2 раза превышает объем исходных продуктов реакции. Так как такое увеличение объема происходит в еще не затвердевшем цементном тесте, то оно уплотняется, что способствует повышению прочности и морозостойкости цементного камня [4].

При гидратации цементов, содержащих водорастворимые фосфаты, экранирующие оболочки на цементных зернах складываются как гидросульфоалюминатами, так и фосфатами кальция. Чем больше в цементе  $P_2O_5$  в.р., тем позже наступает разрушение этих оболочек, что и является причиной понижения ранней прочности фосфорсодержащих цементов. Водорастворимые фосфаты способствуют удлинению сроков схватывания и снижению начальной прочности цемента [5-7].

Таблица 2

*Основные физико-механические свойства цементов*

Показатели	Значения показателей для цемента с	
	Природным гипсовым камнем	Искусственным гипсовым камнем
<b>Клинкер ОАО «Белорусский цементный завод»</b>		
Сроки схватывания, ч-мин.		
начало	3-50	4-00
конец	4-50	5-25
Прочность в возрасте 28 сут, МПа		
при сжатии	41,6	41,6
при изгибе	6,4	6,8
<b>Клинкер ОАО «Кричевцементношифер»</b>		
Сроки схватывания, ч-мин		
начало	4-00	4-40
конец	6-10	6-20
Прочность в возрасте 28 сут, МПа		
при сжатии	40,4	40,7
при изгибе	6,5	6,8

Установлено, что динамика твердения цементов с использованием в качестве гипсового компонента искусственного гипсового камня на основе нейтрализованного фосфополугидрата не отличается от таковой для цементов на основе природного гипсового камня как по скорости гидратации основных клинкерных минералов, так и по образованию гидрата оксида кальция и этtringита. Уже с ранних сроков твердения (3 суток) на дифрактограммах цементов отчетливо видны отражения гидросиликатов

кальция:  $C_5S_2H - Ca_5(SiO_4)_2(OH)_2$   $d/n = 3,07; 2,85; 2,80; 2,20; 1,83 \dots A^\circ$ ;  $C-S-H (II) - (1.5-2)CaO \cdot SiO_2 (1-4)H_2O$   $d/n = 3,346; 3,04; 2,91; 2,818; 2,78; 2,20; 2,05; 1,689; 1,537 \dots A^\circ$ ;  $C_2SH - Ca_2SiO_4 \cdot H_2O$  – гиллебрандита  $d/n = 3,34; 2,1; 2,82; 2,77; 2,63; 2,05; 1,92 \dots A^\circ$ . Количество новообразований увеличивается со сроком твердения.

Исследования показывают, что замена природного гипсового камня искусственным гипсовым камнем на основе нейтрализованного фосфополугидрата сульфата кальция при производстве цемента не приводит к потере его марочности. Свойства цемента соответствуют требованиям ТНПА.

### Литература

1. Фосфогипс и его использование. Под.ред. Эвенчика С.Д., Новикова А.А., М: Химия, 1990.

2. Кержнер А.М., Терсин В.А., Трошин М.А. Нартова Е.Е. Производственные и экологические аспекты использования фосфогипса в настоящее время / Материалы конференции «Гипс, его исследование и применение», Красково, 2005 г.

3. Кочеткова Р.Г. Вопросы экологии и ресурсосбережения при использовании в строительстве техногенных грунтов, содержащий фосфополугидрат сульфата кальция. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- №8.- 2003.

4. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущим материалов/Под редакцией Тимашева В.В. – М.: Высш. Школа, 1980. – 472 с.

5. О.М. Станулёнис О.М, Саснаускас К.И., Урбонас Л.В. Использование фосфогипса при производстве цемента // Цемент.- 1987.- №2.- С.18-19.

6. Исследование структуры и свойства фосфогипса Алмалыкского химического завода и его воздействия на процессы гидратации цемента/ И. В. Кравченко, Т. А. Султанходжаев, М. А. Ахмедов и др. // В кн.: Исследование процессов гидратации и твердения специальных цементов. Труды НИИцемента. М., 1980. -С. 91-103.

7. Бекмуратова М. Г., Талипов Н. Х., Атакузиев Т. А. Процессы схватывания и твердения цементов с фосфогипсом и золошлаками с дополнительной добавкой глиежа // Композиц. матер. - 2009. - № 4. - С. 4-



## **ГИПСОКЕРАМЗИТОВЫЕ НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРОБЛЕННОГО КЕРАМЗИТА**

*Долгорев А.В., Иващенко В.Д.  
Архитектурно строительная компания ООО «Торус Стиль»*

Строительная практика традиционно склонна к технологиям устройства наливных полов на основе цементных/полимерцементных вяжущих. В условиях «долгостроя» и дешевого рынка трудовых ресурсов это считается оправданным. Однако в новых условиях хозяйственной деятельности традиционные технологии во многих случаях не удовлетворяют предъявляемым требованиям минимизации сроков подготовки стяжек к укладке напольных покрытий. А всякое новое нуждается в предметном сравнении.

Наливные полы на цементных вяжущих дают значительную усадку при твердении, обусловленную молекулярной структурой цемента. Это обуславливает последующие явления трещинообразования.

Растворные смеси на цементной основе относятся к категории материалов длительного гидравлического твердения. В сухой воздушной среде процесс набора прочности у них прекращается. Как следствие, возникают явления «коррозии» и потери стяжками нормативной прочности, снижается уровень их долговечности.

Растворные смеси на основе модифицированного гипса, наоборот, обладают свойством объемного расширения в процессе начального набора прочности, что обеспечивает им высокую трещиностойкость при заливке в пределах минимально и максимально допустимых толщин.

Низкий коэффициент теплового расширения ровнителers и стяжек на модифицированном сульфате кальция не требует устройства тепловых швов, обязательных для материалов на цементных вяжущих.

Нами разработаны составы для производства наливных полов под названием «Пол Эдем» ТУ 5745-001-96349109-2008.

Легкий ровнитель основания пола изготавливаются на модифицированном сульфате кальция низкой водопотребности с минеральными заполнителями и специальными добавками при механохимической активации их основных компонентов. Эти полы применяется для подъема уровня, выравнивания и корректирования поверхности несущих оснований; в целях укрытия кабельных, трубопроводных, сантехнических и других коммуникаций; в качестве альтернативы сухим засыпкам под динамические нагрузки, механические и вибрационные воздействия для тепло- и шумоизоляции перекрытий.

Смесь на основе дробленого керамзитового гравия и суспензии из нее не выделяют в окружающую среду вредные химические вещества, и относится к первому классу по удельной эффективной активности радионуклидов [1], имеют сертификат соответствия, гигиенический сертификат по радиационному признаку. Благодаря этому полы характеризуются экологической чистотой, биостойкостью, безупадочностью и водостойкостью. Они не требуют устройства тепловых швов, пригодны как для ручного, так и машинного нанесения. При необходимости им можно придавать водоотталкивающую способность.

Коэффициент комфортности таких полов, определяемый по комплексу качественных параметров, составляет 0,86 (у дерева он принят за 1,0).

Используется фракционированный дробленый керамзитовый песок фракции 0-2,0 и пылевидный керамзитовый песок является многотоннажным отходом керамических заводов.

Основные исходные материалы: гипсовое вяжущее, дробленый керамзит до 30%, рассев материала представлен на рис.1 (диаграмма), полицемент, а также молотый керамзит  $1200 \text{ кг/м}^3$  или пылевидный керамзитовый песок.

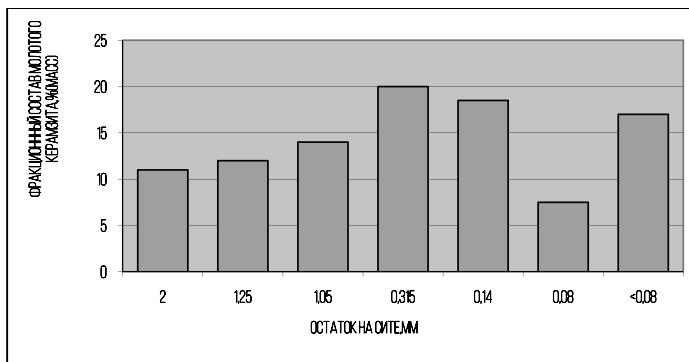


Рис. 1. Результаты отсева дробленого керамзита

В смесителе последовательно смешиваются дробленый керамзит-37,3 - 71,0 с увлажнением его водным раствором лигносульфонатов до влажности массы 8-10%, глюконата натрия- 0,6%, триполифосфата натрия-1,0% стеарата цинка; масса при перемешивании опудривалась негашеной известью-2, 9 - 3,5%. К полученная масса добавлялись при перемешивании следующие компоненты в мас. %: комплексный гиперпластификатор ПМГ-9у - 2,0-5,9; гипсовое вяжущее-12,0- 56,8 (табл.1).

Таблица 1

Компоненты	Составы (по массе %)		
	«Пол-Элит»	«Пол-Эдем»	«Пол-Эгид»
Гипсовое вяжущее Г-6/Г-7	56,8	12,0	24,9
Керамзит молотый	-	-	55,0
Керамзит дробленый	37,3	71,0	-
Известь гашеная	5,0	3,5	2,9
Комплексная добавка ПМГ-9у	3,8	4,0	5,9
Гриполифосфат	-	0,3	0,3
Стеарат цинка	2,4	2,0	1,1
Полицемент	5,0	7,0	9,0
Глюконат натрия	0,6	-	0,3
Лигносульфонат	3,8	4,0	7,2

Смесь на основе дробленого керамзита осуществляется в смесителе-дезинтеграторе измельчением крупных (до 7 мм) компонентов до фракции 0,5 мм, в присутствии инертных наполнителей, а затем в смеситель, куда добавляют воду, комплексные химические добавки и гипсовое вяжущее для получения омоноличивающей суспензии [2].

Характер нарастания механической прочности образцов в динамике исследовали на образцах «Пол-Эгид» ТУ 5745-001-96349109-2008.

При сравнимых прочностных характеристиках на сжатие «Пол Эдем», «Пол Элит» и «Пол Эгид» превосходят свои аналоги на цементных вяжущих по прочности на изгиб. Данное преимущество позволяет использовать их не только по несущим основаниям в качестве контактных, но и «плавающих» полов по разделительным, тепло- и звукоизолирующим слоям при меньшей номинальной толщине, чем их цементно-песчаные и полимерцементные аналоги.

Гладкая поверхность «Пол Элит» и «Пол Эгид» при высокой поверхностной твердости позволяет использовать их в офисных помещениях с мебелью на роликах по ворсовым и эластичным покрытиям, а также под покрытия и клеевые подложки на полимерной основе. Она является безусловно пригодной для укладки тонкослойных и эластичных напольных покрытий.

Объемная плотность и вязкость стяжек «Пол Элит» и «Пол Эгид», а также ровнителя «Пол Эдем» позволяют осуществлять жесткое механическое крепление к ним твердых подложек паркетных покрытий.

«Пол Эдем» и «Пол Элит» имеют более низкую насыпную плотность, чем цементные смеси на кварцевых заполнителях. Даже при равенстве показателей пластичности, подвижности и живучести их фактический расход по массе на 15-20% ниже в пересчете на единицу объема готового основания. Это является немаловажным экономическим преимуществом, а во многих

случаях и при более высокой стоимости расчетной массы, чем цементно-песчаных сухих смесей. Это позволяет снижать нагрузки на перекрытия и другие несущие конструкции зданий, и тем самым - проектную стоимость капитального строительства в целом.

Активная динамика высыхания растворов «Пол Эдем», «Пол Элит» и «Пол Эгид» (до 50 % в течение первых суток) и твердения (до 50 % в течение первых 4-6 часов) позволяет начинать по ним пешеходное движение через 2-3 часа, а рабочее – через сутки. Благодаря этому минимизируются потери времени по всему циклу отделочных работ, включая укладку напольных покрытий.

Коэффициент комфортности оснований на модифицированном сульфате кальция равен 0,86 по международной шкале (у дерева он составляет 1,0). По НРБ-99 они относятся к строительным материалам 1 класса и разрешены к применению во всех видах гражданского строительства (табл.2).

Применение современных высокоэффективных комплексных пластифицирующих добавок и ведение процесса с применением условий конверсии гипса защищает все виды стяжек от образования плесени и грибков.

Таблица 2

*Технические характеристики*

Характеристики / показатели	«Пол Эдем»	«Пол Элит»	«Пол Эгид»
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	950	1050	1225
Масса нетто мешка (15 л), кг	14,2	15,6	18,4
Расход на 1 м <sup>2</sup> толщ.10 мм, кг	15	16,5	19,5
Расход воды затворения, л/кг смеси	0,290	0,180	0,200
Диаметр расплыва раствора станд. консист., мм	-	250	300
Осадка конуса в растворе стандарт.консист., мм	2	-	-
Время живучести раствора, мин.	25	35	45
Время 50% высыхания, час.:			
- суточной готовности	12	12	12
- недельной готовности	24	24	24
Время высыхания до состояния естественной влажности, сут.:			
- суточной готовности	1	1	1
- недельной готовности	8	6	5,5
Время набора 50% прочности, час.:			
- суточной готовности	4	4	4
- недельной готовности	8	4	5

Время полного набора прочности, сут.:			
- суточной готовности	1	1	1
- недельной готовности	4	4	3
Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup> :			
- в мокром состоянии	1915	1520	2050
- в сухом состоянии	1660	1360	1980
Предел прочности, МПа, не менее:			
- при сжатии	1,0	20,0	25,0
- при изгибе	0,5	5,0	6,0
Пешее движение, через час.:			
- суточной готовности	3	3	4
- недельной готовности	3	3	4
Рабочее движение, через сут.:			
- недельной готовности	6	6	8
- недельной готовности	6	6	8
Коэффициент термического расширения, мм/(м°К)	0,015	0,016	0,017
Коэффициент термического сопротивления, м°С/Вт	0,7	0,4	0,26
Теплопроводность, λ, W/м°К	0,13	1,66	1,87
Модуль эластичности, N/мм <sup>2</sup>	14 000	16 000	17 000

### Литература

1. Бессонов И.В., Ялунина О.В. Экологические аспекты применения гипсовых строительных материалов. -2002. № 4 .- С.12-18.
2. Долгорев А.В., Долгорев В.А. Модифицированные гипсовые вяжущие. Новые возможности применения их в строительстве. Минск, Из-во «Ковчег»,- 2016 – 320 с.
3. Долгорев В.А. Конверсия низкомарочного гипсового вяжущего в высокопрочные материалы – инновационное направление повышения качества продукции в строительстве. // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности и применения гипсовых материалов и изделий». Нижний Новгород, 2014. - 89.

## **АТМОСФЕРОСТОЙКОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ**

*Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова*

Важной задачей промышленности строительных материалов является развитие отечественного производства эффективных строительных материалов и изделий, обеспечивающих снижение массы возводимых зданий, экологическую безопасность и комфортность жилья, снижение его стоимости и др. К таким материалам относятся гипсовые материалы и изделия, в частности керамзитобетоны на основе композиционных гипсовых вяжущих [1-7]. Но, к сожалению, в настоящее время данный вид бетонов имеет ограниченное применение в строительстве, не соответствующее их потенциальным возможностям. Одной из причин такого положения является недостаточность проведенных исследований по определению эксплуатационных характеристик гипсобетонов.

В данной статье авторами приводятся результаты исследования атмосферостойкости образцов керамзитобетона на основе композиционных гипсовых вяжущих с многокомпонентной тонкодисперсной минеральной добавкой, включающей отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходы ММС), нанодисперсный порошок кремнезема (НДП), мел и суперпластификатор SikaPlast 2135.

По мнению многих исследователей, долговечность ограждающих конструкций зависит от условий их эксплуатации, а также влажностного состояния и свойств материала, из которого они созданы. Считается, что в результате чередующихся атмосферных воздействий (увлажнения, высушивания, замораживания и оттаивания) структура бетона расшатывается, возрастает трещинообразование, снижается стойкость к агрессивным воздействиям.

Атмосферостойкость образцов керамзитобетона размером 10x10x10см, находящихся на открытом стенде и подвергающихся атмосферным воздействиям, определяли по изменению показателей предела прочности при сжатии. Решающим фактором в обеспечении атмосферостойкости бетонов является их прочность и способность структуры материала воспринимать без разрушения знакопеременные деформации. Результаты исследования стойкости образцов из керамзитобетона на КГВ при их твердении в атмосферных условиях могут дать определенную оценку их долговечности [8-13].

Для определения средней плотности и требуемой прочности керамзитобетона из бетонной смеси изготавливали образцы-кубы размером 10x10x10 см. Пользуясь существующими методиками по подбору состава керамзитобетона, исходя из заданной средней плотности бетона и его структуры, был рассчитан расход КГВ, воды (для требуемой жесткости или подвижности), заполнителей (крупного и мелкого).

В исследованиях применяли КГВ, включающее: гипсовое вяжущее –  $\beta$ -модификации Г-5БП (Г-5) и  $\alpha$ -модификации ГВВС-16 (Г-16), портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ), многокомпонентные тонкодисперсные минеральные добавки (отходы ММС, нанодисперсный порошок кремнезема (НДП) и мел) и суперпластификатор SikaPlast 2135. Состав КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее – 68,05, портландцемент – 15, тонкомолотые отходы ММС – 15, НДП кремнезема – 0,45, мел – 1,5.

При приготовлении бетонных смесей с водой затворения вводили 0,3% суперпластификатора SikaPlast 2135 (от массы КГВ). В качестве заполнителя применяли керамзитовый гравий с маркой по прочности П125, средней насыпной плотностью 460 кг/м<sup>3</sup>, наибольшей крупностью 20 мм.

По результатам испытаний шести образцов-кубов с ребром 10 см, твердевших в атмосферных условиях в течение 4 лет, проводили оценку предела прочности при сжатии и структуры керамзитобетона.

Составы и показатели физико-механических свойств керамзитобетона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели свойств керамзитобетона на КГВ

Класс бетона	Расход материалов, кг / м <sup>3</sup>				В/В	ОК, см	$\rho_{ср}$ , кг/м <sup>3</sup> , в сроки		Rсж, МПа в сроки		K <sub>p</sub>	F, циклы
	КГВ	керам-зит	вода	СП, % от массы КГВ			28 суток	4 года	28 суток	4 года		
B7,5	420	555	290	0,3	0,7	4-6	1135	1175	11	13	0,9	70

Натурные наблюдения и лабораторные исследования подтвердили достаточно высокую долговечность образцов керамзитобетона на КГВ при длительном атмосферном воздействии. Исследованиями установлено, что у образцов, находящихся на открытом стенде 4 года, наблюдается прирост прочности на 18% (с 11 до 13 МПа) с высокими показателями водостойкости 0,9 и морозостойкости F70, что согласуется с результатами исследований других авторов [2].

Высокие показатели физико-механических свойств образцов керамзитобетона свидетельствуют о стабильности сформировавшейся структуры, что подтверждается поэлементным химическим анализом (табл.2), электронной микроскопией (рис 1), проведенными на растровом электронном микроскопе TescanMIRA 3, и результатами РФА (рис.2).

*Таблица 2*  
*Состав продуктов гидратации в точках микрондирования*

Название спектра	Содержание элементов, масс %, в точках микрондирования										
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
Спект 1	6.52	50.94				41.85			0.68		
Спект 2	6.30	40.02		1.17	6.79	13.65	1.43	1.20	4.95	0.72	23.74
Спект 3	6.85	32.65			0.33	2.56	0.92		4.25		52.44
Спект 4	6.20	53.76			0.28	0.86	16.34		22.22		0.35
Спект 5	4.07	52.38						18.05	25.49		
Спект 6	5.54	62.10					14.67		17.69		
Спект 7	5.25	47.45	0.42	1.36	9.47	24.12	0.22	2.14	2.23	0.46	6.87
Спект 8	9.39	51.86				2.41	13.77		22.57		
Спект 9	7.93	50.58		0.82	5.86	15.75	1.83	0.87	7.95	0.71	7.70
Спект 10	12.23	50.30	0.22	0.19	1.91	5.02	0.48	0.35	28.51		0.78
Спект 11	5.73	52.91	0.30	0.77	7.03	25.09	0.91	1.00	3.36	0.23	2.66
Спектр 12	4.38	54.85	0.23	0.45	4.51	32.69		0.94	0.54		1.41
Спектр 13	7.96	53.02	0.20	0.59	3.69	10.06	1.86	0.67	19.88		2.06
Спектр 14	11.25	54.57	0.24		1.33	4.75	0.74	0.32	26.40		0.40
Спектр 15	8.76	51.50	0.46	0.88	9.30	20.09		1.80	2.42		4.79
Спектр 16	12.50	50.71	0.22	0.35	2.73	5.13	0.18	0.42	26.64		1.13
Спектр 17	6.74	58.80				32.74	0.45		0.87		0.40
Спектр 18	6.73	40.84		0.89	4.40	9.93	0.38	0.40	1.38		35.06
Спектр 19	6.91	50.58	0.44	1.16	9.54	18.78	1.42	1.77	4.19	0.23	4.98
Спектр 20	6.84	49.03	0.35	0.99	6.53	17.43	1.08	1.15	11.38	0.33	4.89
Спектр 21	10.74	51.10	0.43	0.88	7.63	20.57	0.21	1.41	2.72	0.30	3.99
Спектр 22	16.95	52.36	0.19	0.17	1.75	3.80	0.28	0.33	23.41		0.76
Спектр 23	9.47	52.91	0.42	1.27	9.68	16.70	0.21	1.54	2.15	0.78	4.85
Спектр 25	10.82	55.47		0.18	0.34	12.25	4.11		16.22		0.62
Спектр 26	5.46	56.28				0.26	16.87		21.12		
Спектр 27	4.40	52.38				0.20	18.81		24.21		
Спектр 28	7.14	52.63		0.52	2.69	32.45		0.44	1.57		2.56
Спектр 29	3.31	48.19		1.64	11.45	25.63		2.94	1.19		5.65
Спектр 30	10.57	48.88				7.74	12.43		20.37		
Спектр 32	14.53	56.02				6.79	3.66		19.00		

Было установлено, что исследуемый образец характеризуется мелкокристаллической структурой новообразований разной морфологии и размеров, которые, судя по данным микроанализа, предположительно относятся к двуводному гипсу (спектр 27), к гидросиликатам кальция, гидроалюмосиликатам и гидроалюмоферритам кальция (спектры 28, 29), с упрочненными связями между кристаллами (табл. 2, рис. 1-г).



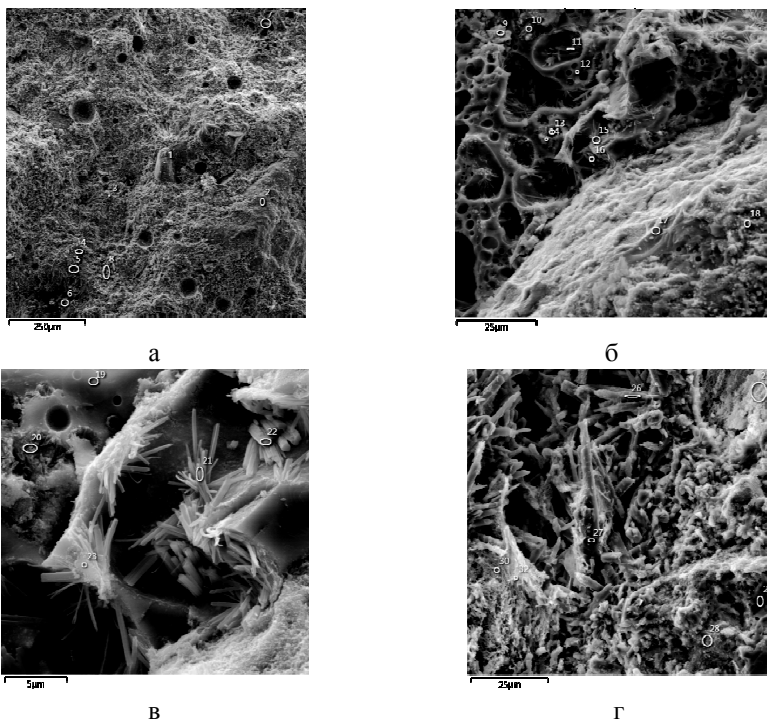


Рисунок. 1. Микроструктура образца керамзитобетона на КГВ, подвергшегося атмосферным воздействиям на открытом стенде в течение 4 лет: а) спектры 1-8; б) спектры 9-18; в) спектры 19-23; г) спектры 25-32.

Наблюдаются участки с более плотной структурой и отдельные блоки из прямых параллельных слоев. На поверхности зерна заполнителя (керамзита) виден слой продуктов гидратации КГВ, что характеризует хорошее сцепление с ним затвердевшей матрицы (рис. 1-б).

На рисунке 1-в видны кристаллы гипса (спектры 21, 23) и поры заполнителя (спектр 20), зарастающие, предположительно, гидросиликатами кальция и другими новообразованиями (спектр 22).

При рассмотрении рентгенограммы (рис. 2) было выявлено, что основным цементирующими веществами исследуемой пробы являются:

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $d=7,62; 4,29; 3,81; 3,073; 2,877; 1,880 \text{ \AA}$ );

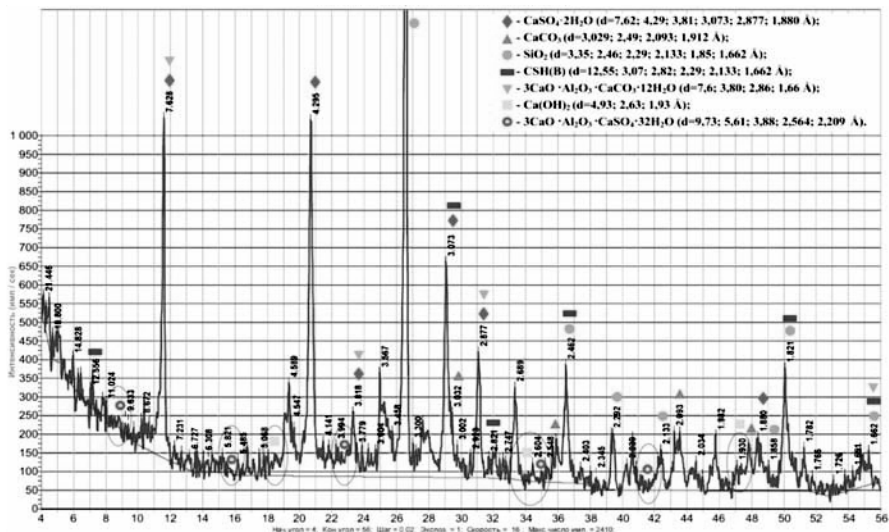
$\text{CaCO}_3$  ( $d=3,029; 2,49; 2,277; 2,093; 1,912; 1,869; \text{ \AA}$ );

$\text{SiO}_2$  ( $d=3,35; 2,55; 2,46; 2,29; 2,133; 1,85; 1,813; 1,662 \text{ \AA}$ );

$\text{CSH(B)}$  ( $d=12,55; 3,07; 2,82; 1,83; 3,35; 2,46; 2,29; 2,133; 1,813; 1,662 \text{ \AA}$ );

Пики ( $d=7,6; 3,80; 2,86; 1,66 \text{ \AA}$ ), возможно, принадлежат четырехкальциевому монокарбонатному гидроалюминату ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), образующемуся при гидратации  $\text{C}_3\text{A}$  с добавкой  $\text{CaCO}_3$ .

Пики этtringита ( $d=9,73; 5,61; 3,88; 2,564; 2,209 \text{ \AA}$ ) и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ( $d=4,93; 2,63; 1,93; \text{ \AA}$ ) на рентгенограмме не обнаружены, имеются лишь их следы, что свидетельствует о наличии достаточного количества активных минеральных добавок в составе КГВ, содержащих кремнезем в химически активной форме и интенсивно связывающих  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в гидросиликаты кальция типа  $\text{CSH}(\text{B})$  и другие комплексные малорастворимые соединения, обеспечивающие прочность и водостойкость композита.



*Рисунок 2. РФА затвердевшего КГВ из образца керамзитобетона, подвергшегося атмосферным воздействиям на открытом стенде в течение 4 лет*

Таким образом, длительные натурные наблюдения и исследования показали, что образцы керамзитобетона на основе КГВ, подвергающиеся атмосферным воздействиям в течение 4 лет, показали удовлетворительную эксплуатационную стойкость. Прочность бетона не снижается.

*\*Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им В.Г. Шухова на 2017-2021 годы*

## Литература

1. Гипс в малоэтажном строительстве / Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 240 с.

2. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / под общ.ред. проф., д-ра техн. наук А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 485 с.

3. Мирсаев, Р.Н. Опыт производства и эксплуатации гипсовых стеновых изделий / Р.Н. Мирсаев, В.В. Бабков, И.В. Недосека, Т.В. Печенкина // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 78 – 80.

4. Коровяков, В.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве / В.Ф. Коровяков, А.Ф. Бурьянов // Жилищное строительство. – 2015. – № 12. – С. 38– 40.

5. Гипсовые материалы и изделия нового поколения. Оценка энергоэффективности / Ю.А. Гончаров, Г.Г. Дубровина, А.Г. Губская, А.Ф. Бурьянов. – Минск: Колоград, 2016. – 336 с.

6. Гордина, А.Ф. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры / А.Ф. Гордина, Г.И. Яковлев, И.С. Полянских [и др.] // Строительные материалы. – 2016. – № 1-2. – С. 90 – 95.

7. Бабков, В.В. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсокерамзитобетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе / В.В. Бабков, В.М. Латыпов, Л.Н. Ломакина, Р.И. Шигапов // Строительные материалы. – 2012. – № 7. – С. 4 – 7.

8. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд. АСВ, 2006. 526 с.

9. Потапов, В.В. Осаждение кремнезема из гидротермального теплоносителя электрокоагуляцией / В.В. Потапов, А.А. Сердан // Химическая технология. – 2002.– № 9. – С. 2– 9.

10. Дребезгова, М.Ю. Особенности микростроения затвердевшего КГВ с многоком-понентными минеральными добавками / М.Ю. Дребезгова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №12. – С.136 – 140.

11. Lesovik V.S., Tschernyschova N.W., Drebzova M.Y. Нанодисперсное кремнезёмсодержащее сырьё для повышения эффективности быстротвердеющих композиционных вяжущих (Nanodisperse kiesel säure haltige Rohstoffe zur Verbesserung der Effizienz schneller härten der Bindemittel mischungen) // 2. Weimar Gypsum Conference – Weimar, 26 – 27 März, 2014. P. 259 – 266.

12. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья: монография. г. Белгород: Изд. БГТУ, 2015. 321 с.

13. Дребезгова, М.Ю. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса / М.Ю. Дребезгова, Н.В. Чернышева, С.В. Шаталова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №10. – С.27 – 34.

# КОМПОЗИЦИОННЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ПОВЫШЕННОЙ ВОДОСТОЙКОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ

*Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова*

Композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) достаточно глубоко изучены и нашли свое место в строительной индустрии [1-12]. В ранее выполненных исследованиях были разработаны теоретические основы создания композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) с использованием в качестве кремнеземсодержащих компонентов смеси активного и малоактивного кремнезема, например, кислых силикатов – зол ТЭС, доменных шлаков и др. В то же время имеется различное техногенное сырье, содержащее кремнезем в различной форме, и другие примеси. Отсутствие исследований пригодности такого сырья для гипсовых композиционных материалов является тормозом в расширении их применения в строительстве. Решение данной проблемы возможно путем использования новых видов сырьевых ресурсов, а именно: отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходов ММС), нанодispersного порошка кремнезема (НДП) и мела, в качестве многокомпонентных тонкодисперсных минеральных добавок в составах КГВ.

В БГТУ им. В.Г. Шухова выполнены исследования влияния многокомпонентных минеральных добавок на основные физико-механические свойства КГВ.

Для получения КГВ применялась рационально подобранная смесь гипсовых вяжущих Г-5БШ (Г-5) и ГВВС-16 (Г-16), портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, тонкодисперсные минеральные добавки из новых видов сырьевых ресурсов: тонкомолотые отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов полиминерального состава с содержанием кварца различной степени кристалличности (отходов ММС); уникальный по своим свойствам нанодispersный порошок кремнезема (НДП) удельной поверхностью  $156000 \text{ м}^2/\text{кг}$ , средним диаметром частиц от 5 до 100 нм, средней насыпной плотностью  $30 \text{ кг}/\text{м}^3$ , полученный из природных гидротермальных источников Камчатки; тонкодисперсный мел.

Оптимизацию состава и структуры КГВ осуществляли поэтапно. Первоначально отходы ММС мололи в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  совместно с мелом, а затем кратковременно домалывали совместно с портландцементом для получения гидравлического модификатора вяжущего (ГМ), который затем смешивали с гипсовым вяжущим, включающим смесь  $\beta$ - и  $\alpha$ -модификации гипса. НДП вводили в состав КГВ с водой затворения. Для равномерного распределения его частиц применяли лабораторный ультразвуковой смеситель.

Анализ показал, что: дополнительное введение в состав вяжущего рационального количества НДП кремнезема (0,45% от массы КГВ) обеспечивает оптимальные условия его твердения при снижении концентрации СаО в растворе (в соответствии с ТУ на ГЦПВ 21-31-62-89) до требуемых пределов (табл. 1).

Таблица 1

Изменение концентрации СаО в водной суспензии КГВ

№ п/п	Материалы, г				Концентрации СаО в р-ре, г/л, через:	
	Гипс	ПЦ	Отходы ММС	НДП	5 суток	7 суток
1	4	2,5	1,25	-	1,149	1,031
2	4	2,5	2,5	-	1,113	0,865
3	4	2,5	2,5	0,075	1,088	0,847
4	4	2,5	2,5	0,123	1,083	0,834

Это способствует стабильности КГВ, ускорению начальной стадии твердения, повышению активности в 2...3 раза и прочности затвердевших образцов в 28 суточном возрасте в 1,6 раз; повышению водостойкости (рис. 1-а, табл. 2). Введение мела (1,5% от массы КГВ), имеющего пористую микроструктуру и пространственное строение частиц с множеством активных центров в зоне разлома способствует уплотнению твердеющей матрицы и повышению прочности КГВ в ранние сроки твердения на 15...20% (рис. 1-б).

Гетерозернистость системы также оказывает положительное влияние на структурообразование, создавая более плотную упаковку частиц вяжущего. Все это позволило получить высокие характеристики КГВ (табл.3)

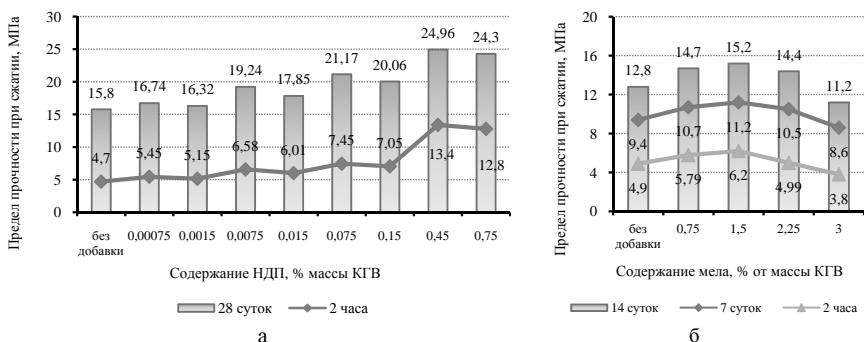


Рисунок 1. Изменение прочности КГВ от содержания НДП (а) и мела (б)

Достигнутый уровень физико-механических показателей полученного КГВ соответствует требованиям к вяжущим, применяемым для производства строительных материалов, изделий и конструкций: коэффициент водостойкости составляет 0,82...0,89 со значениями предела прочности при сжатии в 28 суточном возрасте до 26 МПа.

Таблица 2

## Составы и основные свойства гипсовых вяжущих и КГВ

№ п/п	Состав гипсовых вяжущих и КГВ на их основе, % по массе:						В/Вяз	Распльв, м	Сроки схватывания мин, с		Прочность на сжатие, МПа, в сроки			Кр	F, циклы
	ГВ		ПЦ	ММС	НДП	Мел			начало	конец	2 ч	7 сут	28 сут		
	Г-5	Г-16													
1	100	-	-	-	-	-	0,5	0,180	6-30	10-30	5,9	-	-	0,34	-
2	70	-	15	15	-	-	0,5	0,175	6-30	9-00	5,4	6,5	16,4	0,76	45
3	68,05	-	15	15	0,45	1,5	0,5	0,110	4-00	4-30	6,3	7,1	17,2	0,78	-
4	61,25	6,80					0,5	0,115	4-15	4-55	7,3	8,0	18,6	0,82	-
5	47,64	20,41					0,46	0,115	5-45	6-15	7,7	9,0	26,0	0,89	60
6							0,5	0,145	6-20	6-50	7,5	8,4	21,6	0,87	55
7	34,02	34,02					0,55	0,200	7-30	8-00	5,2	6,8	14,2	0,85	50
8							0,5	0,190	7-00	7-30	6,8	7,3	17,1	0,82	-

Подтверждением реакционной способности применяемых минеральных добавок являются термокинетические исследования. Было установлено, что при введении НДП и мела в состав КГВ увеличивается значение скорости экзoeffекта за счет их активирующего действия. При этом характер скорости тепловыделения не меняется: значение скорости тепловыделения у НДП кремнезема (67,31 Дж/г·ч) в 10 раз выше, по сравнению со скоростью тепловыделения отходов ММС (6,27 Дж/г·ч) и в 23 раза выше, по сравнению с мелом (2,96 Дж/г·ч) (табл.3).

Таблица 3

## Характеристики термокинетических показателей

№ п/п	Компоненты КГВ	Начало реакции, с	Экзoeffект			Тепловыделение макс. за 72 ч, дж/г
			Момент достижения	Величина максимума Дж/г·ч	Тепловыделение, Дж/г	
1	Отходы ММС	22	1 мин 12 с	6,27	0,08	16,36
2	НДП	32	2 мин 04 с	67,31	1,38	11,82
3	Мел	22	32 с	2,96	0,01	0,03
4	Г-5	22	3 мин 13 с	23,87	0,98	84,92
			50 мин 16 с	98,47	53,1	
5	Г-16	22	51 мин 28 с	98,37	61,84	91,91
6	Г-5+Г-16	22	2 мин 47 с	37,35	1,23	89,27
			48 мин 48 с	98,37	59,5	
7	ПЦ	12	5 мин 29 с	64,81	3,31	286,22
			16 ч 41 мин	11,12	133,61	
8	КГВ <sub>исх</sub>	22	26 мин 46 с	100,06	38,05	96,16
9	КГВ*+НДП+мел	22	25 мин 56 с	105,11	38,94	94,92

Максимальное значение тепловыделения за 72 ч испытаний - у отходов ММС, что можно объяснить их длительной реакционной активностью, обусловленной микротрещиноватостью и дефектами кристаллической структуры.

Максимальная скорость тепловыделения смеси гипсовых вяжущих Г-5 + Г-16 наступает раньше, чем у каждого компонента в отдельности, что отражает факт ее более высокой реакционной способности. При введении НДП и мела в состав разработанного КГВ увеличивается значение скорости экзоэффекта за счет их активирующего действия. При этом характер скорости тепловыделения не меняется.

Результатами рентгенофазового (рис.2) и микроструктурного анализов (рис.3) было установлено оптимальное микростроение и стабильность сформировавшихся структур новообразований разной морфологии и размеров, в которых в возрасте 28 суток нет портландита и полностью отсутствует этрингит ( $d=9,7; 5,6; 4,92... \text{\AA}$ ), что связано с протеканием пуццолановой реакции с аморфной фазой  $\text{SiO}_2$  в составе НДП и отходов ММС. Это обеспечивает более быстрый набор прочности КГВ в начальный период твердения и в 28 суточном возрасте.

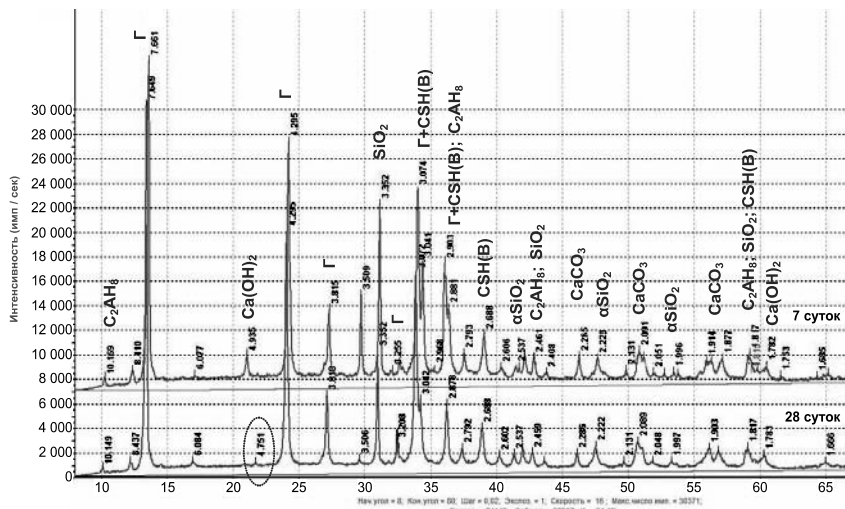
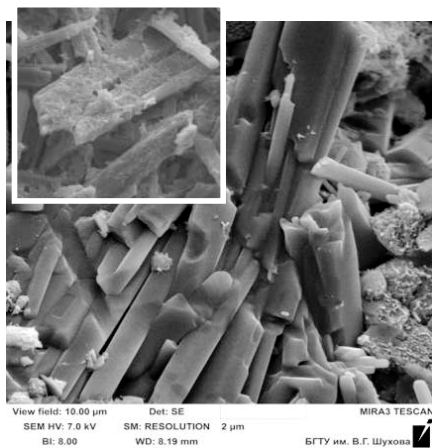


Рисунок 2. РФА затвердевшего КГВ с минеральными добавками (отходы ММС+ НДП + мел) с Г-5 (70 %) + Г-16 (30 %)

Таким образом было установлено, что на начальной стадии твердения происходит гидратация гипсовых вяжущих, кристаллизация дивудного гипса, его схватывание, что обеспечивает быстрый набор прочности. Параллельно, в уже сформировавшейся структуре дивудного гипса, в результате гид-

ратации клинкерных минералов, в общей гелеобразной массе осаждаются низкоосновные гидросиликаты кальция разной морфологии и размеров и гидроалюминаты кальция, которые самоуплотняют систему на первых стадиях структурообразования.

В создавшейся системе в результате химического взаимодействия портландита, выделяющийся при гидратации портландцемента, с активными аморфными частицами НДП кремнезема и халцедоновой разновидностью кварца отходов ММС, формируются новообразования второй генерации гидросиликатов кальция. Поры зарастают их мелкими кристаллами, создавая уплотненную сетчатую оболочку вокруг кристаллов гипса (рис. 3), что обеспечивает конечную прочность и водостойкость материала. А наиболее устойчивые разновидности динамо-метаморфизованного и контактно-метаморфизованного кварца отходов ММС и тонкодисперсные частицы мела выполняют роль центров кристаллизации и микронаполнителей матрицы, что уменьшает процесс трещинообразования и улучшает другие характеристики композита.



*Рисунок 3. Микроструктура модифицированной матрицы КГВ*

энергизма его компонентов, каждый из которых на определенной стадии твердения вносит свой вклад в процесс структурообразования более устойчивых конечных продуктов взаимодействия – кристаллогидратных образований.

Подобный механизм гидратации КГВ минимизирует внутренние напряжения и объемные деформации, в связи с чем уменьшается количество микротрещин, что приводит к повышению эффективности синтезируемого КГВ по сравнению с традиционно применяемым гипсо-вым вяжущим и отличающегося от традиционного портландцемента – быстрым набором прочности.

Таким образом, в результате выполненных исследований было разработано водостойкое и морозостойкое КГВ за счет проявления синергизма его компонентов,

*\*Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им В.Г. Шухова на 2017-2021 годы*



## Литература

1. Гипс в малоэтажном строительстве / Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 240 с.
2. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / под общ. ред. проф., д-ра техн. наук А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 485 с.
3. Коровяков, В.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве / В.Ф. Коровяков, А.Ф. Бурьянов // Жилищное строительство. – 2015. – № 12. – С. 38– 40.
4. Гипсовые материалы и изделия нового поколения. Оценка энергоэффективности / Ю.А. Гончаров, Г.Г. Дубровина, А.Г. Губская, А.Ф. Бурьянов. – Минск: Колоград, 2016. – 336 с.
5. Гордина, А.Ф. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры / А.Ф. Гордина, Г.И. Яковлев, И.С. Полянских [и др.] // Строительные материалы. – 2016. – № 1-2. – С. 90 – 95.
6. Лесовик, В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. – М.: Изд. АСВ, 2006. – 526 с.
7. Дребезгова, М.Ю. Особенности микростроения затвердевшего КГВ с многокомпонентными минеральными добавками / М.Ю. Дребезгова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №12. – С.136 – 140.
8. Дребезгова, М.Ю. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса / М.Ю. Дребезгова, Н.В. Чернышева, С.В. Шаталова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №10. – С.27 – 34.
9. Дребезгова, М.Ю. К вопросу кинетики тепловыделения при гидратации гипсовых вяжущих (Часть I) / М.Ю. Дребезгова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №3. – С.19 – 23.
10. Дребезгова, М.Ю. Кинетика тепловыделения при гидратации композиционных гипсовых вяжущих (часть 2) / М.Ю. Дребезгова, Н.В. Чернышева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – №4. – С. 6 – 9.
11. Ушеров-Маршак, А.В. Калориметрия цемента и бетона: избранные труды.– Харьков Факт, 2002.– 183 с.
12. Лесовик, В.С. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов / В.С. Лесовик, В.В. Потапов, Н.И. Алфимова, О.В. Ивашова // Строительные материалы. – 2011. – №12. – С. 60 – 62.

## **ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

*Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловская В.Б.  
Тверской государственной технической университет*

Развитие промышленности все больше ведет к отказу от природных материалов в пользу более доступных и низких по стоимости синтетических. Они набирают все большую популярность ввиду своей доступности, но это, в свою очередь, отрицательно сказывается на здоровье человека. Многие полимерные строительные материалы вызывают целый ряд хронических заболеваний. Например, содержание формальдегида в смоле, которая используется для изготовления многих отделочных материалов, таких как ДСП, ДВП, шпатлевки, способно вызывать различные кожные заболевания, а также болезни глаз и органов дыхания.

Альтернативой синтетическим отделочным материалам могут служить минеральные экологически безопасные материалы на основе гипсовых, цементных, глиняных, известковых вяжущих, а также керамические материалы.

Гипсовые материалы, в виде гипсовых 3d панелей, строительных смесей также позволяет реализовывать разнообразные дизайнерские решения, касающиеся отделки стен и потолков, что делает их конкурентоспособными на рынке современных строительных материалов. Производство гипсовых вяжущих энергоэффективно, поскольку не требует высокой температуры при обжиге, а, значит – гипсовые материалы безопасны не только на стадии готового изделия, но и в процессе их производства [1].

По технологии, при изготовлении гипсовых панелей имеется возможность вовлекать в производство отходы других отраслей промышленности [8, 9]. Например, в качестве армирующего компонента может использоваться базальтовая пыль (отход производства базальтового волокна), не утилизируемая на данный момент в реальное производство.

Применение базальтовой пыли в качестве модификаторов в составе гипсовых изделий позволяет улучшить структуру и свойства гипсового камня [2-8]. Поэтому испытания в этой области необходимы для определения оптимального состава сырьевой смеси для получения гипсовых облицовочных панелей с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками [10].

Применение базальтовой пыли помимо повышения прочностных характеристик позволяет снизить стоимость изделий, так как она является отходом от производства базальтовых волокон. При этом пылевидные частицы обладают теми же качествами, что и сами волокна – огнестойкостью, высокой термостойкостью, паропроницаемостью [9].

В работе исследована возможность получения гипсового состава для производства 3d панелей путем введения добавки Melflux в состав смеси, содержащей 10 % базальтовой пыли в качестве армирующего компонента.

В качестве исходного материала в работе применялось гипсовое вяжущее марки Г-16 производства Самарского гипсового комбината. В качестве армирующей добавки использовался отход производства базальтового волокна (базальтовая пыль) предприятия «Парок» Тверской области. В качестве пластифицирующей добавки использовался гиперпластификатор Melflux 1461f производства BASF Constraction Polymers (Trostberg, Германия).

Для исследования свойств искусственного гипсового камня, получаемого на основе полуводного высокопрочного гипса, базальтовой пыли и гиперпластификатора, проводился двухфакторный эксперимент. В качестве варьируемых параметров были приняты водотвердое отношение, варьируемое от 0,33 до 0,37, и процентное содержание пластификатора от 0 до 0,2 %.

В результате проведенного эксперимента были получены уравнения, описывающие совместное влияние входных параметров на показатели:

Предел прочности при сжатии гипсовых образцов:

$$Y_1(R_{сж.}) = f(X_1, X_2) 26,343 - 1,42X_1 - 6,129X_2 - 2,442X_1^2 + 0,358X_2^2 + 0,775X_1X_2,$$

где  $Y_1$ - предел прочности при сжатии на 7 сутки твердения, МПа,

Плотность гипсовых образцов:

$$Y_2 = f(X_1, X_2) 1529,458 - 26,085X_1 - 1,887X_2 - 2,992X_1^2 - 11,442X_2^2 - 8,325X_1X_2,$$

где  $Y_2$  - средняя плотность, кг/м<sup>3</sup>,

Пористость гипсовых образцов:

$$Y_3 = f(X_1, X_2) 30,479 + 1,186X_1 + 0,086X_2 + 0,436X_1^2 + 0,82X_2^2 + 0,376X_1X_2,$$

где  $Y_3$ - общая пористость, %.

На основании расчетов были построены зависимости прочности, плотности и пористости материала от совместного влияния следующих факторов: содержания пластификатора и водотвердого отношения, представленные на рис. 1, 2, 3.

Установлено, что прочность образцов в возрасте 7 суток при всех значениях водотвердого отношения повышается при содержании добавки от 0 до 0,075, как показано на рис. 1, при дальнейшем увеличении содержания пластификатора гипсовые образцы снижают свою прочность ввиду уже излишнего воздействия пластификатора на процесс твердения смеси. Максимальная прочность достигается при содержании добавки от 0,05 до 0,075 %, однако повышение прочности недостаточно. На прочность образцов в данном диапазоне водосодержания влияет в большей степени водотвердое

отношение, а не содержание пластификатора. По-видимому, снижение количества воды затворения в составе смеси позволило бы в большей степени проявиться пластифицирующему воздействию.

Максимальная прочность, равная 33,3 МПа достигается при водотвердом отношении равном 0,33, а минимальная, равная 17,5 МПа - при водотвердом 0,37.

Таблица

Пределы варьирования факторов

№	Матрица		Пределы варьирования факторов	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	В/Т	Содержание пластификатора
1	-	-	0,33	0
2	+	-	0,37	0
3	-	+	0,33	0,2
4	+	+	0,37	0,2
5	-	0	0,33	0,1
6	+	0	0,37	0,1
7	0	-	0,35	0
8	0	+	0,35	0,2
9	0	0	0,35	0,1

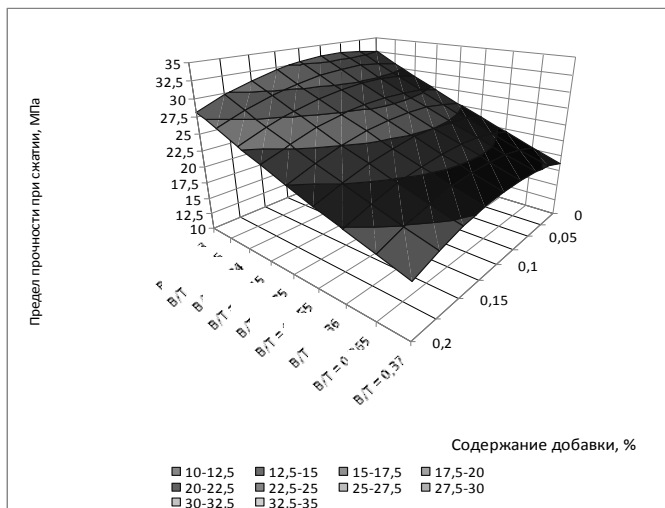
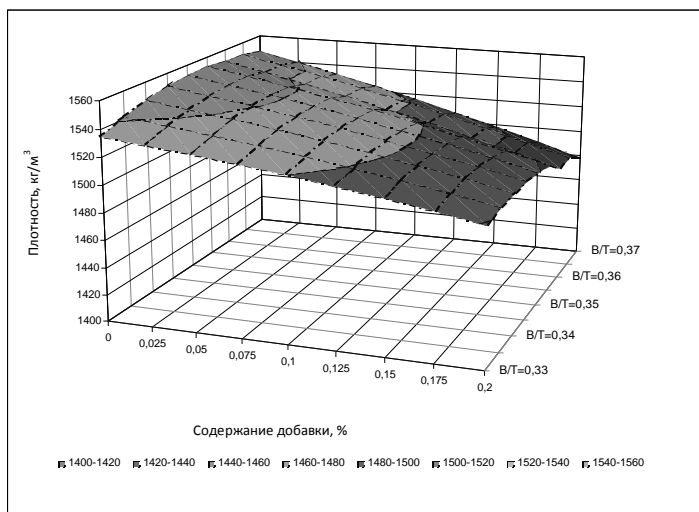
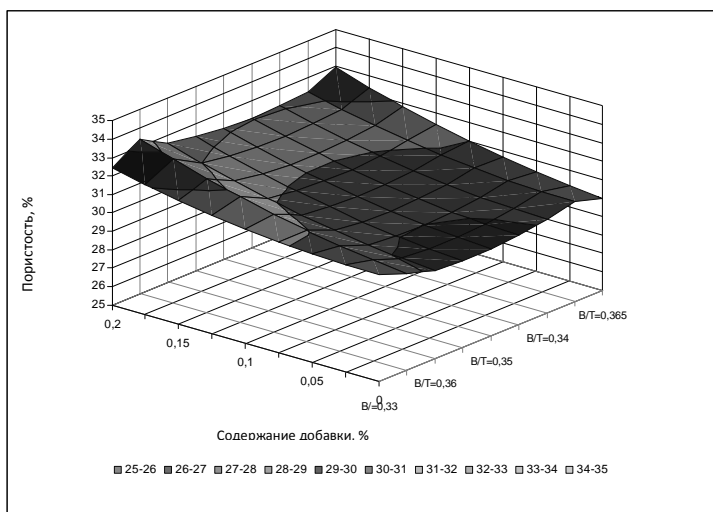


Рисунок 1. Зависимость прочности гипсового композита от содержания гиперпластификатора Melflux 1461f



*Рисунок 2. Зависимость плотности гипсового композита от содержания гиперпластификатора Melflux 1461f*



*Рисунок 3. Зависимость пористости гипсового композита от содержания гиперпластификатора Melflux 1461f*

Плотность образцов при увеличении содержания пластификатора незначительно уменьшается, а пористость возрастает, что также обусловлено излишним пластифицирующим эффектом (рис. 2, 3).

Введение пластификатора практически не влияет на плотность и пористость материала, в отличие от водотвердого отношения, влияние которого можно объяснить образованием пор при испарении излишней воды, что сказывается на плотности образцов. Минимальная плотность была получена при водотвердом отношении, равном 0,37, а максимальная при 0,33.

Таким образом, по результатам проведенных опытов, можно сделать вывод, что введение гиперпластификатора Melflux при использовании его в модифицированных гипсовых композитах не дает значительного эффекта в исследованном диапазоне водосодержания. Необходимо, по-видимому, продолжить исследования свойств модифицированных композитов с добавкой пылевидных отходов базальтового волокна в области пониженного водосодержания, что в свою очередь может позволить более эффективно проявиться действию гиперпластификатора и привести к снижению пористости и повышению прочности гипсового материала.

### Литература

1. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храпцов Н.В. Строительные материалы. М.: АСВ. 2014. 272 с.
2. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б. Малоэнергоёмкие гипсовые строительные композиты: монография. Тверь. ТвГТУ. 2014. 136 с.
3. Бурьянов, А.Ф. Эффективные гипсовые материалы для устройства межкомнатных перегородок // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 30-33.
4. Петропавловская В. Б. Самоармированные гипсовые композиты / В. Б. Петропавловская, Т. Б. Новиченкова, А. Ф. Бурьянов, К.С. Петропавловский, Х.Б. Фишер // Строительные материалы. 2014. №7. С. 19-21.
5. Петропавловская, В. Б. Модифицированные гипсовые безобжиговые композиты / В. Б. Петропавловская, Т. Б. Новиченкова, А.Ф. Бурьянов, Ю. Ю. Полеонова // Строительные материалы. 2013. №5. С.76-80
6. Завадская Л.В. Влияние дисперсных минеральных добавок на структуру и прочность гипсового камня / Л.В. Завадская, Г.И. Бердов, Я.С. Агалакова, Е.А. Шишмакова // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2013. № 10 (658). С. 18-22.
7. Бердов, Г.И. Изменение структуры и свойств гипсовых смесей при введении кальцийсодержащих природных соединений / Г.И. Бердов, Е.В. Парикова, В.Ф. Хританков // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2006. № 8. С. 26-28.

8. Рязанов, Р. Р. Дисперсно-армированные строительные композиционные материалы на основе гипсового вяжущего / Р. Р. Рязанов, Р. Х. Мухаметрахимов, В. С. Изотов // Известия КГАСУ. 2011. №3 (17). С. 145-149.

9. Завадская, Л. В. Упрочнение гипсового камня с введением дисперсных минеральных добавок / Л. В. Завадская, Г. И. Бердов, Я. С. Агалакова и др. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. №8 (656). С. 47-50.

10. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. К вопросу упрочнения гипсовых изделий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 1 (192). С. 15-17.

## ТЕКУЩАЯ СТРУКТУРА И ТЕНДЕНЦИИ НА РЫНКЕ ИНДУСТРИАЛЬНОГО БУМАЖНОГО МЕШКА

*Козлов А.Ю.*  
*ООО «УК «Сеgezha Групп»*

Segezha Group - динамично развивающийся российский лесопромышленный холдинг с вертикально интегрированной структурой и полным циклом лесозаготовки и глубокой переработки древесины. В состав Группы входят российские и европейские предприятия-производители высококачественной небеленой мешочной бумаги, бумажных мешков, березовой фанеры, пиломатериалов и домов из клееного бруса. Производственные активы и представительства Segezha Group расположены в 11 странах мира и 6 регионах РФ.

Segezha Group является лидером российского рынка по производству бумажной упаковки для тарированного цемента, сухих строительных смесей, продуктов химической промышленности, пищевой индустрии, производство бумажных сумок и пакетов для предприятий розничной торговли

В 2018 г. емкость российского рынка мешков составит 762 млн шт., (-0,7%) к 2017 г. В 2017 г. основные драйверы спроса мешков с долей потребления 85% показали отрицательную динамику по производству - цемент (-1%), строительство (-1.6%), в 2018 году, несмотря на прирост темпов строительства и производства цемента, тенденция сохранится.

До 2021 г. CAGR потребления мешков бумажных в России составит ~1%



Основной прирост потребления в прогнозном периоде обеспечат производители сухих строительных смесей. Потребление мешка



предприятиями покажет незначительное восстановление объёмов потребления, связанное прежде всего с борьбой производителей с производителями контрафакта и фасовщиками.

На сегодняшний день на рынке сухих строительных смесей наблюдается расширение номенклатуры предлагаемой фасовки. Особенно это заметно на примере сетей DIY.

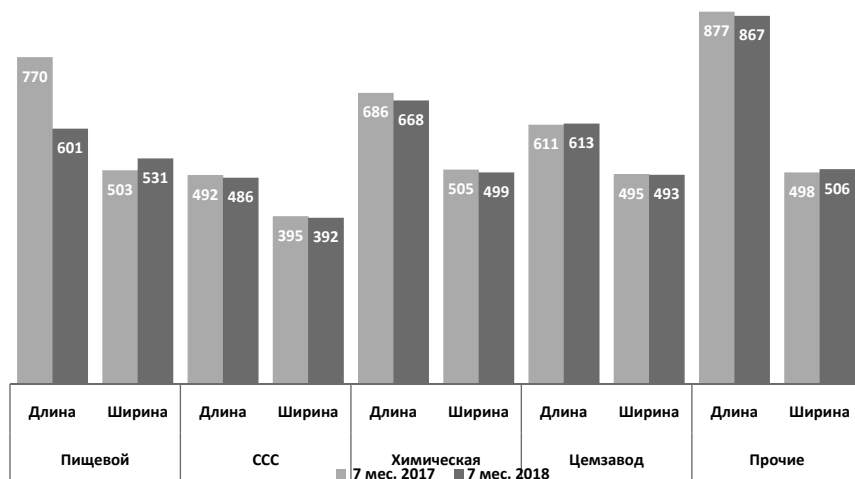
При этом стоит отметить, что текущие форматы упаковки устоялись на рынке, но специфика рынка такова, что чем больше у потребителя выбор фасовочных решений (напр. 10кг, 20кг, 25кг вместо только 20кг), увеличиваются продажи в натуральном выражении.



Рядом производителей отмечается тенденция к постепенному увеличению спроса на более мелкую фасовку. Основным драйвером при этом также выступает сегмент DIY, расширяющий таким образом предлагаемую номенклатуру



## Средние размеры мешка в 2017-2018 гг., мм



На примере графика выше видно постепенное сокращение размеров мешка и переход от «прямоугольного» к «квадратному» формату.

Другим растущим трендом на рынке является переход производителей на бурый крафтовый мешок. Сегежа групп и Евроцемент уже успешно сотрудничают по проекту перехода на экологичный бурый мешок, который не только оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, но и дешевле. Представители DIYсетей в свою очередь отмечают растущий спрос на продукцию отделочных материалов и сухих строительных смесей эконом сегмента, в котором, более дешевый по сравнению с белым, бурый мешок позволяет удерживать ценовую планку на приемлемом уровне.

Вместе с этим покупатель начинает проявлять интерес к упаковке с улучшенными потребительскими свойствами, к которым можно отнести:

- Барьерные свойства
- Экологичность
- Удобство транспортировки (упаковка с ручками)
- Широкая номенклатура розничной упаковки

Уже сегодня данная тенденция наблюдается среди производителей угля и ряда европейских производителей цемента и ССС



Стоит отметить, что на рынках ЕС наблюдается переход на мелкую фасовку ССС и цемента в открытые мешки. Данный мешок в купе с ручками (на примере угля) будет идеально соответствовать существующим потребительским ожиданиям.

## **ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГИПСА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ И ПЕРЕРАБОТКА ЕГО НА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ**

*Комаров М.А., Кузьменков М.И., Короб Н.Г., Кузьменков Д.М.  
Белорусский государственный технологический университет*

Эффективность использования гипсовых материалов и изделий доказана на практике широким их применением в различных странах мира. По химическому составу гипс не токсичен; получаемые из его вяжущие не являются аллергенами и не вызывают заболевание силикозом, а производимые на их основе строительные материалы имеют высокие показатели свойств. В России в настоящее время доля гипсовых вяжущих составляет не более 5% в общем балансе минеральных вяжущих, а в Беларуси этот показатель ещё ниже – менее одного процента.

Номенклатура производимых гипсовых вяжущих в СНГ и в Беларуси весьма бедная – строительный гипс около 95 %, высокопрочный гипс около 5 %, доля ангидритового вяжущего незначительна, а многофазные (полиминеральные) вообще не производятся, хотя их количество во многих странах неуклонно растёт, достигнув в настоящее время около 30 %.

Ввиду отсутствия в нашей республике необходимого объема выпуска гипсовых вяжущих потребность в строительных материалах из них покрывается за счет импорта, что напрямую связано с состоянием сырьевой базы в Республике Беларусь, а именно отсутствием запасов природного гипса.

Все виды гипсовых вяжущих (строительного, высокопрочного, полиминерального и ангидритового) в мировой практике получают в основном из следующих гипсосодержащих материалов – природного гипса, техногенных продуктов (сульфогипса, фосфогипса, борогипса, титаногипса, цитрогипса и др.)

Потребность Беларуси в гипсовом сырье удовлетворяется исключительно за счет импорта гипсового камня из Украины, Молдовы и России. В связи с вышеизложенным, а также ввиду экономической привлекательности использования гипсовых материалов и изделий актуальной задачей явилось получение синтетического гипса и последующая его переработка на гипсовые вяжущие.

В технологическом цикле производства жаростойкого волокна «Арселон» на ОАО «СветлогорскХимволокно» ежегоднов пересчете на 100 % образуется около 7000 тонн разбавленной отработанной серной кислоты. До настоящего времени с целью ее утилизации приходилось производить дополнительное ее разбавление водой и нейтрализацию плавсодой, и после этого осуществлялся сброс отходов в реку Березина. Наличие в Беларусииотработанной серной кислоты на ОАО «СветлогорскХимволокно» и дешевого карбонатного сырья (мела, доломита, известняка) дало возможность получения на его основе синтетиче-

ского гипса как целевого продукта. Синтетический гипс может являться товарным продуктом для предприятий, которым необходим двуводный гипс, а также синтетический гипс создает хорошие предпосылки для последующей переработки его на гипсовые вяжущие, предназначенные для строительного комплекса, медицины и других отраслей промышленности.

Научно-исследовательская работа выполнялась в рамках договора «Разработка технологического процесса и выдача исходных данных для проектирования производства гипсовых вяжущих на основе мела и разбавленной серной кислоты», заключенного между Белорусским государственным технологическим университетом и ОАО «СветлогорскХимволокно» в результате проведенной процедуры переговоров по тендеру на выполнение НИР.

Образцы синтетического гипса были получены путем взаимодействия отработанной серной кислоты производства жаростойкого волокна «Арселон» на ОАО «СветлогорскХимволокно» и суспензии карбоната кальция.

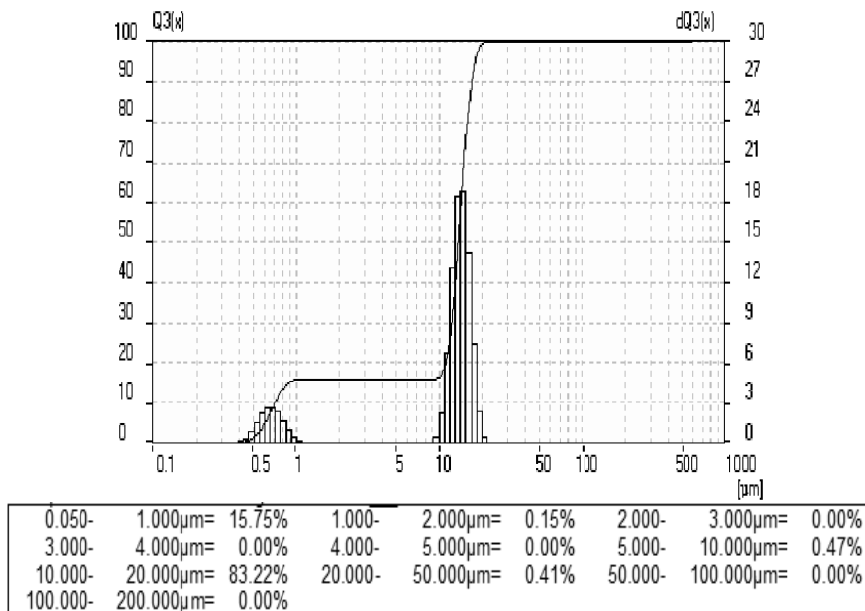


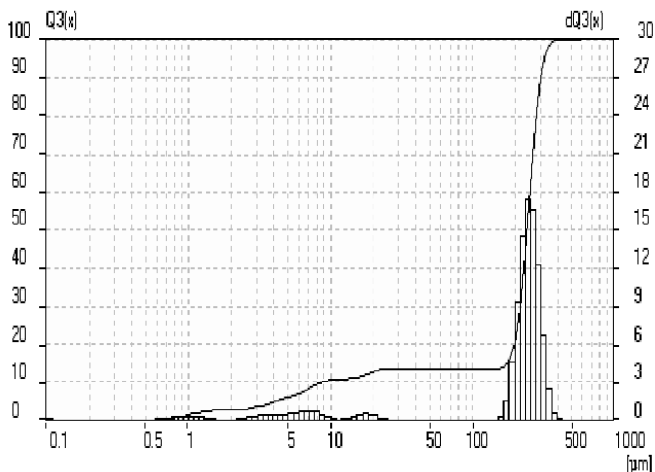
Рисунок 1. Гранулограмма синтетического гипса, полученного на первоначальном этапе исследований

На первоначальном этапе проводимых исследований получаемые частицы синтетического гипса имели в основном размеры 10-50 мкм. В ходе проведенных системных исследований была установлено, что одной из важнейших технологических операций получения синтетического гипса является от-

деление осадка дигидрата сульфата кальция от маточного раствора и эффективность этой стадии зависит от следующих факторов:

1. Концентрации исходных реагентов;
2. Скорости смешивания реагентов;
3. Интенсивности перемешивания;
4. Температуры синтеза;
5. Природы карбоната кальция;
6. Времени выдержки полученной суспензии;
7. Видов воды, используемой для приготовления суспензии карбоната кальция.

В ходе проведенных исследований были подобраны оптимальные значения вышеназванных технологических параметров синтеза дигидрата сульфата кальция:



0.050- 1.000μm=	1.39%	1.000- 2.000μm=	1.29%	2.000- 3.000μm=	0.79%
3.000- 4.000μm=	1.30%	4.000- 5.000μm=	1.05%	5.000- 10.000μm=	4.67%
10.000- 20.000μm=	2.31%	20.000- 50.000μm=	0.63%	50.000- 100.000μm=	0.00%
100.000- 200.000μm=	7.16%				

*Рисунок 2. Гранулограмма синтетического гипса, полученного по оптимизированным технологическим параметрам*

1. Концентрация исходных реагентов – от 1 до 55 %;
2. Скорость смешивания – 0,5 – 1 л/час;
3. Скорость перемешивания суспензии – до 400 об/мин;
4. Температура синтеза – 40-50 °С;
5. Природа карбоната кальция– мел, известняк;

6. Время выдержки суспензии дигидрата сульфата кальция – от 1 до 3,5 часа.

7. Виды воды очищенная речная вода, артезианская вода.

Вышеназванные оптимальные значения позволили получать частицы дигидрата сульфата кальция размером 200-500 мкм.

Получаемый синтетический дигидрат сульфата кальция может использоваться как целевой продукт, так и для переработки на различные гипсовые вяжущие – строительный гипс, высокопрочное гипсовое вяжущее либо ангидритовое вяжущее. Это обусловлено тем, что в получаемом синтетическом гипсе содержится не менее 95 % дигидрата сульфата кальция, что соответствует природному гипсовому камню I сорта. Еще одним преимуществом синтетического гипса над природным гипсовым камнем является то, что он получается сразу в виде порошка, что тем самым позволяет сократить затраты электроэнергии, затрачиваемые на помол гипсового камня.

Технология переработки отработанной серной кислоты на ОАО «СветлогорскХимволокно» на синтетический дигидрат сульфата кальция будет складываться из следующих технологических стадий:

- прием исходного сырья в цех;
- приготовление суспензии карбоната кальция;
- разложение отработанной серной кислотой карбоната кальция в реакторе;
- отделение осадка дигидрата сульфата кальция от маточного раствора с получением порошкообразного синтетического гипса.

Получение строительного гипса из синтетического дигидрата сульфата кальция осуществляется по традиционной технологии в гипсоварочном котле за исключением стадии дробления гипсового камня.

Свойства строительного гипса, полученного на основе синтетического дигидрата сульфата кальция представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

*Свойства строительного гипса, полученного на основе синтетического дигидрата сульфата кальция*

Строительный гипс	Гипсовое вяжущее на основе синтетического дигидрата сульфата кальция	По ГОСТ 125-79
Цвет	серый	Серый
Удельная поверхность	0,43 м <sup>2</sup> /г	0,3-0,5 м <sup>2</sup> /г
Сроки схватывания:		
Начало	Не ранее 2 мин	Не ранее 2 мин
Конец	Не более 10 мин	Не более 15 мин
Предел прочности	5-7 МПа	4-5 МПа

Таким образом, результаты лабораторных исследований по переработке синтетического гипса на  $\beta$ -полугидрат сульфата кальция показали принципиальную возможность организации производства этого строительного материала с целью частичного импортозамещения и расширения линейки отделочных материалов.

Наиболее перспективным видом гипсовых вяжущих, получаемых из синтетического гипса, является высокопрочный гипс, получаемый методом автоклавирования. Поскольку в рецептуру смеси на строительном гипсе требуется введение гораздо большего количества пластификаторов, обеспечивающих такую же растекаемость, как и у высокопрочного гипсового вяжущего, то итоговая себестоимость смеси на «дешевом» строительном гипсе получится существенно выше.

Исходя из вышесказанного, производство высокопрочного гипсового вяжущего из синтетического дигидрата сульфата кальция является более перспективным, осуществляется автоклавным методом, и состоит из следующих типовых технологических стадий:

- брикетирование порошкообразного гипса;
- автоклавная обработка в автоклаве;
- обезвоживание брикетов после автоклавирования;
- помол брикетов;
- складирование и отгрузка потребителю.

Было проведено комплексное исследование физико-химических свойств гипсового вяжущего на основе синтетического гипса, а также наработаны экспериментальные партии гипсового вяжущего с использованием в качестве исходных материалов отсева известняка отхода производства извести ОАО «БМЗ» и отработанной 30-55% серной кислоты – отхода производства жаростойкого волокна «Арселон». Испытания вяжущего проводились на ООО «Илмакс» и в БГТУ.

Гипсовое вяжущее, полученное по вышеописанному способу, характеризуется следующими сроками схватывания: начало 4-6 минут, окончание 10-11 минут, что подтверждает, что полученное вяжущее является быстротвердеющим и удовлетворяет требованиям нормативно-технической документации на высокопрочные гипсовые вяжущие. В случае необходимости регулирования сроков схватывания в более широком диапазоне времени могут быть применены добавки.

Полученное гипсовое вяжущее является вяжущим средней водостойкости  $sK_p = 0,49$ .

Экспериментальным путем, по диаметру расплыва теста, которое составило 177мм, было установлено водогипсовое отношение для полученного



гипсового вяжущего, которое составило 0,45, что соответствует требованиям ГОСТ 23789-79 на высокопрочное гипсовое вяжущее.

Проведенными исследованиями установлено, что свойства полученного высокопрочного гипсового вяжущего по разработанной технологии находятся на уровне зарубежных аналогов, используемых при производстве сухих строительных смесей и в составе самонивелиров. Марка получаемого высокопрочного гипсового вяжущего лежит в диапазоне Г10-Г22.

Уникальность предложенного технологического решения состоит в том, что в настоящее время технологии получения синтетического гипса из отработанной серной кислоты и перекристаллизации его в высокопрочное гипсовое вяжущее ни в Беларуси, ни в странах СНГ нет, что является отличительной особенностью, так как все производства по получению гипсовых вяжущих в этих странах базируются на природном гипсовом сырье. Кроме того, по данной технологии можно получать кристаллы дигидрата сульфата кальция заданного габитуса.

В настоящее время идет активное внедрение данной технологии на ОАО «СветлогорскХимволокно». Появление собственного гипса на рынке Республики Беларусь дает возможность разработки гипсовых композиционных материалов строительного и технического назначения, а также позволяет повысить долю гипсовых вяжущих в общем балансе минеральных вяжущих, выпускаемых в Республике Беларусь.

# **ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СТЕРЖНЕВОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ АНКЕРНОГО УСТРОЙСТВА**

*Круглов С.Ю., Медведева Т.В., Баркая А.Т.  
Тверской государственной технической университет*

В строительной отрасли в настоящее время предварительно напряженные конструкции являются наиболее перспективной областью изучения. Армирование конструкций, в том числе и гипсовых, стекловолокном подразумевает его применение в качестве замены металлической высокопрочной арматуры. Применение этой технологии позволяет снизить расход арматуры, устраняет необходимость ее защиты от коррозии, что позволяет, в конечном итоге, снизить трудоемкость и себестоимость строительства [1].

На данный момент разработанные анкерные устройства могут использоваться только для проволочной и обычной высокопрочной арматуры. Готовых запатентованных полезных моделей для композитной арматуры очень мало, и все эти модели в основном имеют только описательный характер без приведения основных расчетных величин и экспериментов. Для композитной арматуры отсутствуют данные, регламентирующие момент, когда падение напряжений в значительной степени затухает, поэтому при определении релаксации проводили за тот же период времени [4].

На основании вышеизложенных данных было принято решение о создании прототипа анкерного устройства с получением его основных рабочих характеристик.

В процессе реализации принятого решения необходимо выполнить ряд задач:

- Ознакомиться с существующими предложениями по анкерке композитной арматуры и выявить слабые места;
- Внести изменения в существующие полезные модели (т.е. сделать их дешевле, практичней). Под словом дешевле понимается экономическая эффективность, т.е. стоимость производства анкера, доставка на объект, стоимость применения уже существующих анкерных устройств. Под словом практичней понимается, что разработанную полезную модель можно будет применять как при реконструкции, так и при новом строительстве;
- Разработать разрывную установку необходимую для испытания данного анкера;
- Выполнить разработку собственного анкера, изготовить его и испытать;

- Получить основные расчетные характеристики.

Для разработки собственной полезной модели была проведена работа по изучению существующих запатентованных анкерных устройств: патент РФ № 109172, патент РФ № 2397377, патент РФ № 117630, патент РФ № 2231604, патент РФ № 2062849. На основании изученных достоинств и недостатков вышеуказанных полезных моделей, а также внедряя новые решения был разработан прототип анкерного устройства, который состоит из следующих деталей:

- цилиндрическая деталь с коническим отверстием внутри, выполненной из стали Ст3, длиной 155 мм, наружным диаметром 68 мм, и внутренним диаметром конуса от 56 мм к 29 мм, с конусностью 1:5, и длиной конуса 125 мм, с нанесенной внутренней резьбой М56 с шагом 1.5, длиной 30 мм (деталь 1 рис. 1);

- коническая вставка с отверстием внутри и нанесенной резьбой из стали Ст3 с для обеспечения захвата арматуры, длиной 125 мм и конусностью 1:5 наружный диаметр 56 мм, с распиловкой её на 3 части фрезой 1.6 мм, внутренняя структура имеет периодический профиль, что способствует увеличению площади зажима стержня в анкерном устройстве (деталь 2 рис. 1);

- запорная гайка диаметром 56 мм с нанесенной резьбой М56 шагом 1.5 длиной 40 мм, с квадратом под ключ №28; (деталь 3 рис. 1);

- упорная пластина размером 100x100x5 с отверстием посередине диаметром 46 мм (деталь 4 рис. 1).

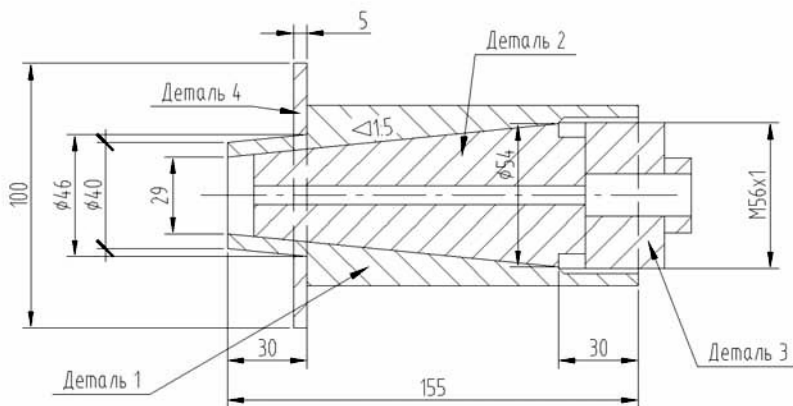


Рисунок 1. Основные размеры анкера

Работа анкера осуществляется по принципу цангового зажима.

Перемещение внутренних клиньев происходит за счет завинчивания запорной гайки, а также во время приложения усилия предварительного напряжения.

Обжим стержня происходит за счет перемещения конических вставок по конусу оболочки.

Упорной пластиной может являться, как и пластина, приваренная к закладной детали, так и упорная пластина, прилагаемая к анкеру.

Усилие, прилагаемое к запорной гайке должно быть таким, чтобы обеспечить надежное сцепление конических вставок с телом стержня, при этом, что бы стержень имел наименьшее количество повреждений верхнего слоя.

Для проведения экспериментов было необходимо разработать и изготовить испытательный стенд, поскольку образцы невозможно испытать, используя оборудование в лаборатории.

Установка является жестким сварным каркасом из швеллера №10У по ГОСТ 8240-97 «Швеллеры стальные горячекатаные». Неподвижной частью стенда является нижний остов, в который происходит установка испытываемых образцов. Жесткое соединение деталей между собой обеспечивается сваркой, с катетом шва  $k_f = 5\text{мм}$ , катета и длины шва достаточно для восприятия всех усилий, возникающих в конструкции установки. [5]

Использование данной установки (рис.2) позволило снизить величину прикладываемого усилия из-за применения «плеча».

Для проведения эксперимента было принято использовать стеклопластиковую арматуру (табл. 1), выполненную по ТУ 2296-001-11471702-2013 [3] для стержней диаметром 8 мм; по ГОСТ 31938-2012 [2] для стержней диаметром 10-12 мм.

Итогом экспериментов являются:

1. Разрушение арматуры при достижении её нормативной прочности можно охарактеризовать как хрупкое, поскольку не происходит образования площадок текучести;

2. Деформации во время проведения опытных испытаний, зафиксированы значительные

3. Анкерное устройство способно выдерживать предварительное напряжение арматуры диаметром 8, 10, 12 изготовленной по ГОСТ с усилием 10 тонн с требуемой степенью вероятности.

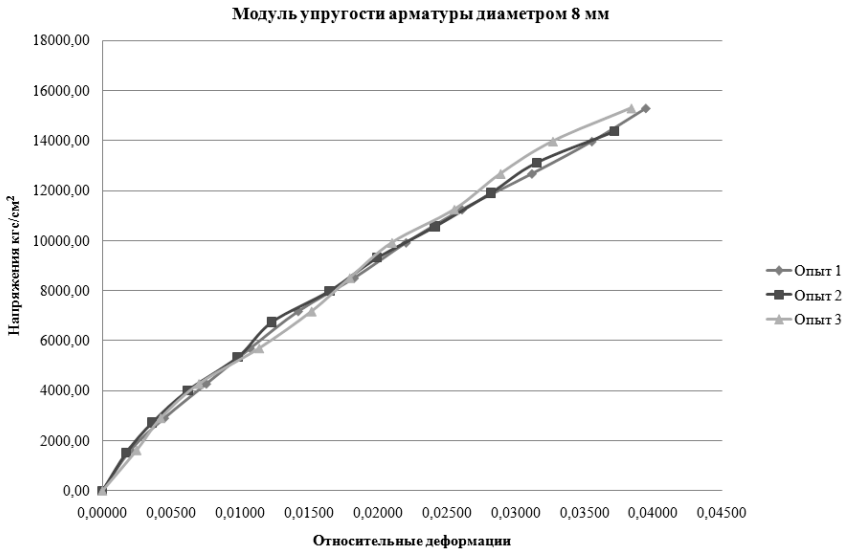
Ниже приведены расчетные данные по испытанию стеклопластиковой арматуры диаметром 8 мм:



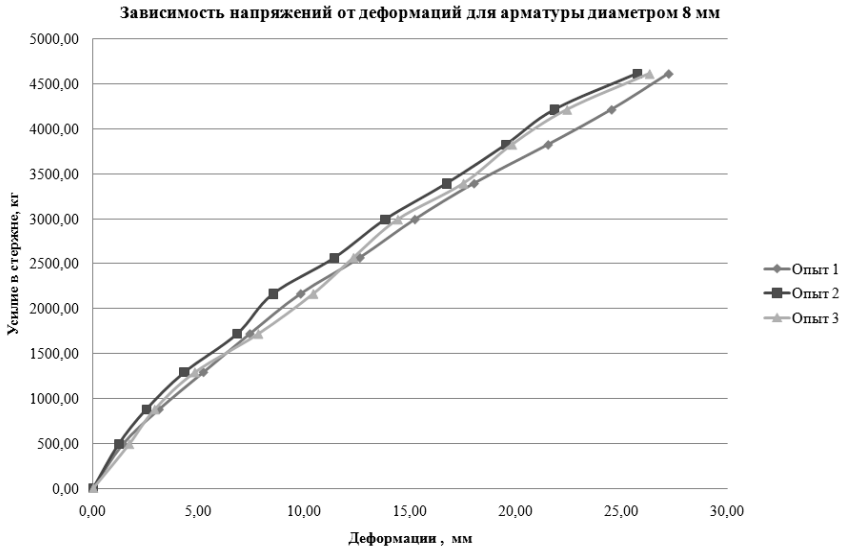
Таблица 2

## Определение деформаций для арматуры диаметром 8 мм

Показания манометра маслостанции	Величина усилия прикладываемого к установке, кг	Величина усилия на стержне, кг	Величина деформаций в мм					
			Опыт 1		Опыт 2		Опыт 3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	245	490	14	1,4	12	1,2	17	1,7
10	438	876	31	3,1	25	2,5	29	2,9
15	645	1290	52	5,2	43	4,3	48	4,8
20	859	1718	74	7,4	68	6,8	78	7,8
25	1082	2164	98	9,8	85	8,5	104	10,4
30	1283	2566	126	12,6	114	11,4	123	12,3
35	1496	2992	152	15,2	138	13,8	144	14,4
40	1696	3392	180	18	167	16,7	175	17,5
45	1912	3824	215	21,5	195	19,5	198	19,8
50	2107	4214	245	24,5	218	21,8	224	22,4
55	2307	4614	272	27,2	257	25,7	263	26,3
Деформация анкерных устройств		Анкер 1	1,2		0,6		1,6	
		Анкер 2	1,4		0,8		0,8	
		Итого	2,6		1,4		2,4	
Установленная длина стержня			689		692		685	
Средний диаметр стержня			6,2		6,4		6,2	
Процентное удлинение			3,5704%		3,5116%		3,4891%	



*Рисунок 3. Модуль упругости арматуры диаметром 8 мм*



*Рисунок 4. Зависимость напряжений от деформаций для арматуры диаметром 8 мм*

Во время проведения испытаний было выявлено основное поведение композита на стадии разрыва и в процессе работы. Были получены основные характеристики арматуры.

Достоинствами анкерного устройства является то, что оно имеет запорную гайку, с помощью которой, регулируя момент затяжки, возможно создавать предварительный обжим стержня, минимизируя перемещения вкладышей во время их работы. В свою очередь это позитивно сказывается на первых потерях, учитываемых в расчетах по определению усилия предварительного напряжения.

Недостатками данного анкерного устройства является то что, в ходе испытаний образцов был выявлен факт «излишних» деформаций закрепленного хлыста арматуры, который негативно сказался на несущей способности стержня, в виду нарушения его структуры. Избавится от этого недостатка возможно только контролируя зазоры между вкладышами с помощью специальных приспособлений.

При рассмотрении теоретического примера выявлен недостаток и область дополнительного изучения, а именно поведение арматуры в предварительно напряженном состоянии в составе конструкции, на предмет возможности её изгиба при действии предварительного напряжения. В зоне действия отпора шпренгельной затяжки.

С точки зрения экономической целесообразности и стоимости производства образцов существует проблема с завышенной себестоимостью производства. Однако стоит заметить, что при промышленном производстве, возможно снижение цены изготовления комплекта анкерного устройства.

## Литература

1. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980.
2. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия: ГОСТ 31938-2012. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 38 с.
3. Арматура композитная полимерная. Технические условия. ТУ 2296-001-11471702-2013. Введ 01.06.2013 М.: ОАО «Орскнаб», 2013. 13 с.
4. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: 2012. 161 с.
5. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент (с Изменением N 1:ГОСТ 8240-97). Введ 01.01.2002. М: Стандартинформ, 2008. 11 с.: ил.



## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИПСОБЕТОННОГО ЖИЛОГО ДОМА

Лосев Ю.Г.<sup>1</sup>, Лосев К.Ю.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> СТИ НИТУ МИСисС  
<sup>2</sup> МГСУ

Многолетние наблюдения и накопленные эксплуатационные показатели индивидуального гипсобетонного жилого дома, построенного под «ключ» в 2010 г. в г. Старый Оскол, полностью подтвердили его ожидаемые эксплуатационные качества по критериям экологичности, энергоэффективности, экономичности [1,2].

Общий вид фасадов дома представлен на фото 1 и 2



Конструктивный остов дома в составе фундаментов, стен, перекрытий, перегородок, крыши представляют сборно-монолитные конструкции с каркасом из термопрофилей ЛСТК обшитых несъемной опалубкой из листов ГВЛВ и залитых монолитными легкими композиционными гипсобетонами со средней плотностью 500-600 кг/м<sup>3</sup>.

Опыт строительства, наблюдения и эксплуатации конструкций остова жилого дома подтвердил расчетные технико-экономические, прочностные, теплотехнические, экологические и др. показатели.

Некоторые технико-экономические показатели построенного дома:

- Строительный объем - 1400м<sup>3</sup> ;
- Общая площадь - 220м<sup>2</sup> ;
- Жилая площадь - 118м<sup>2</sup> ;
- Площадь застройки - 230м<sup>2</sup> .

Себестоимость остова (фундаменты, стены, перекрытия) составила 7000 руб/м<sup>2</sup> на конец 2008 г. (для 2018 г. будет в 1.5-2 раза выше).

Приведенные показатели расхода основных строительных материалов на 1 м<sup>2</sup> общей площади дома.

- Композиционное гипсовое вяжущее - 105 кг;
- Гипсоволокнистый лист - 2.85 м<sup>2</sup>;
- Термопрофили - 13.6 кг;
- Легкий наполнитель - 0.275 м<sup>3</sup>.

Трудоемкость строительства остова (фундаменты, стены, перекрытия) с использованием средств механизации труда (бетономеситель, бетононасос, шурупверты, электропилы и др.) и с учетом бесперебойного материально-технического обеспечения составила около 0.82 чел/дней на 1 м<sup>2</sup> общей площади.

Следует отметить, что экспериментальный конструктивный остов дома от фундаментов до крыши был построен летом 2008 г. за 1.5 месяца.

Высокая механовооруженность труда рабочих (а следующий шаг автоматизация) создает условия для высокой производительности труда строителей. Здание строится без применения тяжелых монтажных механизмов. При приоритете внедрения технологии на основе готовых "сухих" смесей, обеспечивается высокая скорость возведения зданий, с учетом быстрохватывающихся свойств гипсовых вяжущих.

Натурные испытания гипсокерамзитобетонных плоских и арочных перекрытий с жесткой арматурой из термопрофилей, с загрузением на нормативные и расчетные нагрузки (более 5 кПА с собственным весом) показали достаточные жесткостные, трещиностойкие, прочностные свойства конструкций. Модели образцов стен были испытаны в строительной лаборатории кафедры ПГС СТИ НИТУ МИСиС до разрушения, с коэффициентом надежности к расчетным нагрузкам - 3.5. По нашим расчетам, фактический коэффициент надежности конструкций стен в построенном доме по прочности будет значительно выше. В докладе будут представлены схемы и фотографии натурных испытаний конструкций.

Оценка сопротивления теплопередачи наружных гипсобетонных стен толщиной 330 мм с помощью прибора ИТП-МГ4.03-100., выполненная в феврале 2010г., составила 3.25 м<sup>2</sup> °С/Вт, что выше нормативных требований энергоэффективности стен для региона строительства. Наружная и внутренняя температура поверхности стен периодически контролировалась с помощью пирометра и тепловизора. При температуре внутри помещения  $t_{\text{вн}}=+20^{\circ}\text{C}$ , температура внутренней поверхности стен была  $+19^{\circ}\text{C}$ .

Расходы на отопление в зимний период сравнительно экономичны.

В качестве примера, стоимость расходов за газ отопительного периода с конца октября 2017 по март 2018 для отапливаемой площади 180 м<sup>2</sup> составила около 10000 рублей (стоимость газа 5.8 руб/ м<sup>3</sup>). В докладе будут даны рекомендации повышения теплозащиты конструкций из-за постоянной тенденции роста стоимости газа.

Показатели температурно – влажностного режима (наружная и внутренняя температура - t и относительная влажность -%) дома

фиксируются в разные времена года с помощью климатических станций фирмы Oregon с 2011 г. и продолжают по настоящее время.

Характерные графики показателей температурно – влажностного режима эксплуатации дома по временам года будут представлены в докладе.

Внутренний температурно – влажностный режим в помещениях дома благодаря воздухо- и паропроницаемости гипсобетонных конструкций достаточно устойчив и оптимален для комфортного проживания и в зимнее и летнее время. На бытовом языке: зимой тепло, летом прохладно, легко дышится, относительная влажность благоприятна для нахождения людей (в среднем 40-50 %). Процент влажности внутри помещений саморегулируется в оптимальных пределах в зависимости от изменений наружной температурно – влажностной среды, а также от отапливаемой температуры в зимнее время.

Контроль радиационного фона выполнялся с помощью прибора РКСБ-104. В среднем внутри помещений радиационный фон составляет 12 мкр/час, при наружном радиационном фоне в среднем 10 мкр/час.

Наружная и внутренняя отделка поверхностей стен, перекрытий, перегородок, выполненная с применением специальных эластичных штукатурок, шпаклевок, красок повышающих атмосферо- и биостойкость, трещиностойкость несъемной опалубки из ГВЛВ, показали за время эксплуатации правильность принятых решений и технологий отделки, а также выяснились пути совершенствования отделки. Применение гипсовых архитектурных деталей, цвета во внутреннем и наружном оформлении дома значительно улучшают эстетику восприятия отделки дома (см. фото деталей).



Выполненные инициативные исследовательские, опытно-конструкторские, технологические, патентные работы, натурные испытания

промышленного образца жилого дома позволяют сделать вывод о создании инновационной индустриальной строительной системы «Экодом» и возможности рекомендовать её для широкого внедрения в массовое строительство малоэтажного жилья. Гипсобетонные дома будут востребованы на рынке из-за низкой энергозатратности, материалоемкости, себестоимости, высокой экологичности конструкций остова как при строительстве, так и при эксплуатации жилых домов. Тем самым заложен высокий позитивный потенциал конкурентоспособности и прибыльности при строительстве, а также экономичности при эксплуатации дома. Однако, требуется развитие и значительные инвестиции в новую индустриальную базу для широкого внедрения гипсобетонного строительства. В докладе будут даны предложения по дальнейшему совершенствованию технологий СС «Экодом» на основе полученного опыта строительства и эксплуатации дома, выявленных достоинств и недостатков, а также предложения по организации кластера индустриального строительства малоэтажного жилья.

Без участия государства подобные кластеры нового технологического уклада создать невозможно (опыт Китая, Финляндии и др. стран), ибо потребуются проведение единой градостроительной, научно-технической, технологической, кадровой, инвестиционной политики развития и модернизации существующих городов, поселков, сел, а также плановое строительство новых городов, поселков, сел. Это соответствует требованиям послания президента по развитию градостроительного пространства России.

### **Литература**

1. Гипс в малоэтажном строительстве» под редакцией профессора, д.т.н. Ферронской А.В., изд. АСВ, М., 2008.

2. Доклады на Всероссийских семинарах по гипсу. 2003 г., 2006 г., 2008 г., 2010 г., 2014 г.

3. Роспатенты. Патент на полезную модель «Строительная система» № 60552; Патент на полезную модель «Элемент стены малоэтажного дома» № 59979; Патент на полезную модель «Перекрытие» № 61743 (арочное); Патент на полезную модель «Сборно-монолитное перекрытие» № 69535 (плоское); Патент на изобретение «ЭКОДОМ», решение о выдаче от 22.12.2007г. по заявке № 2004112245/06(013287) от 22.04 2004 г.

# ПРЕДРАССУДКИ И СФОРМИРОВАННЫЕ ИМИ ТЕНДЕНЦИИ, СНИЖАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫНКА ШТУКАТУРНЫХ РАБОТ И ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ ЕГО РАЗВИТИЮ

Межов О.Б.  
Калета Олейник Груп Рус

## Часть первая Формулировка проблемы

Хаотичность формирования отечественного строительного рынка и отсутствие профессиональной системы образования создали почву для целого ряда укоренившихся предрассудков, сформировавших ошибочные тренды в среде производителей, исполнителей и потребителей штукатурного продукта. В своем докладе я предлагаю в первую очередь разобрать два из них, объемом заражения которыми достиг поистине всероссийских масштабов. Вред, приносимый этими укоренившимися тенденциями, становится всесторонне ощутимым.



Начнём с того, что на сегодняшний день можно с полной уверенностью утверждать: как минимум 70% штукатурных работ производится без какого-либо грунтования. Остальные 30% используют грунты ненадлежащего качества, только с целью обозначить эту операцию и потратить на неё как можно меньше денег.

Следующее пагубное увлечение отечественного штукатурного рынка представлено идеей гладкой гипсовой штукатурки, трансформировавшейся в операцию глянцеваания.

Как минимум эти два вопроса требуют пристального рассмотрения и принятия мер со стороны производителей ССС с целью исправления уже укоренившихся ошибочных и вредных представлений. Мне кажется, Гипсовая ассоциация - это именно тот орган, который призван возглавить и скоординировать усилия своих членов для решения этих и подобных вопросов. Информация, мнения, примеры и выводы, сделанные мною в этом докладе, основываются на практическом опыте работы с региональными штукатурными рынками практически во всех регионах РФ. Мне очень хотелось бы обратить ваше внимание как на серьёзность этих вопросов, так и на реальную возможность совместными усилиями исправить ситуацию, способствуя тем самым профессиональному росту строительного рынка и формированию зре-

лой строительной культуры в российском обществе. Конечным итогом этих усилий безусловно станет пусть незначительное, но все-таки улучшение нашего благосостояния.

### **Часть вторая Суть и подробное описание проблемы**

Естественное стремление человека упростить работу, снизить стоимость, сократить время на достижение результата в ситуации недостаточной компетенции производит обратный эффект. Человек, не имеющий достаточного навыка в ориентировании на местности, следуя неизвестным ему путём, решая сократить маршрут, неминуемо заблудится, выбьется из сил в поисках потерянного пути, но почти наверняка найдёт объяснение своей ошибки в причинах, не зависящих от него.

Отсутствие официальной профессиональной системы подготовки специалистов компенсируется «народным творчеством», это сродни сокращению пути человеком, плохо знающим дорогу.

Условия жесткой конкуренции в продажах и выполнении работ, необходимость выживать в жёстких условиях экономического падения на почве «народного творчества» создаёт неограниченные возможности для манипуляций с целью завладения и удержания клиента. Поэтому причина двух выше обозначенных ошибочных трендов и заключается как раз в профессиональном невежестве сегодняшнего строительного рынка, лечить которое можно только просвещением и единой позицией и стандартами.

### **Отсутствие грунтования поверхностей:**

Существует следующий предрассудок в среде штукатуров и др.: если не грунтовать поверхность, мы сэкономим затраты на грунтовке (6 – 20 руб./кв.м) и увеличим производительность работ за счёт исключения этой операции уменьшения времени и трудозатрат.

Оштукатуривание негрунтованных поверхностей с сильно впитывающим основанием приводит к быстрому, неоднородному высыханию штукатурного слоя с образованием в нём усадочных трещин.

Эта ситуация превратилось в повсеместный приём для манипуляций по отношению к поставщику материала с целью получения от него разного рода дополнительных привилегий, или как средство в недобросовестной конкурентной борьбе. Более того, даже некоторые производители греша этим, объявляя, что они разработали штукатурку, не требующую грунтования! Тем самым поддерживая порочный тренд, проявляя как технологический непрофессионализм, так и элементарную маркетинговую безграмотность.

К сожалению, мы стали повсеместно сталкиваться с ситуацией, когда штукатуры или заказчики для обоснования своего предпочтения одного про-

дукта перед другим стали использовать данный способ манипуляции производителем или поставщиком (как правило с целью оказания на него дополнительного давления для снижения цены или получения других дополнительных привилегий): штукатур наносит слой гипсовой штукатурки на не грунтованное, сильно впитывающее основание, часто с незаполненными кладочными швами, да ещё при температуре окружающей среды выше 35 градусов, и через 20 – 30 минут мы наблюдаем появление множества усадочных трещин. Такая ситуация заказчиками интерпретируется как некачественная штукатурка и отсюда начинается торг. Но самое удивительное, что большинство производителей и поставщиков принимают эти возражения от клиента и, извиняясь, бегут переделывать рецептуры. А на самом деле эта ситуация демонстрирует не что иное как годами известный факт, описанный во всех строительных учебниках, пособиях и нормах. Норма, которая гласит: «Перед оштукатуриванием сильно впитывающих оснований необходимо произвести грунтование, снижающее его гидрофобность. В противном случае мы получим усадочные трещины в штукатурном слое.» То есть, проведенная демонстрация наглядно иллюстрирует законы строительных технологий, описанные в учебниках. В основной своей массе это никак не связано с качеством штукатурки. Более того, практически все гипсовые штукатурки в таких условиях после операции разравнивания в большей или меньшей степени дадут усадку и трещины, но при выполнении дальнейших операций полного рабочего цикла (подрезание, шпаклевание, смачивание, затирание и повторное шпаклевание), формирующих гладкую поверхность, практически в 100% исключают появление трещин на поверхности. Это также вполне понятный и объяснимый технологический эффект.

Резюмируя опыт выполнения штукатурных работ в разных регионах и разными бригадами на самых разных объектах, приходим к очевидному выводу: из всех случаев появления усадочных трещин на поверхности штукатурки только 3 – 5% соответствуют браку самого продукта. Остальные случаи – это, как правило, попытки упростить, модернизировать и удешевить способ выполнения штукатурных работ. Основные приемы здесь следующие:

- исключение грунтования сильно впитывающих оснований;
- наличие на основании глубоких не заполненных кладочных швов;
- исключение ряда технологических операций при обработке штукатурного раствора (таких, как подрезание, смачивание, первое и второе шпаклевание).

Далее, не понятна ситуация, когда штукатуры, нанеся раствор на поверхность и стянув его по маякам или без, оставляют его без дальнейшей обработки для последующего шпаклевания другим раствором. Очевидно, что этот не законченный технологический цикл увеличивает риск появления уса-

дочных трещин. Но здесь подразумевается дальнейшее шпаклевание, о чём тогда беспокоиться о трещинах? Хотя, если бы обработка штукатурки была выполнена до конца, то и трещин не возникло бы, и шпаклевать не было бы необходимости. Далее, исключение смачивания и затирания штукатурки также увеличивает риск появления трещин, а выполнение этой части технологического цикла снимает проблему.

Нежелание грунтовать основания, якобы с целью снижения затрат на кв.м сформировало следующую «народную» технологию: чтобы избежать трещин, штукатурку предварительно проливают стены тонким слоем жидкого гипсового раствора и на следующий день наносят второй слой, выполняя полный технологический цикл. Не понятно здесь, чем нанесение первого слоя лучше грунтования, тем более что величина затрат материала практически сопоставима с затратами на грунтование и никакого снижения себестоимости мы не получаем, зато возникает угроза расслоения.

Также «народное творчество» выработало ещё один способ: на поверхность наносят раствор, выравнивают его по маякам или без них и оставляют. На следующий день, а некоторые и в этот же день, накрывают первый выравнивающий слой тонким слоем этого же раствора и вышпаклёвывают им поверхность. В результате такой работы резко увеличивается расход материала на кв. м., что также с лихвой превышает затраты на грунтование и также приводит к риску расслоения.

И первая, и вторая технология создает впечатление у штукатуров, что расход материала высокий, в то время, как здесь не расход материала высокий, а расход самого способа оштукатуривания создаёт перерасход штукатурки.

### **Глянцевание штукатурной поверхности:**

В нашем стремлении привлечь внимание потребительского рынка к гипсовым штукатуркам мы увлеклись понятием «гладкая», доведя его до абсурда, что выражается в операции гляцевания. Это достаточно трудоёмкая и требующая тщательности операция, не имеющая с точки зрения строительства и качества конечного результата никакого технологического смысла. Само использование гляцевания для продвижения штукатурки является средством манипуляции непрофессионалов над дилетантами.

Начнём хотя бы с того, что окончательно высохшая, отгляцованная штукатурка теряет свой блеск и выглядит практически также, как и неотгляцованная. Так что эффект глянца оказывает впечатление на дилетанта-потребителя исключительно в течение первых пары дней после оштукатуривания. Глянцевание штукатурки значительно, а временами в разы увеличивает срок высыхания гипсовой штукатурки, что регулярно, особенно в весен-



не–осенний период, приводит к образованию грибка. Гладкая поверхность создаёт проблемы при ее окрашивании или оклеивании по вполне понятным причинам. И, наконец, последнее: трудозатраты и затраты времени для глянцевого покрытия поверхности снижают производительность работ, что конечно же сказывается на зарплате.

Этот сложившийся на рынке тренд наглядно демонстрирует незрелость нашей отечественной строительной. Причем это характеризует все три стороны-участницы процесса: Производителей строительных материалов (всеми силами старающихся создать продукт дешевый, но поддающийся глянцеванию в угоду запросу рынка, опираясь на тезис «Так требует рынок»), Конечных потребителей строительного продукта (желающих видеть свои стены переливающимися, как лак на их дорогих автомобилях, просто потому, что им так нравится и это было бы круто. Вопрос зачем, какой смысл в этом, тут не стоит) и, что очень удивительно, даже Исполнителей штукатурных работ, штукатуров (которые, получая эстетическое удовольствие от того, что они ТАКОЕ сотворили на стене, это ведь круто. Вопрос о том, зачем, даже не появляется в сознании). Профессионализм характеризуется в первую очередь прагматическим подходом, а здесь прагматика уступила место предрассудку и банальной эрудиции.

### **Часть третья Что же тут плохого?**

Если подвести итоги «народного творчества» на рынке гипсовых штукатурок, то вырисовывается следующая неприглядная картина. Попытка производителей ССС удовлетворить фантастическим запросам рынка потребления в создании штукатурки, не трескающейся в любых условиях и формирующей глянцевую поверхность, приводит к значительному усложнению рецептур продуктов. Например, увеличение количества эфиров целлюлозы для избавления от трещин в варварских условиях применения штукатурок приводит к удорожанию и ухудшению обрабатываемости, что в свою очередь требует дополнительных химических добавок с целью достижения удобообрабатываемости, что опять увеличивает себестоимость. И так далее.

Задавая нерешаемые задачи, потребители штукатурок используют этот приём в качестве орудия манипуляций и давления на поставщиков с целью снижения цены. В результате производитель и продавец вынужден сокращать свою прибыль. Более того, во всем мире реализация грунтовочных материалов является неплохой и маргинальной составляющей в продажах ССС и сопутствующих им продуктов, а мы часто поддерживаем тренд, обещая рынку дешевую штукатурку, не требующую грунтования, вводим потребите-

лей в заблуждение, питаем их несбыточные надежды себе же во вред, лишая себя не плохой дополнительной статьи дохода.

Эта ситуация практически исключает возможности представления на рынке бюджетного, но столь необходимого сейчас рынку продукта. Погоня за приданием гипсовой штукатурке бессмысленных для ее функционала свойств вынуждает производителя усложнять, а значит увеличивать себестоимость рецептур, штукатуров терять в производительности работ, а значит в заработке, а конечный потребитель не получает желаемого снижения цены квадратного метра и вынужден переплачивать за прихоть. И все это только потому, что нам всем прикольно создавать глянцевую штукатурку. В этой тенденции отечественный производитель проигрывает своим иностранным конкурентам, которые в силу уже сложившегося на рынке представления имеют право реализовывать свои продукты по более высокой цене, в то время как отечественный производитель, очевидно, должен быть дешевле. И это при том, что отечественный производитель закупает химические компоненты для своей продукции в России по ценам ощутимо большим, чем иностранный производитель приобретает эту же химию в Европе, имея старые связи и объемы. Причина этой вредоносной тенденции банальная наша неграмотность. В результате строительная индустрия оказывается не в состоянии дать ни дешевый продукт, ни возможность производителям материалов и исполнителям работ увеличить маржинальность, ни конечному потребителю получить более доступный продукт.

#### **Часть четвёртая Что же можно сделать?**

На моей памяти уже почти 20 лет ведутся дебаты на разных уровнях о создании единой системы норм, стандартов, требований, новой программы обучения и профессионального образования. Предложение простое, давайте начнем хотя бы с этих двух простых и понятных вопросов, а далее может с годами будем к ним присоединять следующие. Мне кажется, было бы вполне разумно в рамках Гипсовой ассоциации до конца текущего года сформировать единую позицию ее членов по двум выше описанным вопросам. Совместно с производителями ССС выпустить брошюру – рекомендации для строителей и заказчиков, снабдив ее подписями всех производителей- членов Ассоциации. Настоятельно рекомендовать производителям к следующему строительному сезону обеспечить рынок своих потребителей данными рекомендациями и включить в маркетинговые программы мероприятия, связанные с разъяснением потребителям этих двух моментов. Также на сайтах производителей организовать раздел с информацией по данной тематике. Для меня очевидно, что те небольшие затраты, которые связаны с разъяснением

рынку данных вопросов с лихвой покроемся доходом от увеличения реализации грунтовочных материалов, снижением количества рекламаций и возвратов материалов по причине возникновения трещин, возможностью увеличения маржинальности продуктов в сегменте эконом.

# **СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА ПО ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ФОСФОГИПСА И ФОСФОПОЛУГИДАТА С ИЗВЛЕЧЕНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОИЗВОДСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В.  
АНО ДПО «Техническая академия Росатома»*

Специфической особенностью экономики России является ее во многом природно-ресурсный, сырьевой характер. На долю природных ресурсов приходится 97,3 % современной стоимости национального богатства страны, в котором преобладающее значение (97,7 %) имеют полезные ископаемые. Доля природно-ресурсного комплекса отраслей составляет более 50 % в валовом внутреннем продукте (ВВП) России и около 70 % в объеме экспорта. Удельный расход природных (в том числе энергетических) ресурсов на единицу ВВП и национального богатства в два раза превышают в России национальные нормативные затраты и более чем в три раза – мировые [3, 6, 7]. Как следствие выбросы загрязняющих веществ примерно во столько же раз выше. Удельный вес минерально-сырьевого комплекса в ВВП развитых мировых держав-лидеров горнодобывающей промышленности значительно ниже, чем в России: в США – 4,8, в Австралии, Бразилии и Чили – более 8, в Канаде – 11, в ЮАР – около 15 % [1, 2]. С одной стороны это объясняется более скромным минерально-сырьевым потенциалом, с другой – высоким уровнем обрабатывающей промышленности и других секторов экономики.

В настоящее время Россия использует только 2,7 % своих потенциальных экономических ресурсов. В США коэффициент полезного использования национального богатства на порядок больше, составляя 28,5 %. В экономически развитых странах Европы данный коэффициент достигает 50 %, а по отдельным видам природных ресурсов (земельным и водным ресурсам, полезным ископаемым – углю, нефти, газу) – 75-80 % [6]. Это свидетельствует о высокой эффективности хозяйствования в названных странах и о значительном истощении собственных природных ресурсов. Россия, обладая значительным природно-ресурсным потенциалом, при рациональном его использовании в течение относительно значительного времени (30-50 лет) будет иметь преимущество по сравнению с экономически развитыми странами, где природные ресурсы в значительной мере исчерпаны. В перспективе место России в мировой экономике будет зависеть от того, насколько рационально будет использовано это временное преимущество, насколько эффективно будет решена проблема интеграции естественных ресурсов и достижений научно-технического прогресса с использованием современных ресурсосберегающих технологий переработки природного сырья и производством конкурентоспособной продукции. [4]По данным российских источников, за 80-летний период освоения хибинского месторождения извлечено 1 млрд. 550 млн. т руды (примерно половина промышленных запасов), выработано 620 млн. т апатитового концентрата. При

этом не извлечено в промышленном масштабе ни одной тонны редкоземельных металлов (РЗМ). Практически утеряно не менее 6 млн. т ценнейших металлов и около 20 млн. т стронция, что составляет трехкратный мировой баланс этого стратегического металла. Основная масса этих металлов находится в отвалах и, в частности, в отвалах фосфогипса в России, Украине и Белоруссии. [5]

Речь идет о создании производственного комплекса по глубокой переработке фосфогипса (ФГ) и фосфополугидрата (ФПГ), который станет замыкающим звеном в технологии комплексной (безотходной) переработки апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова. При этом преследуются цели расширения сырьевой базы РФ гипса и редкоземельных элементов (РЗЭ), создание производства РЗЭ, создание производства строительных материалов, снижение экологической нагрузки на окружающую среду, увеличение налоговой базы.

Глобальному решению проблемы комплексной (безотходной) переработки апатитонефелиновой породы мешают следующие обстоятельства:

*Рост объемов ФГ и ФПГ связан с необходимостью увеличения производства фосфорных удобрений для поддержания плодородия почв и обеспечения продовольственной безопасности страны. Научно-обоснованная потребность в настоящее время в фосфорных удобрениях удовлетворяется не более чем на 50 %.*

*Невозможность сбалансировать материальные потоки перерабатываемого ФГ (15 млн. т в год) в пределах одной отрасли.* Проблема является межотраслевой, т.к. находится на стыке отрасли по производству минеральных удобрений и целого ряда отраслей экономики РФ. Ежегодный выход фосфогипса позволяет покрыть потребности в гипсе и РЗЭ: сельского хозяйства (при мелиорации солонцовых почв); дорожного строительства (основания дорог); промышленности строительных материалов; целлюлозно-бумажной промышленности (наполнители для бумаги); ядерной промышленности; оборонной промышленности; электроники; машиностроения и автомобилестроения. Межотраслевая разобщенность мешает реализовать огромные преимущества от вовлечения в производство ценного техногенного сырья, снижению экологической нагрузки на окружающую среду, обеспечению устойчивого развития. Территориальная разобщенность. Отвалы ФГ и ФПГ находятся в пяти федеральных округах и девяти регионах России. Незаинтересованность владельцев природного сырья в появлении альтернативных источников техногенного сырья. Рынок гипса сегодня является высококонцентрированным. 80 % гипсового камня добывается на месторождениях, принадлежащих трем крупнейшим компаниям – «Кнауф» (62 %), «Волма» (14 %), Пешеланский гипсовый завод «Декор-1» (4 %) не заинтересованных в появлении альтернативных источников гипсового сырья. В настоящее время сложилась парадоксальная ситуация: складировав ежегодно в гипсонакопителях 15 млн. т фосфогипса, одновременно добывается 5-6 млн. т гипсового камня, нанося тем самым российской экологии колоссальный вред. Многократно увеличивается экологический ущерб окружающей среде от хранения фосфогипса и проведения горно-технических работ по добыче природного гипсового камня. Минпромторг включил в госпрограмму по развитию промыш-

ленности РФ и повышению ее конкурентоспособности раздел о редкоземельных металлах. Группа «Фосагро» совместно с бельгийской Prayon запустила демоустановку по извлечению РЗЭ из фосфогипса. В будущем мощность «Фосагро» по производству редкоземельных оксидов может составить 7 тыс. т в год. «Уралхим» на своих «Воскресенских минудобрениях» также уже несколько лет разрабатывает технологию доизвлечения полезных элементов, в том числе РЗЭ, из фосфогипса. «Акрон» объявил о намерении вложить \$25 млн в запуск мощностей по извлечению редкоземельных элементов из апатитового концентрата. Строительство участка получения редкоземельной продукции продолжается. Мощность опытно-производственной линии составит 200 т в пересчете на оксид.

*В настоящее время усилия всех заинтересованных сторон разобщены, направлены на реализацию узковедомственных интересов и, как следствие, малоэффективны. Данная проблема имеет исключительно комплексное решение. Максимального финансового и экологического эффекта можно добиться объединив усилия всех заинтересованных сторон.*

Потенциальными участниками проекта являются:

1. Владельцы техногенного сырья холдинг «Фосагро», Гомельский химический завод Республика Беларусь. Мотивация уменьшение расходов на транспортировку и хранение ФГ и ФПГ, снижение экологических платежей, сокращение расходов на строительство и содержание новых гипсонакопителей, получение дополнительной прибыли от реализации новых видов продукции из собственного техногенного сырья.

2. Потребители продукции из ФГ и ФПГ (РЗЭ) предприятия: ГК «Ростехнологии», ГК «Росатом», оборонной промышленности, электронной промышленности, машиностроения и автомобилестроения. По экспертным оценкам потребность РФ в РЗЭ составляет: 8,2 тыс. т., промышленность строительных материалов (в Северо-западном регионе гипсовые заводы потребляют – 300 тыс. т гипса, цементные заводы – 580 тыс. т гипсового камня). Строительство – 200 тыс. т гипса и изделий из гипса. Мотивация снижение затрат на производство, уменьшение зависимости от монополистов, появление альтернативных источников сырья.

3. Разработчики технологии. Мотивация продвижение на рынок своих разработок, капитализация научных разработок, получение прибыли от реализации разработок, повышение рейтинга научно-практической результативности.

4. Региональные правительства. Мотивация снижение экологической нагрузки на окружающую среду, обеспечение устойчивого развития территорий, расширение налоговой базы.

Производства по извлечению РЗЭ и выпуску строительных материалов должны располагаться на единой площадке в непосредственной близости с местом образования ФГ и ФПГ.

Данным критериям в наибольшей степени соответствуют производственные площадки, прилегающие к территории ОАО «Аммофос» холдинга «Фосагро»

г. Череповец, Вологодской области и Гомельского химического завода, город Гомель, Республика Беларусь.

Объемы переработки ФГ и ФПГ в настоящее время ограничены потребностями рынка готовой продукции из них. По экспертным оценкам рынок строительных материалов Северо-Запада РФ способен потребить 500 тыс. т. материалов из гипсового вяжущего и 580 тыс. т. гипсового камня для цементной промышленности. Внутренний рынок РФ по РЗЭ оценивается экспертами 8,2 тыс. т. С учетом расходных коэффициентов 1,2 по ФГ и 1,45 по ФПГ возможно обеспечить комплексную (безотходную) технологию переработки ФГ в объеме 600 тыс. т и ФПГ в объеме 841 тыс. т., что составит более 35 % ежегодного выхода ФГ и ФПГ на Череповецком ОАО «Аммофос». При извлечении РЗЭ в объеме 0,8 % от массы исходного сырья возможно извлечь около 10 тыс. т РЗЭ, что полностью покрывает потребности российской промышленности и создает возможности для экспорта 1,8 тыс. т РЗЭ.

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь суммарная потребность в гипсовом сырье достигает 1 млн. т в год и сегодня полностью покрывается зарубежными поставщиками гипсового камня, который с успехом может быть замещен ФГ и ФПГ Гомельского химического завода.

### Литература

1. Бурцев И.Н., Рябинкина К.С., Бурцева И.Г. Недропользование и охрана окружающей природной среды за рубежом. - Сыктывкар: Геопринт, 2001. -215с.
2. Воробьев А. Е. и др. Глобализация и рынки минерального сырья /А.Е.Воробьев, Г.А.Балыхин, С.Ф.Усманов, Т.Ф.Чекушина; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Е.Воробьева. - Бишкек: Изд. КРСУ, 2003. – 294с.
3. Гирусов Э. В. И др. Экология и экономика природопользования: Учебник для вузов /Под ред. Проф. Э.В.Гирусова, проф. В.Н.Лопатина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, Единство, 2002. – 519с.
4. Ларичкин Д.Ф. Экономическая эффективность рационального недропользования в горнорудной промышленности. Диссер. д.э.н: Апатиты, 2004
5. Товажнянский Л.Л. и др. Комплексная переработка фосфогипса с извлечением редкоземельных элементов // Інтегровані технології промисловості, №2, 2008, С. 73-81.
6. Федоренко Н.П. Россия: уроки прошлого и лики будущего. / М.: Экономика, 2001. – 489с.
7. Российский статистический ежегодник. - М.: Госкомстат, J 999. – 642с.

## **КОМПЛЕКСНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ХИБИНСКОГО АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА**

*Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В.  
АНО ДПО «Техническая академия Росатома»*

При производстве комплексных минеральных удобрений из апатитового концентрата, полученного из апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова, образуются промышленные отходы – фосфогипс (ФГ) и фосфополугидрат (ФПГ). До настоящего времени в РФ отходы не перерабатываются, направляются в накопители, что связано с отчуждением значительных территорий и вызывает экологический ущерб – загрязнение окружающей среды, атмосферы, почвы и грунтовых вод. В РФ ежегодно образуется 15 млн. т ФГ и масса отхода в накопителях промышленных предприятий превышает 400 млн. т.

ФГ можно использовать для производства серной кислоты, которая применяется в основном процессе при разложении сырья, но при сравнительно низких ценах на природную серу, полученная из ФГ кислота является конкурентоспособной. Полная переработка ФГ и ФПГ возможна только при их использовании для производства строительных материалов и в строительстве.

В РФ первые исследования ФГ выполнены НИУИФ. За прошедшие 60 лет предложены и разработаны различные варианты промышленной переработки, однако ФГ и ФПГ направляются в накопители. Предложенные варианты согласуются с условиями отбора и типом образующегося отхода. В промышленных условиях применяются различные варианты разложения сырья и образуются отходы, отличающиеся по составу:

1. При дигидратном режиме разложения апатита ФГ с основного технологического процесса, после фильтрации жидкой фазы характеризуется повышенной влажностью, по сравнению с аналогичным показателем природного гипсового камня, содержит ортофосфорную кислоту, фосфаты фториды и его переработка требует введения дополнительных технологических операций – нейтрализует кислот в жидкой фазе и сушки. Преимуществом отбора с фильтра являются относительно стабильные влажность, химический и зерновой состав ФГ.

2. ФГ из накопителя является источником загрязнения окружающей среды, но при воздействии атмосферных осадков содержание вредных примесей в отвальном ФГ понижается. Нейтрализация кислот в жидкой фазе производится на производстве основного продукта. К недостаткам отвального ФГ следует отнести изменение влажности, в зависимости от



климатической зоны, времени года и места отбора отхода. Переработка отвального ФГ требует введения операции подготовки (гомогенизации).

3. При полугидратном режиме разложения апатита, ФПГ после фильтрации жидкой фазы содержит преимущественно полуводный сульфат кальция, который потенциально является гипсовым вяжущим веществом, широко применяемым в современном строительстве. В определенных условиях производство строительных материалов и изделий из ФПГ позволяет исключить энергозатратный технологический передел – приготовление гипсового вяжущего вещества. ФПГ, отобранный с фильтра, содержит ортофосфорную кислоту, фосфаты и фториды, которые замедляют процессы твердения при производстве строительных материалов, что во многих случаях недопустимо. Необходимым условием переработки ФПГ является либо снижение концентрации примесей в жидкой фазе (обогащение), либо активация процессов гидратации и твердения полуводного сульфата кальция.

Для названных трех типов отходов и условий отбора, предложений, разработаны, опробированы в лабораториях, опытно-промышленных и производственных условиях различные технологии переработки ФГ и ФПГ, в том числе энергосберегающие, позволяющие получать гипсовые вяжущие и строительные материалы, способные конкурировать с аналогичной продукцией, изготовленной из природного сырья:

1. При переработке отвального ФГ снижение затрат достигается применением современных существующих технологий и оборудования, совмещением процессов сушки и дегидратации в одном агрегате, например в мельницах различных типов, трубе-сушилке и др., что подтверждено опытом промышленного производства ассоциации «Волховчане» [1]. К преимуществам этого варианта следует отнести возможность производства широкой номенклатуры строительных материалов и изделий – вяжущих веществ, сухих смесей и других, а также применение существующих технологий и оборудования промышленности строительных материалов, т. к. вяжущее из ФГ должно соответствовать требованиям ГОСТ 125.

К недостаткам переработки следует отнести значительные колебания влажности отвального ФГ, в зависимости от климатической зоны, времени года и места отбора ФГ в накопителе. Переработка требует введения операции подготовки (гомогенизации) отхода.

2. Фосфогипс, отобранный с основного технологического процесса имеет сравнительно стабильное содержание жидкой фазы и примесей. Влажность ФГ обычно превышает аналогичный показатель природного

гипсового камня. Снижение затрат может быть достигнуто различными способами.

2.1 Применением современных технологий и оборудования, например, сушка и обжиг ФГ во взвешенном состоянии. Опыт работы ОАО «Волховчане» показал, что при отсутствии в регионе месторождений природного гипсового камня строительные материалы из ФГ могут успешно конкурировать с аналогичной продукцией из природного сырья.

2.2 ФГ содержит 2,1% массы редкоземельных элементов (РЗЭ), являющихся ценным промышленным сырьем. Полная, комплексная переработка апатитового концентрата может быть осуществлена при предварительном извлечении РЗЭ из ФГ. Кольским научным центром предложена технология извлечения РЗЭ из ФГ [2]. Приведенное авторами исследование показало, что качество ФГ как промышленного сырья повышается после извлечения РЗЭ. Следовательно, это позволит обеспечить промышленность материалами на основе РЗЭ и понизить экологическую токсичность строительных материалов.

2.3 Перспективным способом сушки и дегидратации ФГ является обработка электромагнитным полем резонансной частоты, применение ИК-сушилок. Использование эффекта резонанса позволяет существенно сократить расход энергии на термообработку. Авторами разработана методика определения частот валентных и резонансных колебаний ФГ, полученного из различного сырья и содержащего примеси, в том числе образующие твердые растворы.

3. ФПГ с фильтра состоит из полуводного сульфата кальция также, как и гипсовые вяжущие вещества. Примеси, содержащиеся в ФПГ – ортофосфорная кислота, фосфаты и фториды являются замедлителями процессов гидратации и твердения полугидрата, поэтому ФПГ не может быть использован в производстве изделий на существующем высокопроизводительном оборудовании, промышленности стройматериалов, рассчитанном на высокую скорость твердения формовочных смесей.

Авторами разработана технология производства строительных изделий путем механохимической (МХА) активации ФПГ [3]. В ФПГ с фильтра вводится комплексная добавка, состоящая из твердого компонента, содержащего силикаты кальция, например портландцемента, шлака, и жидкого компонента, например серной кислоты, которая используется в основном технологическом процессе. Далее производится механическая обработка смеси, например на бегунах. Ускорение процессов твердения обусловлено механической обработкой и гетерогенным катализом. Предложенная технология позволяет исключить технологический передел

производства вяжущего при производстве строительных изделий, что позволяет понизить затраты. По предложенной технологии осуществлялось производство гипсовых плит из ФПГ Воскресенского химкомбината. Недостатком технологии является ограниченная номенклатура изделий – производство гипсовых плит для перегородок и блоков. Перспективной является производство гранул для цементных заводов. Исключение процессов тепловой обработки, в том числе сушка гранул, позволяет получить добавку, способную конкурировать с природным гипсовым камнем [4]. Опытные партии портландцемента, с гранулированным ФПГ, выпускают на Волховском цементном заводе.

### **Литература**

1. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. «Промышленная переработка фосфогипса» Стройиздат СПб 2007, 105с.
2. Локшин Э.П., Тареева О.А. «Разработка технологий извлечения РЗЭ при сернокислотной переработке Хибинского апатитового концентрата. Апатиты 2015, с. 4-13
3. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. «Энергосберегающие технологии переработки фосфогипса» Строительные материалы, №12 2005, с. 56-57
4. Мещеряков Ю.Г. и др. «Применение гранулированного фосфополугидрата в производстве цемента Целлат» 1987, с. 12

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БЕЗОБЖИГОВЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

*Новиченкова Т.Б., Данякин В. А., Петропавловская В.Б.  
Тверской государственный технический университет*

Структура гипсового камня конденсационного твердения, формирующаяся в системе двуводного гипса без стадии гидратации, имеет более плотную упаковку частиц по сравнению с гипсовым камнем гидратационного твердения, что объясняется применением нормированного зернового состава сырьевой смеси на основе бинарных смесей дигидрата сульфата кальция и технологии полусухого прессования [1]. Частичная замена тонкодисперсной составляющей сырьевой смеси дигидрата готовой высокодисперсной минеральной добавкой возможно позволит не только повысить энергетическую эффективность, снизить затраты на получение композиционных материалов и изделий, но и улучшить эксплуатационные характеристики материала.

Известно, что ультра- и нанодисперсные порошки, при их введении в гипсовые и ангидритовые композиционные составы, могут способствовать изменению размера и морфологии кристаллических новообразований и формированию упорядоченной, плотной и однородной структуры композиционного материала, что приводит к снижению дефектности структуры, пористости и увеличению площади контактов кристаллогидратов, обеспечивающих повышение физико-механических показателей гипсовых материалов [2].

Однако процесс структурообразования модифицированных композитов на основе дигидрата сульфата кальция имеет свои особенности. Известно, что для образования фазовых контактов в условиях конденсационного твердения таких систем необходимо соблюдение однородности кристаллизующегося вещества и подложки. Поэтому необходимо учитывать воздействие размера, физико-химической активности частиц вяжущего и добавок на процесс кристаллизации эффективного композита [3, 4].

В работе исследовалось влияние давления прессования и водотвердого отношения на свойства структур конденсационного твердения на основе модифицированного дигидрата сульфата кальция с дисперсной техногенной добавкой.

В качестве основного компонента использовались отходы Конаковского фарфоро-фаянсового завода в виде отработанных форм для литья, изготовленные в условиях фарфоро-фаянсового завода литьевым способом из вяжущего Пешеланского гипсового комбината. Исследования проводились с

использованием бинарных сырьевых смесей со средним размером частиц в составе гипсовых порошков грубого и тонкого помола 4,18 и 2,8 мкм соответственно [4]. В качестве дисперсного модификатора была использована техногенная пыль, образующаяся в условиях промышленного производства и включающая органическую и минеральную составляющую. Оптимальное содержание техногенного модификатора в исследованиях было принято 10% по результатам исследований, выполненных ранее.

Зерновой состав порошков выявляли расчетным и экспериментальным способом, в том числе – по результатам дисперсионного анализа на лазерном анализаторе размеров частиц Fritsch Particle Sizer Analysette 22. Среднюю плотность и прочность прессованных гипсовых образцов-цилиндров, полученных методом полусухого прессования на лабораторном гидравлическом прессе, оценивали стандартными методами.

Согласно проведенным исследованиям модифицированного композиционного гипсового материала отмечается, что с увеличением давления прессования от 30 до 90 МПа происходит монотонное повышение механических характеристик композиционного материала до значения давления 60 МПа, а затем наблюдается спад прочностных характеристик. Исследованиями прочности модифицированного гипсового камня (рисунок 1) от В/Т отношения установлено, что зависимость носит параболический характер для всех исследованных составов. Максимальная прочность наблюдается при  $V/T=0,065$ . В интервале водотвёрдого отношения от 0,05 до 0,065 и давления прессования от 30 до 60 МПа прочность композиционного материала увеличивается, что объясняется, по-видимому, повышением количества кристаллизационных контактов и увеличением площади единичных контактов. Это приводит к структурированию гипсовой матрицы и достижению максимального уплотнения гипсового композита.

Дальнейшее увеличение водотвёрдого отношения до 0,07 и давления до 90 МПа способствует разуплотнению структуры модифицированного гипсового камня и повышению его пористости (рисунок 2). Количество высокодисперсной фазы дисперсной системы превышает оптимальное значение, что и приводит к снижению свойств композиционного материала.

Немаловажным фактором является совместное влияние давления и водотвёрдого отношения на прочность и плотность модифицированной структуры. В/Т варьировалось от 0,05 до 0,07.

При увеличении водосодержания в системе до 0,065 (рисунок 3) прессуемость порошковой сырьевой смеси улучшается за счет образования водных прослоек вокруг зерен композиционного материала, способствующих более плотной упаковке частиц.

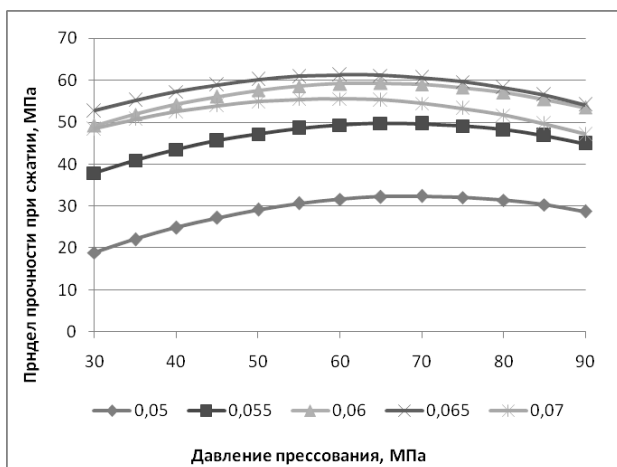


Рисунок 1. Зависимость прочности модифицированного камня конденсационного твердения на основе двухводного гипса от давления прессования и водотвердого отношения

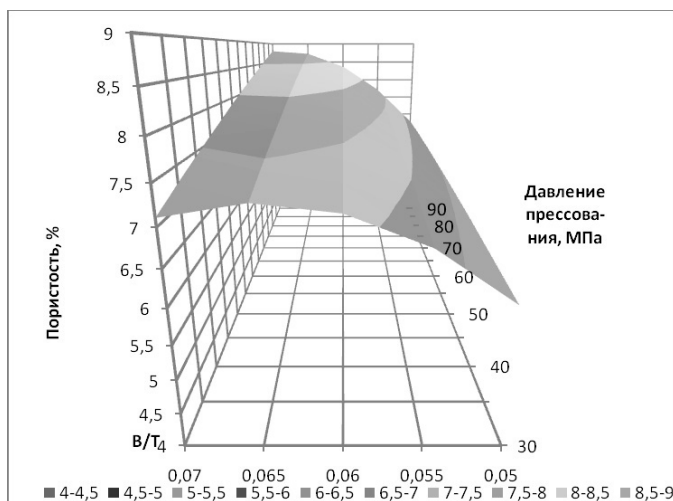
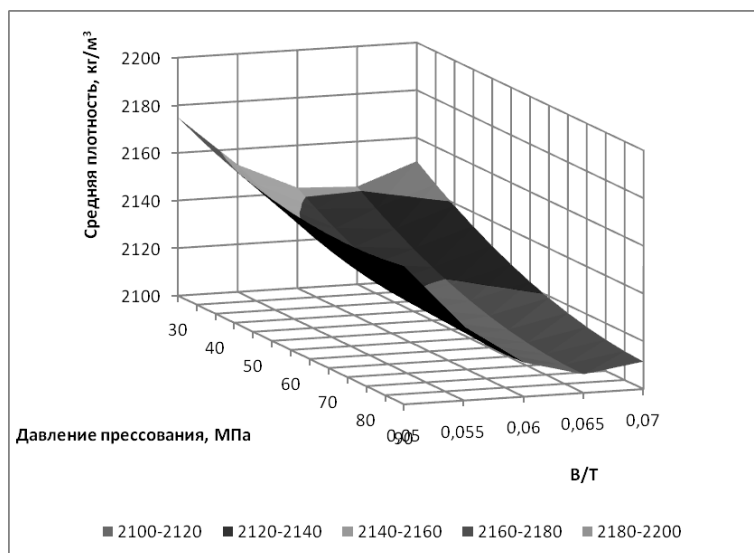


Рисунок 2. Зависимость пористости модифицированного гипсового камня конденсационного твердения от давления прессования и водотвердого отношения



*Рисунок 3. Изменение плотности модифицированного камня конденсационного твердения на основе двуводного гипса от водотвердого отношения и давления прессования*

При этом происходит выдавливание в пустоты между крупной фазой пластичной тонкодисперсной фазы. Дальнейшее увеличение водотвердого отношения снижает физико-механические характеристики материала. Это возможно объясняется избыточным количеством воды, которое приводит к недоуплотнению сырьевой смеси. Определенному гранулометрическому составу смеси соответствует определенное водотвердое отношение, при котором прочность получаемого материала достигает максимального значения вследствие пластифицирующего действия воды. Для модифицированного гипсового композита оптимальное водотвердое отношение по показателям прочности и структурных характеристик составляет 0,065.

Таким образом, регулирование свойств гипсовых композиций конденсационного твердения путем модификации их состава отходом производства базальтового волокна позволит обеспечить повышение физико-технических свойств гипсовых материалов и изделий на их основе при обеспечении оптимальных условий структурообразования. Определенному гранулометрическому составу смеси соответствует определенное водотвердое отношение, при котором прочность получаемого материала достигает максимального значения вследствие пластифицирующего действия воды. Оптимальное водотвердое отношение для модифицированного состава гипсовой сырьевой смеси по показателям прочности и структурных характеристик составляет 0,065. Композиционный

гипсовый материал оптимального состава характеризуется средней плотностью 2150 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии– 63 МПа.

### Литература

1. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Гранулометрический состав как критерий регулирования свойств дисперсных систем // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 64-65.

2. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2010. № 7. С. 25–27.

3. Бурьянов А.Ф., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б. Повышение энергоэффективности минеральных вяжущих веществ // Сухие строительные смеси. 2010. № 1. С. 14–16.

4. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф. Закономерности влияния зернового состава на свойства сырьевых смесей прессованных гипсовых материалов // Строительные материалы. 2011. № 6. С. 4-5.



## ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ГИПСОВОЙ МАТРИЦЫ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ДОБАВКИ СЕРНОКИСЛОГО АЛЮМИНИЯ

*Петропавловская В.Б.<sup>1</sup>, Новиченкова Т.Б.<sup>1</sup>,  
Бурьянов А.Ф.<sup>2</sup>, Петропавловский К.С.<sup>1</sup>, Кондрашов А. К.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет  
<sup>2</sup> Московский государственный строительный университет*

Повышение физико-механических характеристик гипсового вяжущего, модифицированного сульфатными и сульфоалюминатными добавками (модификаторами), может привести к образованию этtringита и, как следствие, к самоармированию гипсовой матрицы. В дисперсной системе на основе полугидрата сульфата кальция, на структурном уровне цементирующего вещества, путем управление процессом кристаллизации вещества гипсовой матрицы при твердении возможно образование игольчатых и призматических кристаллов гидросульфоалюминатов кальция, которые будут упрочнять структуру гипса [1].

Следовательно, армирование гипсовой матрицы кристаллами дисперсного модификатора нано метрового размера может позволить не только упрочнить структуру камня, а, следовательно, повысить физико-механические свойства гипсовой матрицы и материала на ее основе, но и придать им повышенные эксплуатационные характеристики за счет перехода дигидрата сульфата кальция в менее растворимые соединения [2].

Причем при выборе вида добавки необходимо учитывать, что вводимая добавка должна иметь близкие структуры и химический состав к армируемой матрице, как отмечается многими авторами. Армирующее вещество должно обладать большим количеством поверхностно активных центров. На этих центрах будет происходить диссоциативная адсорбция молекул воды, что и должно привести к увеличению числа свободных носителей заряда. В результате будет происходить ускорение формирования структуры гипсового конгломерата и увеличение его прочности [3].

В работе было исследовано влияние содержания компонентов комплексной наномодифицирующей добавки на свойства гипсовой матрицы.

В работе в качестве основного компонента применяли гипсовое вяжущее  $\alpha$ -модификации марки Г-16 ЗАО «СГК» Самарской области. Минералогический состав применяемого вяжущего указан в таблице 1. Химический состав гипсового вяжущего Г-16 приведен в таблице 2.

Высокопрочный гипс  $\alpha$ -модификации, марки Г-16 Самарского гипсового комбината, характеризуется низкой водопотребностью 35-40 %, началом схватывания – 4-5 минут, концом схватывания – 20 минут.

Зерновой состав характеризуется по ГОСТ 125 остатком на сите 0,2 мм 0,5 %. Водопоглощение – 18 %. Объемное расширение – не более 0,25 %.

Прочность при сжатии после 2 часов твердения – 16 МПа, прочность на растяжение при изгибе 6-7 МПа.

Содержание металлопримесей в 1 кг гипсового вяжущего – не более 10 мг.

*Таблица 1*

*Минералогический состав гипсового вяжущего марки Г-16 ЗАО «СГК» Самарской области*

Содержание	% по масс.
CaSO <sub>4</sub> ·0,5 H <sub>2</sub> O	95,09
MgCO <sub>3</sub>	2,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7
Нерастворимые в HCl	0,8

*Таблица 2*

*Химический состав гипсового вяжущего марки Г-16 ЗАО «СГК» Самарской области*

ППП	Содержание оксидов, масс. %					
	CaO	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Нерастворимые в HCl	Сумма
21,17	31,08	44,23	0,7	1,3	0,8	99,28

В качестве составляющих модифицирующей добавки применялись растворы сернокислого алюминия Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O и гидроксида кальция Са(ОН)<sub>2</sub>. В исследованиях использовался насыщенный раствор извести Угловского известкового комбината Новгородской области. Качественные показатели извести сведены в таблицу 3.

В целях исследования влияния добавки на прочность и плотность гипсовой матрицы изготавливались образцы размером 0,02 · 0,02 · 0,02 м и образцы-балочки размером 0,04 · 0,04 · 0,16 м. Твердение образцов в течение 3 суток осуществляли в воздушно-сухих условиях. Испытывались на прочность образцы в естественном состоянии, без предварительной сушки до постоянной массы.

Результаты исследований зависимости прочности при сжатии гипсового камня от содержания сернокислого алюминия Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O приведены на рисунке 1. Концентрация гидроксида кальция составляла в смеси 27 мл. Водотвердое отношение в данных исследованиях также было принято постоянным – 0,36.

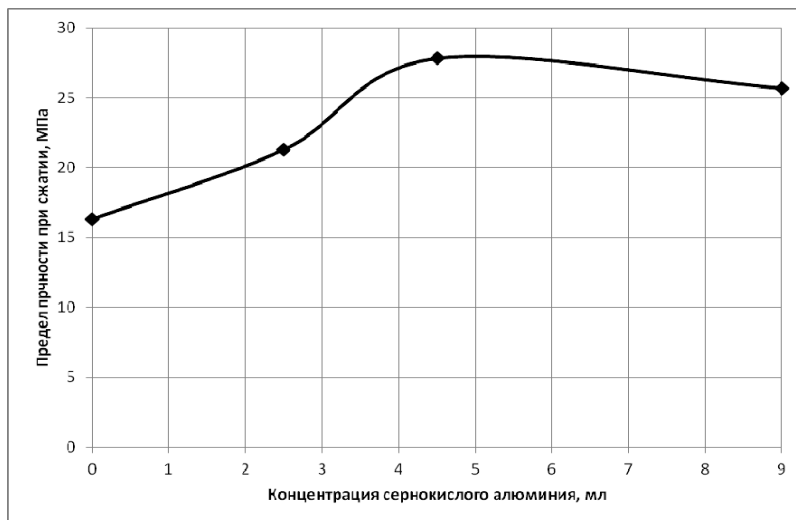
Таблица 3

*Качественные показатели воздушной извести Угловского известкового комбината Новгородской области*

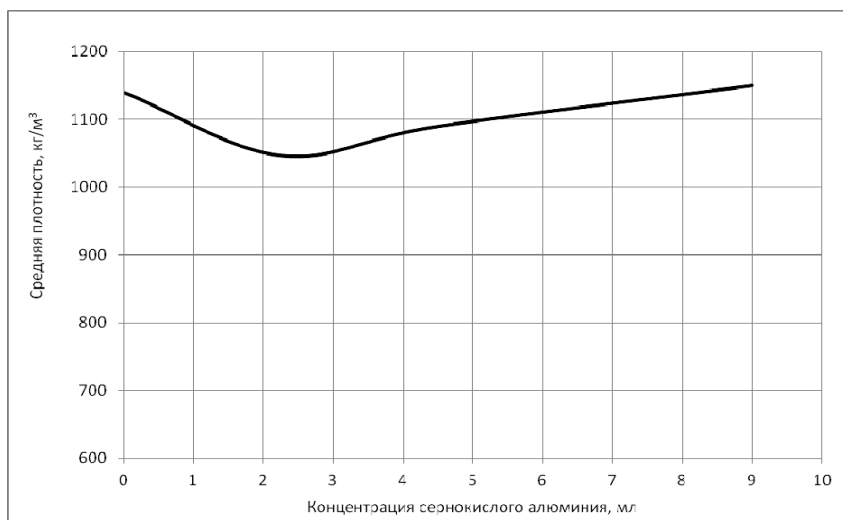
Требования ГОСТ 9179		Средние показатели
Активные CaO+MgO, %	Не менее 80	85,54
CO <sub>2</sub> , %	Не более 5	4,3
Пережог, %	Не более 2	0,98
Остаток на сите: 0,20 мм 0,08 мм	До 15	0,16
		3,24
Гидратная влага, %	Не более 2	1,26
Время гашения, мин.	Не более 8	4'08"

Приведенные данные показывают, что в интервале изменения концентрации сернокислого алюминия от 0 до 4,5 мл происходит рост прочности на 81 %, что обусловлено ростом объемной концентрации гидросульфалюмината и его вкладом в формирование структуры гипсовой матрицы. При дальнейшем увеличении концентрации  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  в составе добавки происходит снижение прочности гипсового камня, но достаточно незначительное – при увеличении концентрации от 4,5 до 9 мл прочность снижается на 8 %.

Исследования зависимости плотности модифицированного гипсового камня от концентрации  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  приведены на рисунке 2.



*Рисунок 1. Прочность гипсового камня с комплексной добавкой в возрасте 3 суток*



*Рисунок 2. Плотность гипсового камня с комплексной добавкой в возрасте 3 суток*

Показано, что в диапазоне изменения концентрации  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  от 0 до 2,5, происходит снижение плотности на 9 %, в дальнейшем плотность начинает расти до первоначального значения. Таким образом, исследованиями установлено, что плотность гипсового модифицированного камня практически не зависит от содержания добавки.

По ранее полученным результатам исследования зависимости физико-механических характеристик гипсовой матрицы от концентрации сернокислого алюминия в дальнейших исследованиях принимался диапазон изменения концентрации раствора от 2,5 до 6, 5 мл.

Полученные результаты показали, что наибольшей прочностью обладают композиты на основе полуводного гипса с комплексной нано модифицирующей добавкой. Композиты с добавкой гидроксида кальция, характеризуются несколько меньшей прочностью, что обусловлено увеличением количества контактов в единице объема кристаллизующегося вещества в случае самоармирования волокнами этtringита.

## Литература

1. Строкова, В.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем / В.В. Строкова, А.В. Череватова, И.В. Жерновский, Е.В. Войтович // Строительные материалы. 2012. №7. С.9-12.

2. Петропавловская, В.Б. Самоармированные гипсовые композиты / В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова, А.Ф. Бурьянов, Х.Б. Фишер, К.С. Петропавловский // Строительные материалы. 2014. №7. С.19-22

3. Гаркави, М.С. Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах / М.С. Гаркави, С.А. Некрасова, Е.А. Трошкина // Строительные материалы. 2013. №2. С.38-40.

4. <http://alsid55.ru/gipsy-vysokoprohnie/gips-g-16-b-3> (дата обращения 11.04.2018 г).

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Петропавловская В.Б., Новиченков Г.В., Чубисов И.Е.  
Тверской государственнй технический университет*

Гипсовые материалы относятся к числу эффективных и перспективных видов строительных материалов, производство которых в настоящее время требует расширения и усовершенствования с учетом последних достижений науки. Производство гипсовых вяжущих веществ в 5...10 раз менее энергоемко по сравнению с производством цемента. [1, 2]. Так же преимуществами гипсового вяжущего являются его быстрые сроки схватывания, а, следовательно, высокая оборачиваемость форм, обрабатываемость[3]. Гипсовые материалы и изделия являются экологически чистыми, обладают хорошей тепло– и звукоизоляцией. Благодаря высокой пористости работают как природный кондиционер, регулируя влажность воздуха внутри помещений. Однако они имеют ряд недостатков, сдерживающих их развитие – низкую водостойкость и ползучесть конструкций при их увлажнении. Широкое применение гипсовых материалов и изделий сдерживается, в том числе, из-за недостаточной изученности свойств и потенциальных возможностей улучшения гипсовых и, особенно, ангидридовых вяжущих, а также промышленных технологий и оборудования, для изготовления эффективных материалов и изделий. В соответствии с вышеуказанными свойствами гипсовые вяжущие и изделия на их основе целесообразно использовать внутри помещений [3]. Поскольку гипс часто применяют для создания декоративных элементов, таких как 3d панели, лепнина, перегородки различного типа, повышение прочности на изгиб является актуальной задачей из-за малой толщины этих изделий, что может быть причиной их повреждений при транспортировке, установке и эксплуатации.

Повышения прочности на изгиб можно добиться путем армирования гипса различными видами волокон [4, 5, 6].

Установлено, что прочность гипсового материала повышается за счет введения в состав сырьевой смеси таких волокнистых материалов, как стекловолокно, базальтовое и полимерные волокна [7] в сочетании с различными добавками [8, 9]. Помимо базальтового волокна в качестве армирующего компонента может быть использована и базальтовая пыль. Её введение в состав гипсового материала повышает механическую прочность изделий. Но многие армирующие материалы помимо положительных качеств имеют ряд существенных недостатков. Так базальтовое волокно не выделяет вредных веществ, является химически стойким, паропроницаемым, обладает

небольшой теплопроводностью, отличается большой механической стойкостью. А, например, стекловолокно недостаточно устойчиво к химическим реакциям. Современная стеклофибра подвержена деформации, причем даже при небольшом растяжении и быстрому износу [10].

Введение армирующих компонентов требует также исследования реологических свойств сырьевых смесей и долговечности получаемых материалов [11, 12, 13].

При проведении экспериментов в качестве вяжущего использовался высокопрочный гипс марки Г-16 Самарского гипсового завода. В качестве армирующей добавки использовался отход базальтового волокна ООО «Парок» Тверской области.

**Технические параметры отхода:**

Основное вещество: базальт

Цвет: бронзовый

Плотность: 2800 кг/м<sup>3</sup>

Диаметр отдельного волокна: 13-20 мкм

Тип волокна: монофиламентный

Форма: отдельные волокна, собранные во временные пучки

Линейная плотность: до 480 dtex

Прочность на разрыв: 45 - 55 Гс/tex

Коэффициент растяжения: 4,5 - 8 %

Температура эксплуатации: от -260 до + 700°С

Температура кратковременной экстремальной эксплуатации: 900°С

Температура плавления: 1450°С

Устойчиво к кислотам и щелочам [6].

Исследования влияния отходов базальтового волокна на свойства композиционного гипсового материала проводились на равноподвижных смесях.

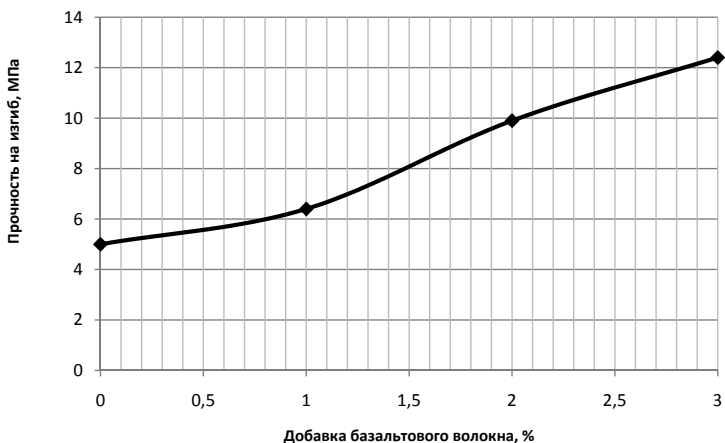
При определении оптимального количества волокнистого наполнителя исследовались составы, в которых процентное содержание отхода базальтового волокна варьировалось в пределах 1-3 % от массы гипсового вяжущего. Зависимости свойств модифицированных гипсовых образцов от процентного содержания отхода базальтового волокна представлены на рисунках 1, 2.

Как видно на графике прочность гипсовых образцов монотонно повышается с увеличением количества добавки отхода базальтового волокна (рис. 1). При добавлении волокна в количестве 3 % по массе, предел прочности при изгибе увеличивается более чем в 2 раза.

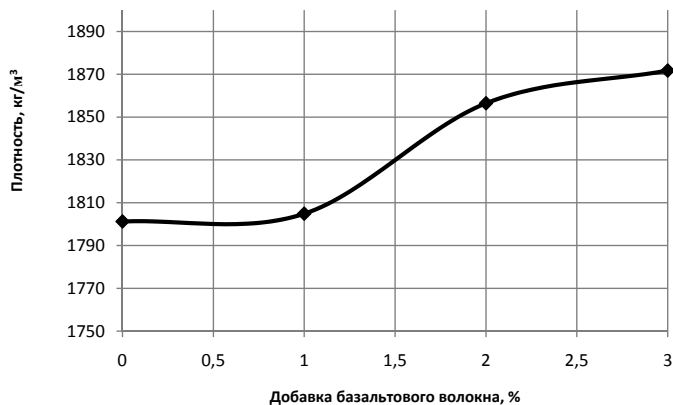
Дальнейшее увеличение процентного содержания волокна в составе материала нецелесообразно. При введении волокна более 3 % затруднены

процессы смешивания компонентов и формования изделий, что, несомненно, будет отражаться на их свойствах и внешнем виде изделий.

Характер изменения плотности от процентного содержания добавки идентичен изменению прочности.



*Рисунок 1. Зависимость предела прочности гипсовых образцов на растяжение при изгибе от процентного содержания базальтового волокна*



*Рисунок 2. Зависимость средней плотности гипсовых образцов от процентного содержания базальтового волокна*



Однако, необходимо отметить, что если в случае зависимости прочности от содержания добавки прирост составляет более 65 %, то прирост плотности незначителен для того же диапазона изменения содержания добавки от 1 до 2 % и составляет 3 %. Наиболее эффективное введение добавки отвечает диапазону изменения процентного содержания базальтового волокна от 1 до 2 %.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают возможность армирования тонкостенных гипсовых изделий отходами базальтового волокна для получения облегченных декоративных элементов с улучшенными физико-механическими свойствами. Благодаря повышению прочности при изгибе изделия можно производить со значительно меньшей толщиной, что дает возможность уменьшить массу изделия, упростить монтаж и сократить расход клеящего состава.

### Литература

1. Гончаров Ю.А., Бурьянов А.Ф. Российская гипсовая ассоциация: цели и задачи // Строительные материалы. 2008. №1. С. 54-56.
2. Завадский В.Ф., Косач А.Ф., Дерябин П. Л. Стеновые материалы и изделия // Омск: Изд-во СиБАДИ, 2005. 254 с.
3. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В. Опыт производства и эксплуатации гипсовых стеновых изделий // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 78-80.
4. Завадская Л.В. Влияние микроармирующих добавок на свойства газогипса // Фундаментальные исследования. 2011. №1. С.770-772.
5. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Фишер Х.-Б., Петропавловский К.С. К вопросу упрочнения гипсовых изделий // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 19 – 21.
6. Петропавловская В.Б., Першикова М.Ю. Влияние отхода базальтового волокна на свойства гипсовых композитов // Инновации и моделирование в строительном материаловедении и образовании: материалы Международной заочной научно-технической конференции. Тверь: ТвГТУ, 2015. С.62-65.
7. Оснос М.С., Оснос В.П. Базальтовые непрерывные волокна: основные преимущества, характеристики, области применения // Композитный мир. 2009. № 5 (26). С. 36-39.
8. Завадская Л.В. Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А. Влияние дисперсных минеральных добавок на структуру и прочность гипсового камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 10 (658). С. 18 – 22.

9. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Фишер Х.-Б., Петропавловский К.С. Самоармированные гипсовые композиты // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 19 – 21.

10. Бердов Г.И., Парикова Е.В., Хританков В.Ф. Изменение структуры и свойств гипсовых смесей при введении кальцийсодержащих природных соединений // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 8. С. 26-28.

11. Череватова А.В., Алехин Д.А., Бурьянов А.Ф., Жерновский И.В., Кожухова Н.И. Особенности комплексного механизма структурообразования в системе композиционного гипсокремнеземистого вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 12-16.

12. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. К вопросу упрочнения гипсовых изделий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 1 (192). С. 15-17.

13. Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С. Самоармированные гипсовые композиты: монография // под общ. ред. В.Б. Петропавловской. М.: Де Нова, 2015. 163 с.

14. Морева И.В., Медяник В.В., Соколова Ю.А. К вопросу о комплексной активации компонентов при получении гипсовых вяжущих веществ. Известия вузов. Строительство. 2008. №8. С.17-20.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ КИРПИЧНОГО БОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Петропавловская В.Б.<sup>1</sup>, Бурьянов А.Ф.<sup>2</sup>, Перевозчикова С. В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет*

*<sup>2</sup> Московский государственный строительный университет*

Наиболее емкой отраслью материального производства, потребляющей техногенные отходы, является промышленность строительных материалов [1].

На сегодняшний день во всем мире происходит накопление отходов строительной индустрии, так как происходит снос аварийных зданий из бетона, железобетона и кирпича. Каждый год на территории Российской Федерации накапливается приблизительно 15 млн. тонн строительных отходов и отходов от сноса зданий (рис. 1), идет накопление данных отходов в количестве более 22 % в год, из чего более 50 % составляет именно кирпичный бой и другие отходы керамических производств [2, 3, 4, 5].



*Рисунок 1. Отход кирпичного боя*

Из огромного количества отходов кирпичной промышленности, образующихся в РФ и исчисляемых миллионами тонн, по данным А. Н. Протопопова [6], всего лишь чуть более 500 тысяч тонн будут задействованы для обработки и получения вторичного заполнителя. В сравнении – в европейских странах и в США этот вид деятельности является прибыльным.

Кирпичный бой можно разделить на несколько категорий:

- 1) кирпичный бой из красного кирпича;
- 2) кирпичный бой из силикатного кирпича;
- 3) кирпичный бой из шамотного кирпича.

Бой из красного кирпича является наиболее распространенным материалом, в отличие от боя из силикатного кирпича, который в свою очередь имеет низкую морозостойкость. Но в будущем перспективность отходов кирпичной промышленности имеет место быть, так как, во-первых, цены на природные заполнители растут с каждым годом, а отходы производства имеют цену гораздо более привлекательную для потребителей, во-вторых, актуальность применения кирпичного боя прямо пропорциональна большому количеству сносимых зданий и сооружений, построенных из кирпича, и, в-третьих, нежелание потребителя вывозить строительные отходы с недавно купленной после демонтажа того или иного сооружения территории может привести к сделке с предприятием по вторичной переработке кирпичного боя, нуждающимся в данном материале [7].

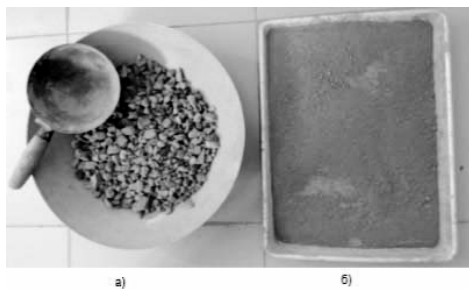
На предприятиях производства керамических стеновых изделий большое количество брака может образоваться по следующим причинам:

1) на этапе прессования, при формировании из сырой глины самих кирпичей;

2) на этапе сушки изделий;

3) на этапе обжига, при образовании из глины спекшейся керамики [3].

Данный брак может быть представлен в виде зернистых отходов или пылевидных частиц – отходов с различной дисперсностью, у которых химический состав и физико-механические характеристики [4] имеют схожесть с характеристиками выпускаемых изделий (рис. 2, табл. 1).



*Рисунок 2. Продукты переработки керамического боя:  
а – крупный заполнитель фракции 5...20 мм, б – мелкой заполнитель  
(отсев дробления керамического боя)*

Таблица 1

*Физико-механические характеристики вторичного заполнителя из керамического боя*

Показатель	Размеры частиц, мм						
	0,16 - 0,315	0,315 - 0,63	0,63 - 1,25	1,25 – 2,5	2,5 -5,0	5-10	10-20
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1180	1121	1047	975	926	863	848
Пустотность, %	-	-	-	26	33	40	46
Примечание. Марка по дробимости – 400, пористость – 16 %, истинная плотность - 2630 кг/м <sup>3</sup>							

По некоторым характеристикам битый кирпич или камень немного уступает другим видам вторичных материалов, а чтобы повысить эффективность его использования – необходимы дополнительные энерго- и трудозатраты. Именно поэтому сферы его применения в настоящее время ограничены. Тем не менее, он остается прочным морозостойким материалом с высокой шумо- и теплоизоляцией. Помимо этого, битый кирпич часто используют как «крупный щебень» при работах, предшествующих асфальтированию [7].

Кроме того, в последнее время кирпичный бой, как правило, рассматривают в качестве декоративного материала, применяемого при устройстве дорожек, площадок, т.е. в ландшафтном дизайне. Битый кирпич обладает теми же свойствами, которые характерны для исходного материала. Например, существуют различные виды кирпича: пустотелый – с пустотностью до 45 %, полнотелый – не имеющий пустот, и поризованный – отличающийся наличием пустот и микропустот, придающих изделию легкость. Кирпичный бой, полученный из поризованного кирпича, обладает более высокими теплоизоляционными качествами, чем материал, являющийся результатом дробления полнотелых или пустотелых изделий. Для районов с умеренным климатом очень важна стойкость битого кирпича к воздействию низких температур [3].

Еще одной важной характеристикой битого кирпича является теплопроводность – способность материала передавать тепло при различных температурах внутри и снаружи конструкции. Чем ниже теплопроводность, тем больше тепловая инерция стеновых конструкций. И, наконец, к важным характеристикам кирпичного боя можно отнести долговечность, которая для некоторых керамических изделий (кирпич, черепица) составляет около 300 лет. Это свойство также зависит от качества исходного материала и

характеризуется способностью сопротивляться внутренним и внешним воздействиям [9].

Следовательно, проведенный анализ источников отечественной литературы свидетельствует о недостаточной изученности свойств и составов кирпичного керамического боя (ККБ) для получения бетонов и растворов на их основе и о практическом отсутствии опыта его переработки.

В качестве вторичного сырья кирпичный бой в настоящее время в основном применяется для засыпки ям, неровностей дорог в загородных поселках и как дренажное средство. Вовлечение их в качестве добавок для бетонов и растворов позволяет повысить эффективность строительных материалов. Например, отходы керамического производства применимы в качестве добавки при изготовлении материалов и конструкций на основе гипсового композиционного вяжущего. Использование керамической тонкомолотой добавки способствует повышению эксплуатационных характеристик получаемого гипсового материала [4].

Расширение возможности применения ККБ в производстве различных видов бетонов и растворов является одной из актуальных задач научно-технического прогресса в строительной отрасли. Рациональное применение ККБ при производстве строительных композитов актуально еще и в плане экономии ресурсов, а также для обеспечения экологических требований за счет утилизации техногенных отходов и высвобождения территорий земли, занятых отвалами.

Таким образом, кирпичный керамический бой и производственный брак как вторичное сырье имеют в настоящее время ограниченную область применения в строительстве и их дальнейшее накопление в местах отвала или же на территории самих промышленных объектов неизбежно, однако перевод их в условиях основного производства в утилизируемое состояние позволит расширить сферу использования в современных композиционных вяжущих на основе гипса.

## Литература

1. Хлыстов, А. И. Экологические аспекты утилизации отходов керамзитового производства в составах материалов общестроительного и специального назначения / А. И. Хлыстов, М. Н. Закирова, В. А. Широков, Д. И. Исаев // Башкирский химический журнал. 2014. № 4. С. 116-123.

2. Пичугин, А. П. Экологические проблемы эффективного использования отходов и местного сырья в строительстве / А. П. Пичугин, А. С. Денисов, В. Ф. Хританков // Строительные материалы. 2005. №5. С. 2-3.

3. Галыч, А. В. Использование керамического кирпичного боя (ККБ) в строительстве / А. В. Галыч, А. С. Гусев, А. А. Белоусов, Д. А. Астанин // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. Сборник статей победителей V международной научно-практической конференции. 2016. № 1. С. 58-60.

4. Петропавловская, В.Б. Влияние активной минеральной добавки в виде отходов от производства керамзита на свойства композиционного гипсового вяжущего / В.Б. Петропавловская, Н.Г. Кедрова, И.Ю. Некрасова // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: Материалы VIII международной научно-практической конференции. Под научной редакцией А.Ф. Бурьянова. 2016. С. 117-122.

5. Фоменко, А.И. Отходы керамического кирпича как эффективный строительный материал / А.И. Фоменко, В.С. Грызлов, А.Г. Каптюшина // Череповецкие научные чтения – 2015: материалы Всероссийской научно-практической конференции: в 3-х частях. Ответственный редактор: К.А. Харахнин. Череповец: ЧГУ, 2016. С. 193-194.

6. Буткевич, Г. Р. Нужно увеличивать производственную мощность карьеров. // Технологии строительства. – 2007. – № 7 (55). – С.146-147.

7. Семенихина, А. А. Применение кирпичного боя в строительстве / А. А. Семенихина, А. С. Алексеева, М. О. Демина // Сборник трудов конференции Донского государственного технического института. 2017. №1. С. 133-134.

8. Хадисов, В.Х., Сайдумов, М.С., Апкаров, Ш.И. Получение легких бетонов на основе использования керамического кирпичного боя и брака // Молодежь, наука, инновации. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. 2013. С.307-311.

9. Свойства битого кирпича. URL: <http://dorozhnye-plity.ru/info/173-svoystva-bitogo-kirpicha>.

10. Петропавловская, В.Б. Малоэнергоёмкие гипсовые строительные композиты / В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, Т.Б. Новиченкова: Монография. Тверь: ТвГТУ, 2014. 136 с.\

# **О ПРИМЕНЕНИИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ПРОЦЕССА, ПОВЫШАЮЩЕГО ПРОЧНОСТЬ ГИПСОВЫХ КОМПОЗИТОВ**

*Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Завадько М.Ю.  
Тверской государственный технический университет*

Бесцементные строительные материалы – одни из самых древнейших. Еще в Древнем Египте, за тысячи лет до изобретения технологии получения цемента, бесцементные бетоны широко использовались при строительстве пирамид, их блоки устанавливались именно на известковый раствор, обладающий достаточной прочностью и влагостойкостью.

Использование бесцементных вяжущих наиболее актуально на данный момент. Производства обжиговых строительных материалов являются источниками выбросов в атмосферу, а образование парникового эффекта, как следствие этого, является масштабной экологической проблемой.

Повышение температуры, загрязнение окружающего нас воздуха в большей степени происходит в результате выбросов углекислого газа заводами, в том числе, заводами по производству портландцемента [1, 2]. Декарбонизация известняка является источником 3 % всех выбросов углекислого газа, 2 % от общего числа выбросов – результат сжигания топлива при обжиге клинкера. Альтернативные виды вяжущего могут служить частичным разрешением такой экологической проблемы [3].

Известковое вяжущее является экологически чистым продуктом, известным человечеству уже более 7000 лет. Водостойкость и прочность известь приобретает в ходе процесса поглощения углекислого газа из атмосферного воздуха. Такой процесс был назван – карбонизацией. Именно водостойкость, которой обладают известковые вяжущие, сделала известь, действительно, незаменимым материалом при возведении гидротехнической сооружений в Древней Греции.

Гипсовое вяжущее, аналогично, безопасно и экологично на всех циклах своего производства. Массовое использование гипсового вяжущего нашими предками, его популярность, обусловлены, в первую очередь, невысокими температурами, необходимыми для его получения. Действительно, производство гипсового вяжущего не требует высоких температур, поэтому не затратно с точки зрения энергоемкости и ресурсосбережения. Эти преимущества и на сегодняшний день остаются первостепенными.

Впервые, гипсоизвестковые вяжущие были применены еще в 3000 до н. э., комбинирование этих двух видов вяжущих обусловлено низкой энергоемкостью для производства гипса и водостойкостью извести. Гипсоизвестковые композиты относятся к биопозитивным материалам, в



ходе эксплуатации такие композиционные материалы [4] поддерживают необходимую влажность в помещении, способствуют здоровому микроклимату, посредством поглощения углекислого газа в процессе твердения [5 – 12].

Процесс карбонизации является естественным процессом, происходящим при твердении цементных, известь содержащих композиционных вяжущих и бетонов на их основе. Он в первую очередь определяет механизм старения, а значит и долговечность вяжущих. Упрочнение твердеющего композита обусловлено протеканием известной химической реакции, который происходит между атмосферным  $\text{CO}_2$ , растворенным в воде и продуктами гидратации –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , гидратом силиката кальция (CSH) или гидратом алюмината кальция (CAH) с образованием карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) Образующийся карбонат кальция – термодинамически стабильное соединение – осаждается внутри пористой системы матрицы вяжущего [13], тем самым кольматируя поры и уплотняя структуру композита. Исследованиями установлено [13], что концентрация углекислого газа, давление  $\text{CO}_2$  и время карбонизации способны оказать существенное влияние на поглощение  $\text{CO}_2$  продуктами гидратации, как и состав композита [13].

В представленной работе была исследована эффективность гипсоизвесткового композита, а также влияние процесса карбонизации на скорость твердения композиционных вяжущих, содержащих в своем составе пылевидный отход базальтового производства.

Исходными материалами в исследованиях были приняты высокопрочный гипс марки ГВВС-16 (Самарская обл.), базальтовая пыль, в виде отхода пылеудаления производства базальтовых волокон предприятия «Рарос» (Тверская обл.), молотая известь Угловского известкового комбината (Новгородская обл.).

Высокопрочный гипс Г-16 характеризуется:

- пределом прочности при сжатии – 16 МПа;
- пределом прочности при изгибе – 6 МПа;
- началом схватывания не ранее 4,50 мин.;
- концом схватывания – не позднее 20,00 мин.;
- остаток на сите 0,2 мм составляет не более 1%.

Нормальная густота гипсового теста была определена посредством вискозиметра Сутгарда, согласно ГОСТ 23789 и составила 0,36 и 0,38 для образцов, содержащих в своем составе отход.

Предел прочности на сжатие, плотность композитов различного состава были получены на 7-е сутки твердения в воздушно-сухих условиях, также на

7-е, 14-е, 28-е во влажных условиях для образцов контрольного состава (чистый Г-16) и гипсоизвесткового состава, прошедшего процесс карбонизации.

Гипсоизвестковые образцы выдерживались в среде углекислого газа в течение 6 суток при температуре 20 °С.

Результаты испытаний образцов различных составов, выдержанных в воздушно-сухих условиях представлены на рисунках 1, 2.

Как видно из рисунка, наибольшая прочность 35,48 МПа, соответствует образцам, выдержанным в среде углекислого газа, в то время как прочность образцов, твердеющих в атмосферных условиях, составила на 7-й день 29,87 МПа, однако, все равно превысила прочность контрольных гипсовых образцов (23,97 МПа).

Затем, образцы гипсоизвесткового состава, а также контрольные образцы, были испытаны во влажных условиях на 7-е, 14-е и 28-е сутки твердения, результаты данных испытаний приведены на рисунке 3.

На 7-е сутки твердения прочность гипсоизвестковых образцов составила 12,34 МПа, гипсовых – 11,00 МПа, на 14-е сутки 25,91 и 20,10 МПа соответственно, и на 28-е 34,95 и 26,04 МПа аналогично для гипсоизвестковых и гипсовых.

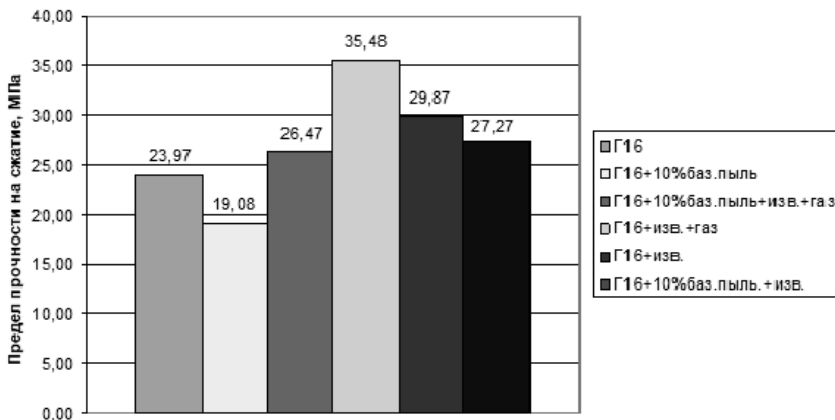


Рисунок 1. Предел прочности на сжатие образцов различных составов, выдержанных в воздушно-сухих условиях твердения

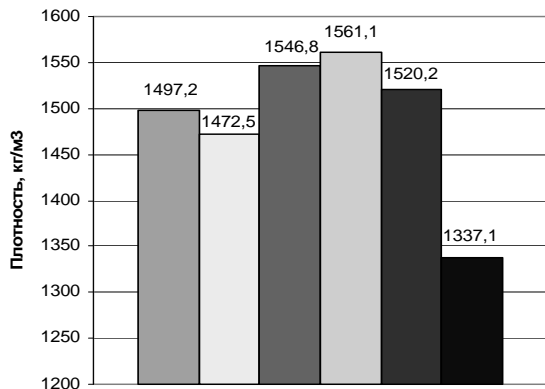


Рисунок 2. Плотность образцов различных составов, выдержанных в воздушно-сухих условиях твердения

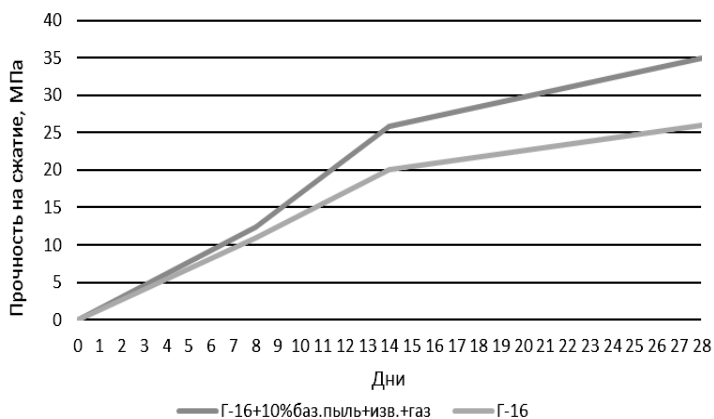


Рисунок 3. Зависимость предела прочности на сжатие от времени образцов, выдержанных во влажных условиях твердения

В ходе исследований выявлено:

- максимальная прочность на сжатие гипсоизвестковых композитов, выдержанных в воздушно-сухих условиях, в возрасте 7 суток составляет 35,48 МПа;

- аналогично, во влажных – 12,34 МПа;

- максимальный предел прочности на сжатие гипсоизвестковых композитов при выдерживании во влажных условиях на 28-е сутки составил 34,95 МПа, при соответствующей плотности 1587,5 кг/м<sup>3</sup>;

– применение процесса принудительной карбонизации способствовало быстрому набору прочности гипсоизвестковых композитов. В среднем, предел прочности на сжатие для образцов, проходивших принудительную карбонизацию, превысил на 18 % аналогичный показатель для образцов, не проходивших через этот процесс.

Следовательно, результаты данного исследования показали, что принудительная карбонизация гипсоизвестковых композитов способствует более быстрому росту прочности гипсового камня посредством уплотнения структуры материала кристаллами портландита. Данные исследования показали, что с использованием возможно создание биопозитивного эффективного строительного гипсоизвесткового материала с повышенными эксплуатационными характеристиками.

### Литература

1. Лашина В. В., Петрова А. И., Петров И. В. Загрязнение атмосферы при производстве цемента и опыт по снижению выбросов углекислого газа на предприятиях цементной промышленности Германии и России // Научный вестник Московского государственного горного университета, 2011. С. 26-33.

2. Кондрагьев В. В., Иванчик Н. Н., Петровская В. Н., Немаров А. А., Карлина А. И. Переработка и применение мелкодисперсных отходов кремниевого производства в строительстве / Олон Улсын. Бетоны XIV БАГА ХУРАЛ. Материалы международного строительного симпозиума, 2015. С. 105-114.

3. Грюдгорд, П. Пути снижения выбросов CO<sub>2</sub> цементными заводами. // Цемент и его применение, 2009. №1. С. 22-25.

4. Агеев Н. И., Сысоев О. Е. Современные типы вяжущих веществ / В сб.: Научно-техническое творчество аспирантов и студентов. Материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, 2017. С. 28-30.

5. Петропавловская, В.Б. К вопросу упрочнения гипсовых изделий / В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова, К.С. Петропавловский, А.Ф. Бурьянов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 1. С. 15-17.

6. Murakami, T. Characterization of lime carbonates in plasters from Teotihuacan, Mexico: preliminary results of cathodoluminescence and carbon isotope analyses/Murakami T., Hodgins G., Simon Arleyn W.//Journal of Archaeological Science, 2013. P. 960-970.

7. Известь и карбонатное твердение – следующая ступень эволюции производства строительных материалов / Строительные материалы, 2017. № 8. С. 13-18.

8. Монкман С., Макдональд М., Хутон Д., Томас М. Использование углекислого газа в качестве добавки-ускорителя / Цемент и его применение, 2017. № 1. С. 82-89.

9. Любомирский Н. В., Федоркин С. И. Научно-технологические принципы утилизации углекислого газа в биопозитивные строительные

изделия / Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, 2016. № 4. С. 39-49.

10. IPCC Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects./Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014, P. 200.

11. Lei Wang, Tiffany L. K. Yeung, Abbe Y. T. Lau, Daniel C. W. Tsang, Chi-Sun Poon. Recycling contaminated sediment into eco-friendly paving blocks by a combination of binary cement and carbon dioxide curing / Journal of Cleaner Production 164, 2017. P.105.

12. Sukla, A. Embodied energy analysis of adobe house / Renewable Energy, 2009. № 34. P. 755-761.

13. K. Kjellsen, M. Guimaraes, A. Nilsson, The CO<sub>2</sub> balance of concrete in a life cycle perspective, Danish Technological Institute-DTI, 2005.

## **К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕНОПОЛНИТЕЛЕЙ В САМОАРМИРОВАННЫХ ГИПСОВЫХ КОМПОЗИТАХ**

*Петропавловский К.С.*

*Московский государственный строительный университет*

На рынке строительных материалов возникла потребность в декоративно-отделочных материалах, которые используются для объемного декорирования пространства, так называемые 3D-изделия – панели, плитки, камень и др., которые производятся на основе полимеров с добавлением измельченного прессованного растительного сырья: бамбука, тростника, целлюлозы, значительно реже – на основе гипсового вяжущего и минеральных или органических наполнителей (опилок, стружки, других растительных и промышленных отходов, в том числе – сельского хозяйства, легкой промышленности и т.д.). Гипсовые материалы и изделия на их основе являются экологически чистыми, обладают хорошей тепло- и звукоизоляцией, а также рядом других уникальных свойств [1, 2, 3, 4, 5]. Например, благодаря особенностям структуры работают как природный кондиционер, регулируя влажность воздуха внутри помещений. Однако, для производства композиционных гипсовых изделий требуются специальные вяжущие и (или) добавки, что значительно повышает себестоимость продукции и усложняет технологию их получения [6, 7, 8].

Модификация композита недорогими сульфатными или сульфатоалюминатными добавками (модификаторами) способствует образованию гидросульфатоалюминатов кальция, армирующих гипсовую матрицу. В дисперсной системе на основе полугидрата сульфата кальция, на уровне минеральной матрицы, путем управления процессом кристаллизации вещества при твердении возможно формирование игольчатых кристаллов гидросульфатоалюминатов кальция, которые будут упрочнять структуру гипса [9]. Так, использование комплексной добавки на основе сернокислого алюминия позволяет повысить прочность гипсовых материалов более чем на 80 % [9, 10]. Но интересно не только повысить прочность материала, но и снизить его плотность, а значит – и вес, в целях удовлетворения современных потребностей строительного рынка.

В целях повышения эксплуатационных характеристик гипсового камня, применяемого для получения 3D изделий, и их качества, в работе исследовалась возможность введения в самоармированные композиции на основе полугидрата сульфата кальция пенонаполнителей для снижения веса декоративно-отделочных материалов.

Известно, что армирование гипсовой матрицы кристаллами дисперсного модификатора nano метрового размера может позволить не только упрочнить структуру камня, а, следовательно, повысить физико-механические свойства гипсовой матрицы и материалов на ее основе, но и придать им повышенные эксплуатационные характеристики за счет перехода дигидрата сульфата кальция в менее растворимые соединения [11].

Причем, при выборе вида добавки необходимо учитывать, что вводимая добавка должна иметь близкие структуру и химический состав к армируемой матрице, как отмечается многими авторами [1, 3, 12]. Армирующее вещество должно обладать большим количеством поверхностно-активных центров. На этих центрах будет происходить диссоциативная адсорбция молекул воды, что и должно привести к увеличению числа свободных носителей заряда. В результате будет происходить ускорение формирования структуры гипсового конгломерата и увеличение его прочности [4, 7, 8].

Основной задачей исследования являлось исследование зависимости технических характеристик получаемых самоармированных композитов от процентного содержания наполнителей.

В качестве сырьевых компонентов для приготовления гипсового камня использовались: гипсовое вяжущее марки Г16 БШ, произведенное ООО "АЛСИД (Рус)" по ГОСТ 125-79, пеностекольный или пенокерамический облегченный наполнитель, воздушная известь и серноокислый алюминий. Характеристики гипса представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

*Характеристики гипса В16 Б3 по ГОСТ 125*

Параметр	Значение
Степень помола по остатку на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм, %, не более	I
Предел прочности образцов-балочек в возрасте 2-х часов, (МПа), при сжатии не менее	16,0
Предел прочности образцов-балочек в возрасте 2-х часов, (МПа), при изгибе не менее	6,0
Сроки схватывания, начало не ранее, мин	4,5
Сроки схватывания, конец не позднее, мин	20, 0
Объемное расширение, %, не более:	0,15
Примеси, не растворимые в соляной кислоте, %, не более	1,0
Содержание металлопримесей в 1 кг гипса, мг, не более	8,0

Химические свойства пенокерамических микросфер Kerwood с размерами гранул 0,04 – 0,12 мм приведены в таблице 2. Состав

пенокерамического наполнителя представлен оксидом кремния(75–80%), а также оксидами металлов – натрия и калия, алюминия, железа и магния. Теплопроводность гранул Kerwood®, в зависимости от их размера, варьируется в пределах от 0,05 до 0,09 Вт/м · К.

Таблица 2

*Химический состав микросфер Kerwood*

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Остальные
%	69.78	8.03	14.58	3.89	1.06	2.66

Гранулированный пеностекольный наполнитель на основе стеклоотходов производства ООО «Воронежпеностекло» в соответствии с ТУ 5914-001-26499468-2016 имеет насыпную плотность – 450 кг/м<sup>3</sup>.

Исследования физических и механических свойств модифицированного гипсового камня проводились на стандартных образцах-балочках размерами 40,0 x 40,0 x 160,0 мм и образцах-цилиндрах диаметром 20 мм и 50 мм в возрасте 7 суток. Эксперименты по определению предела прочности при изгибе, сжатии (рис.1) и средней плотности проводились в лабораториях инженерно-строительного факультета Тверского государственного технического университета.



*Рисунок 1. Проведение испытаний гипсовых образцов на сжатие*

Результаты исследований зависимостей прочности и плотности от содержания пенокерамического наполнителя Kerwood представлены на рисунках 2,3. Прочность композита повышается в диапазоне изменения содержания добавки от 0 до 2,5 %, затем происходит падение прочности (рис.2).



Средняя плотность гипсового композита с увеличением количества наполнителя Kerwood монотонно уменьшается во всем исследованном диапазоне (рис. 3).



Рисунок 2. Влияние пенокерамического наполнителя Kerwood на прочность самоармированных композитов

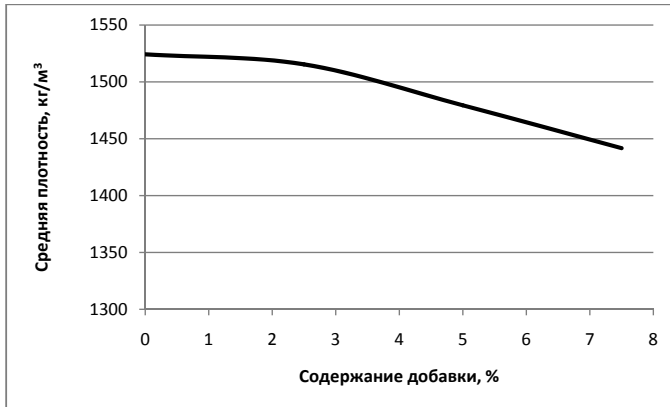
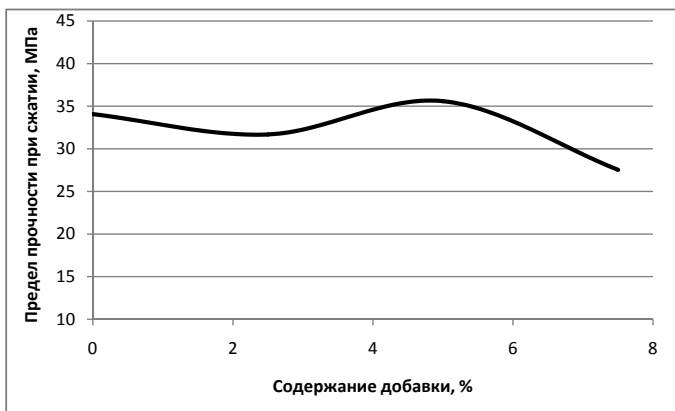


Рисунок 3. Влияние пенокерамического наполнителя Kerwood на плотность самоармированных композитов

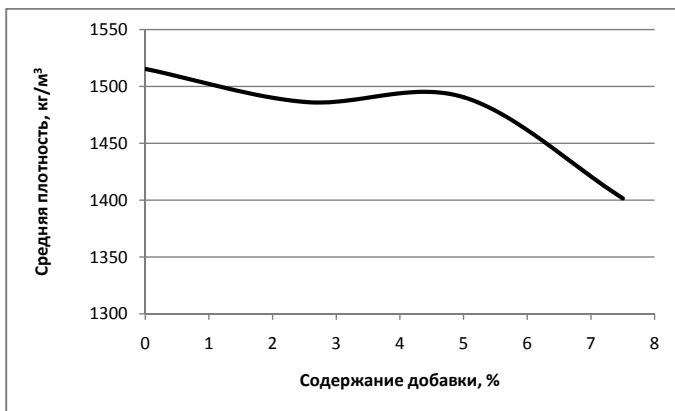
Согласно рисункам 4, 5 характеристики прочности (рис.4) и плотности (рис.5) гипсового композита при использовании пеностекольного наполнителя имеют схожие показатели в сравнении спенокерамическим. Однако, если в случае использования пеностекольного материала

максимальное значение прочности составляет 39,46 МПа, то в случае пенокерамического наполнителя значение несколько ниже – 35,59 МПа.

Анализ зависимости плотности самоармированного композита от содержания пеностеклянного наполнителя показывает, что плотность снижается от 1524,22 до 1401 кг/м<sup>3</sup> при увеличении наполнителя от 0 до 7,5 % соответственно. В целом, зависимость плотности самоармированного композита от содержания пеностеклянного наполнителя по характеру подобна зависимости плотности от пенокерамической добавки (рис. 6). При содержании добавок в количестве 7,5 % разница в плотности составляет всего лишь 2 %.



*Рисунок 4. Влияние пеностеклянного наполнителя на прочность самоармированных композитов*



*Рисунок 5. Влияние пеностеклянного наполнителя на плотность самоармированных композитов*

Сравнительный анализ коэффициентов конструктивного качества (к.к.к.) гипсовых композитов показал, что максимальное значение коэффициента (рис. 7) соответствует содержанию пенокерамического наполнителя в количестве 2,5 %. На рисунках 8 – 11 представлена микроструктура получаемого композита.

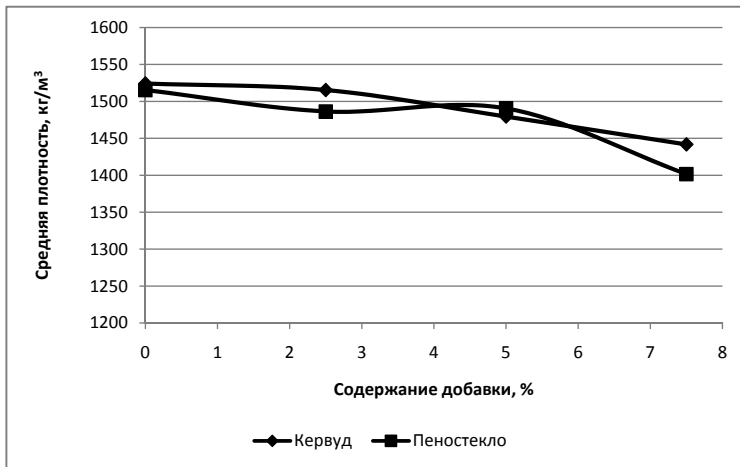


Рисунок 6. Сравнительный анализ средней плотности гипсового самоармированного композита при использовании пенонаполнителей

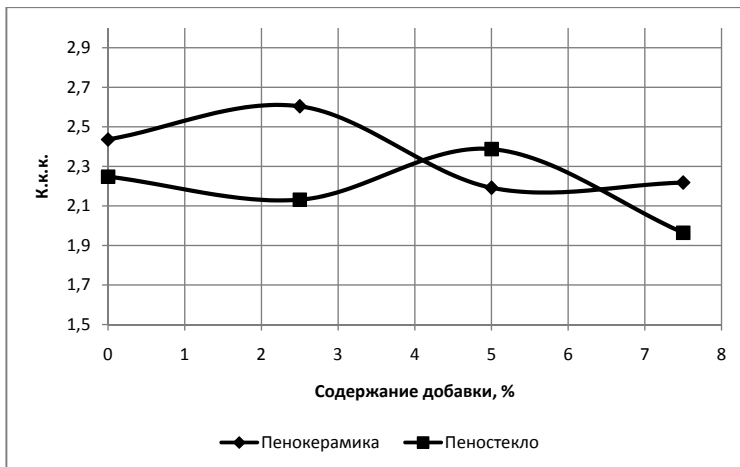
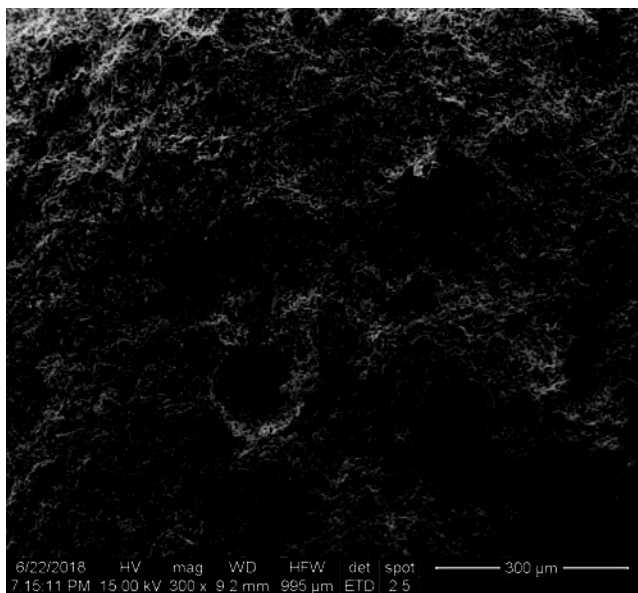
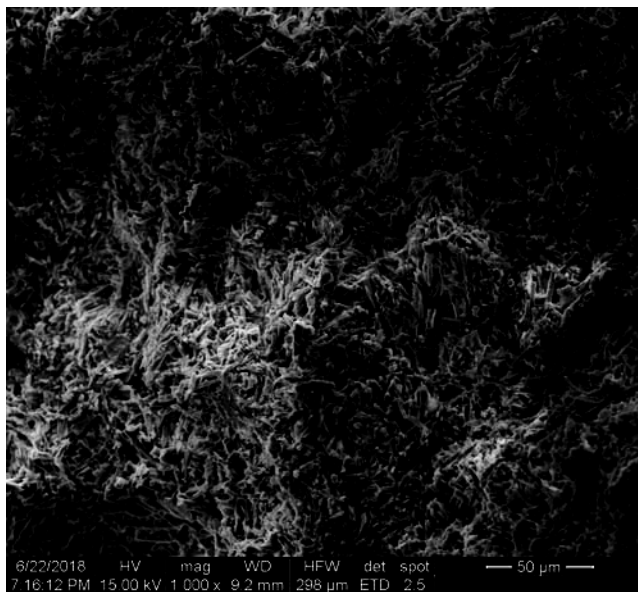


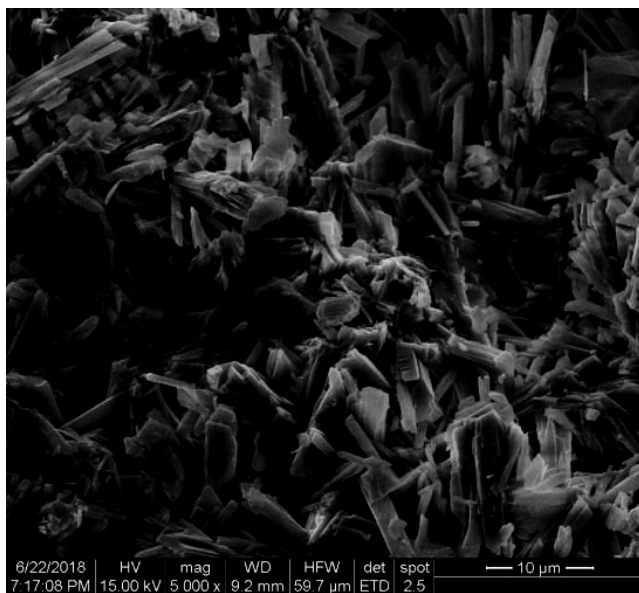
Рисунок 7. Сравнительный анализ коэффициентов конструктивного качества гипсового самоармированного композита при использовании пенонаполнителей



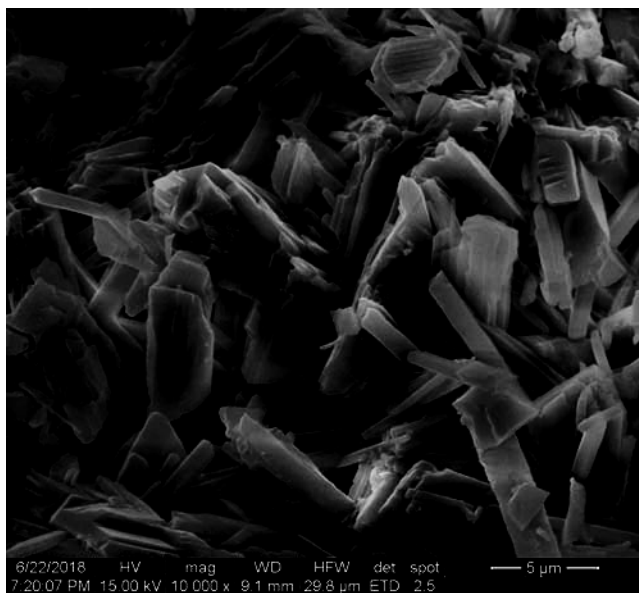
*Рисунок 8. Микроструктура гипсового самоармированного композита*



*Рисунок 9. Микроструктура гипсового самоармированного композита*



*Рисунок 10. Микроструктура гипсового самоармированного композита*



*Рисунок 11. Микроструктура гипсового самоармированного композита*

Анализ микроструктуры самоармированного гипсового композита показывает, что формируется уплотненная структура гипсового камня, представленная преимущественно кристаллами таблитчатой формы.

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что введение пенонаполнителей в количестве до 7, 5 % снижает прочность и плотность получаемого материала. Более эффективно использовать пенокерамический наполнитель, однако как и в случае пеностекольного наполнителя, по-видимому, целесообразно использовать добавку в большем количестве, поскольку в данном диапазоне снижение плотности составило в среднем 5 % - для пеностекольного наполнителя и 6 % – для пенокерамики.

## Литература

1. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.–Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция: Монография. М: Де Нова. 2012. 196 с.

2. Бабков В.В., Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Шигапов Р.И. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсокерамзитобетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 4–8.

3. Петропавловская, В.Б. Малознергоемкие гипсовые строительные композиты: Монография / В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, Т.Б. Новиченкова // Тверской государственный технический университет. ТвГТУ: Тверь, 2014. 136 с.

4. Гаркави М.С., Панфёрова А.Ю., Некрасова С.А., Михайлова К.А. Формирование структуры наномодифицированного гипсополимерного материала // *Сухие строительные смеси*. 2013. №2. С. 38-40.

5. Кедрова Н.Г., Петропавловская В.Б., Некрасова И.Ю. Модификация свойств гипсового вяжущего при использовании керамической добавки / Н.Г. Кедрова, В.Б. Петропавловская, И.Ю. Некрасова. Инновации и моделирование в строительном материаловедении: сборник научных трудов. Тверской государственный технический университет. ТвГТУ: Тверь, 2017. С. 51-57.

6. Булдыжова, Е.Н. Техничко-экономические и экологические аспекты производства и применения гипсовых материалов и изделий // И.С. Маева, Н.А. Гальцева, А.Ф. Бурьянов, В.Б. Петропавловская // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова 2013. Т. 2. № 71. С. 197-200.

7. Гаркави М.С., Некрасова С.А., Трошкина Е.А. Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 38–40.

8. Маева, И.С. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками / И.С. Маева, Г.И. Яковлев, Г.Н. Первушин, А.Ф. Бурьянов, А.П. Пустовгар// *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 4–5.

9. Петропавловская, В.Б. Самоармированные гипсовые композиты: Монография/ В.Б. Петропавловская, А.Ф. Бурьянов, Т.Б. Новиченкова, К.С. Петропавловский// М.: Де Нова. 2015. 163 с.

10. Petropavlovskaya V.V., Novichenkova T.V., Buryanov A.F., Petropavlovskii K.S. Self-hardening of a gypsum. *Key Engineering Materials*. 2017. Т. 729. С. 517.

11. Петропавловская, В.Б. Использование отходов природного гипсового камня в производстве безобжиговых материалов / В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, Т.Б. Новиченкова, Ю.Ю. Полеонова, А.Ф. Бурьянов // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 28-31.

12. Белов В.В., Петропавловская В.Б. Использование вторичных сырьевых ресурсов в производстве строительных материалов: Учебное пособие / Тверской государственный технический университет. ТвГТУ: Тверь, 2017. 120 с.

# МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСА

*Сучков В.П., Веселов А.В.*

*Нижегородский архитектурно-строительный университет*

В настоящее время рост производства гипсовых материалов и изделий превосходит экономический рост мировых рынков.

При этом более 90% вяжущего из природного сырья производится низких марок, а при производстве высокопрочного гипса автоклавированием щебня используется не более 40% добываемого сырья. Это связано с низким процентом выхода щебня требуемых фракций (более 30-50 мм) из горной породы при дроблении и классификации.

Востребованность в высокопрочном гипсовом вяжущем за последние 5 лет возросла более чем в 2 раза. Это объясняется более высокими требованиями к вяжущему производителей сухих смесей, расширением номенклатуры гипсовых изделий в строительстве, медицине, машиностроении.

Технология производства высокопрочного гипса в жидких средах экономически не эффективна в связи с высокими затратами на сушку вяжущего.

В регионах, где отсутствует природное сырьё, его доставка, как правило, повышает себестоимость гипсовых материалов и изделий.

В промышленных условиях применяются два способа производства гипсовых вяжущих, состоящих из полуводного сульфата кальция – сухой и мокрый. При мокром способе обработку сырья производят в атмосфере насыщенного водяного пара при температуре выше 97<sup>0</sup>С. При гидротермальной обработке образуются сравнительно крупные кристаллы полуводного сульфата кальция ( $\alpha$ -полугидрат) и гипсовые вяжущие высоких марок по прочности (Г-12 – Г-25), что обусловлено пониженной удельной поверхностью и водопотребностью. Разработаны различные варианты технологий производства  $\alpha$ -полугидрата. /1/

## 1. Водяной пар подается из котельной

1.1 Гидротермальная обработка и сушка осуществляется в различных аппаратах

1.2. Тепловая обработка производится в одном аппарате (автоклаве, демпфере)

2. Насыщенный водяной пар образуется путем дегидратации гипса (метод самозапаривания)



3. При переработке дисперсных промышленных отходов (фосфогипс) производится автоклавная обработка водной суспензии в аппаратах непрерывного действия. /2,3/

Несмотря на высокую потребность в гипсовых вяжущих высоких марок их доля в производстве этих вяжущих до настоящего времени не превышает 1%. Причиной являются недостатки разработанных вариантов мокрого способа производства.

1. При использовании природного гипсового камня, сырье проходит операции дробления и классификации. После классификации используется щебень фракции более 40 мм. Выход фракционированного щебня обычно не превышает 40-50% массы переработанного сырья, в зависимости от фазового состава камня, его структуры и текстуры. Мелкие фракции либо не используются, либо направляются на производство гипсовых вяжущих сухим способом марок Г-2 – Г-7 (Самарский гипсовый завод). Недостатками этой технологии являются сравнительно низкая производительность оборудования и высокие приведенные затраты топлива и энергии. Например, на Самарском гипсовом заводе общая продолжительность тепловой обработки (автоклавирование и сушка) превышает 10 час. Технология включает операции дробления и классификации сырья, автоклавной обработки, сушки и помола вяжущего.

При автоклавной обработке мелких фракций сырья (щебень, песчаные и пылевидные фракции) в автоклаве в процессе обработки образуется кристаллический сросток. Превращение дигидрата в полугидрат приводит к образованию сростков в местах контакта между зёрнами. Количество контактов и прочность образовавшейся структуры – камня образовавшегося из полугидрата сульфата кальция, зависят от среднего размера зёрна и зернового состава в целом. /4,10,12/

2. При промышленной переработке дисперсных промышленных отходов (фосфогипса) приготавливается водная суспензия, ж/т может достигать 1.0; вводится добавка, изменяющая скорость роста граней кристаллов полугидрата. Технология включает операции фильтрации жидкой фазы и сушки вяжущего. Образующийся горячий фильтрат содержит растворенные вещества и его необходимо утилизировать. Промышленный опыт производства, высокопрочного гипсового вяжущего (Г-12, Г-14) из фосфогипса показал, что вяжущее не может конкурировать с аналогичной продукцией, изготовленной из природного сырья. /2,3/

Накопленный производственный опыт показал, что дальнейшее развитие производства гипсовых вяжущих высоких марок возможно при

условии существенного сокращения технологии, повышения производительности и снижения расхода топлива и энергии.

Предложена и разработана технология производства гипсовых вяжущих из мелких фракций гипсового камня и фосфогипса путем механохимической активации (МХА) сырья.

В работах /5,8,9/ показано, что используя пластическую деформацию сырья перед гидротермальной обработкой, изменяя режимы и среду её проведения, возможно существенно сократить продолжительность технологии.

Авторами показано, что в условиях локализованной нагрузки на гранях кристаллов возникают фигуры давления или фигуры удара, формы и строения которых зависят от структуры кристаллической решетки.

Исследования проведены на гипсовом камне 1 сорта двух приволжских месторождений - Бебяевского и Камское Устье. Химический состав проб гипсового камня и содержание гипса приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Химический состав гипсового камня*

Наименование месторождения	Содержание, %						
	CaO	SO <sub>3</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O хим. св.	CaSO <sub>4</sub> • 2H <sub>2</sub> O
Бебяевское (Нижегородская область)	31,9	45,4	0,15	0,06	0,19	19,93	97,5
	– 32,30	– 46,6	– 0,71	– 0,59	– 1,50		– 98,5
Камско- Устинское (Республика Татарстан)	31,8	44,0	0,08	0,07	0,04	до 20,58	98,2
	– 32,8	– 46,9	– 0,7	– 0,78	– 0,34		

Бебяевский и Камско-Устьинский гипсовый камень различается по структуре; Бебяевский – среднезернистый, Камско-Устьинский – мелкозернистый. Прочность камня при сжатии изменяется в пределах от 5,0 до 30 МПа.

Процессы превращения гипса в полуводный сульфат кальция при гидротермальной обработке можно разделить на три периода. /1,6,13/

1. Подготовительный латентный период. В этот период создаются условия для последующего превращения – образуется насыщенный водный раствор необходимой концентрации.

2. Период образования центров кристаллизации полугидрата (зародышей кристаллов). Как будет показано ниже, зародыши кристаллов образуются преимущественно на дефектах структуры кристаллов исходного гипса.

3. Период преимущественного роста кристаллов полуводного сульфата кальция и образования кристаллических сростков.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты комплексного термогравиметрического анализа Бебьяевского гипсового камня (ДТА и ТГ). Использована проба, состоящая из частиц размером менее 200 мкм. Частные пробы получены квартованием. На рисунке 1 приведены результаты анализа пробы без МХА (влажность пробы – менее 0,1%).

Во вторую пробу добавлена дистиллированная вода ( $V/T=0,20$ ) и проведена обработка на лабораторных бегунах в течение 5 мин. Проба высушена при температуре  $45^{\circ}\text{C}$ . Результаты ДТА и ТГ приведены на рисунке 2. Зерновой состав пробы после МХА определен на лазерном анализаторе LA-300 фирмы Хариба и приведен на рисунке 3.

ДТА показал, что МХА ускоряет процессы превращения дигидрат - полугидрат и полугидрат - ангидрит при нагревании. Эндотметрический эффект, соответствующий переходу дигидрат – полугидрат смещается в область более низких температур ( $182$  и  $167^{\circ}\text{C}$ , соответственно без обработки и после МХА), изменяется также общая продолжительность дегидратации.

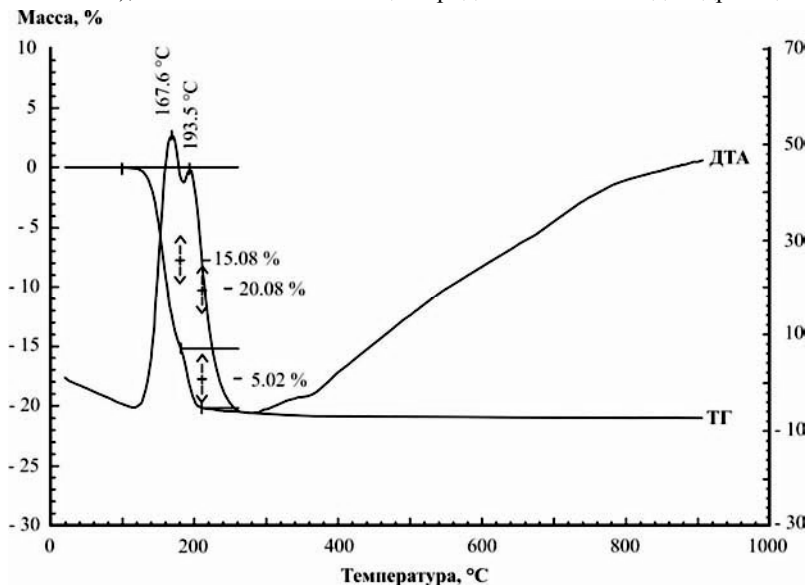


Рисунок 1 - ДТА Бебьяевского гипсового камня.

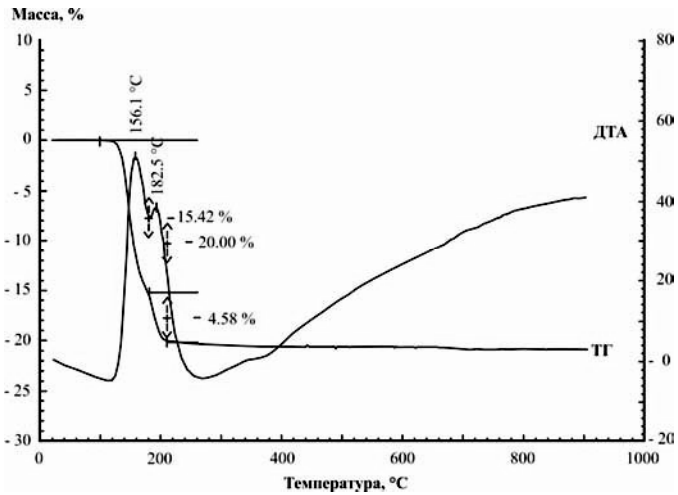


Рисунок 2 - ДТА активированного Бебяевского гипсового камня.

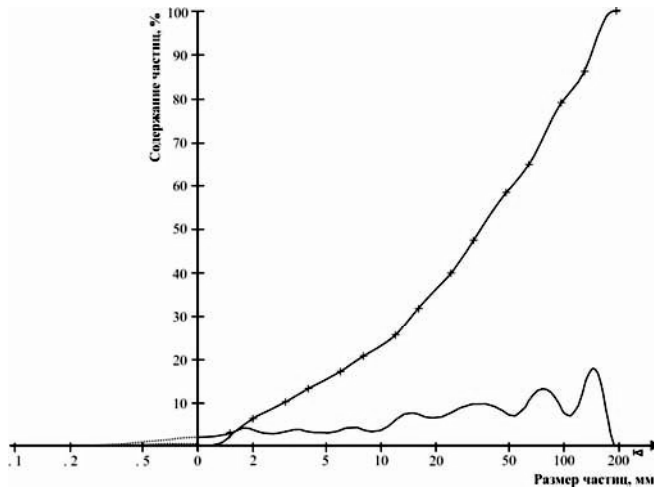


Рисунок 3 - Зерновой состав Бебяевского гипсового камня после МХА.

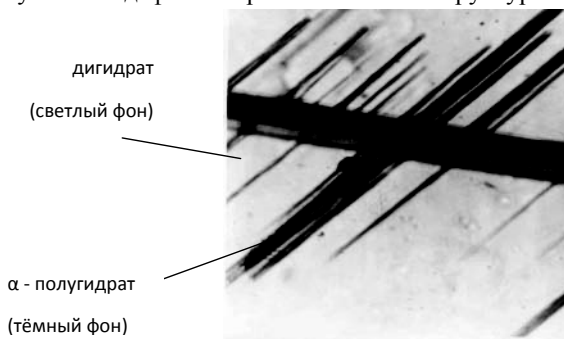
Смещение эндотермических эффектов в область более низких температур может быть обусловлено изменением концентрации дефектов кристаллической структуры гипса. В связи с этим нами было сделано предположение о том, что предварительная МХА сырья может позволить сократить продолжительность гидротермальной обработки и следовательно, приведенный расход топлива и энергии на производство гипсовых вяжущих высоких марок ( $\alpha$ -полугидрат).

При проведении исследований использована установка для микроскопических исследований процессов кристаллизации  $\alpha$ -полуводного гипса в процессе автоклавной обработки.

Установка состоит из малогабаритного вертикального автоклава с внутренним рабочим объемом около 200 см<sup>3</sup>, и имеющим 2 иллюминатора в верхней и нижней части из термостойкого кварцевого стекла.

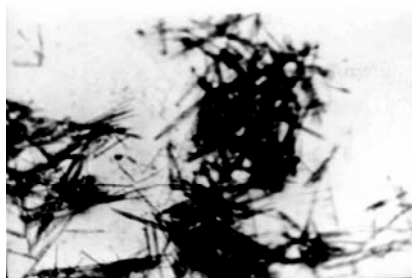
Визуальные наблюдения за процессами перекристаллизации в водных суспензиях гипса в период их автоклавной обработки показали, что кристаллы  $\alpha$ -полуводного гипса зарождаются и растут при температуре 124 - 125°C и давлении 0,13 МПа, и более высоких температурах и соответствующих этим температурам давлениях насыщенного водяного пара.

Исследования показали, что зародыши кристаллов полуводного гипса образуются на дефектах кристаллической структуры гипса (рисунок 4).



*Рисунок 4 - Кристаллизация  $\alpha$  – полуводного гипса в гидротермальных условиях*

При автоклавной обработке образуются кристаллы  $\alpha$ -полуводного гипса неизомерической формы (рисунок 5), образующие кристаллические сростки.



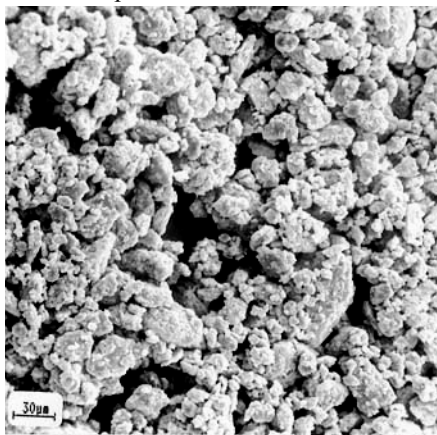
*Рисунок 5 - Кристаллы  $\alpha$ -полуводного гипса, полученные в гидротермальных условиях без введения модифицирующих добавок*

Известно, что скорость роста граней кристаллов  $\alpha$  – полугидрата и, следовательно, их форму можно изменить введением добавок – модификаторов. /6,11,13/

В качестве модификаторов нами использованы янтарная и адипиновая кислоты. Гипсовое сырье фракции менее 5 мм помещалось в лабораторные бегуны с целью МХА. Обработка проводилась в течение 5 мин. с подачей водного раствора модификатора. Ж/Т было принято равным 0,20. Расход модификатора изменялся, оптимальный расход – 0,05% массы гипсового сырья.

Автоклавная обработка проведена при максимальной температуре 125<sup>0</sup>С и давлении насыщенного водяного пара – 0,13 МПа. Продолжительность обработки изменялась. Обработанное сырье загружалось в контейнер и направлялось в автоклав. По окончании процессов гидротермальной обработки сушка осуществлялась в автоклаве без извлечения контейнера, получено вяжущее вещество, которое не нуждается в дополнительном измельчении. Микрофотографии гипсового камня после МХА и вяжущего приведены соответственно на рисунках 6 и 7, результаты определения зернового состава – на рисунке 8.

Результаты испытаний приведены в таблице 2.



*Рисунок 6 - Гипсовый камень Бебяевского месторождения после МХА.*

В/Т=0,20, модификатор – янтарная кислота – 0,05% массы сырья

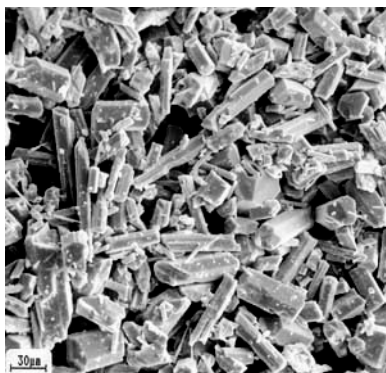


Рисунок 7 - Гипсовое вяжущее ( $\alpha$ -полугидрат) после автоклавной обработки и сушки

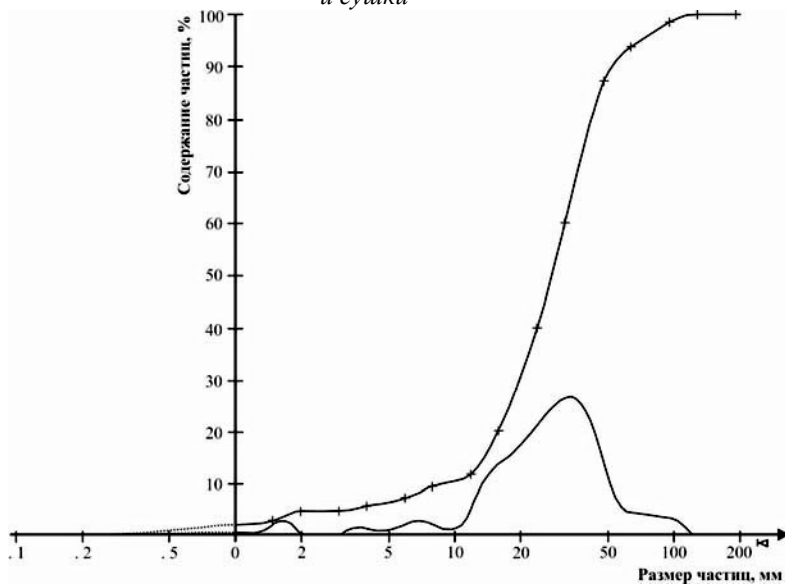


Рисунок 8 - Зерновой состав гипсового вяжущего.

Вяжущее, полученное из активированного сырья с максимальным размером зерна, равным 5 мм, после МХА и автоклавной обработки соответствует требованиям ГОСТ 125 по зерновому составу.

Таблица 2

*Технические свойства гипсового вяжущего*

Тип модификатора	Водопотребность, %	Сроки схватывания, мин		Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте 2 ч
		начало	конец	
Янтарная кислотв	32	25	30	29,5
Адитиновая кислота	42	10	12	21,5

Гидротермальной обработкой гипсового камня Бебьевского и Камско-Устьинского месторождения после МХА в присутствии модификаторов получаем высокопрочные гипсовые вяжущие марок Г-16 – Г-25. При этом продолжительность гидротермальной обработки сокращена с 7,0 час. (без МХА) до 4,5 час.

На основании исследований, проведенных в лабораторных и опытно-промышленных условиях предложена технология производства высокопрочного гипсового вяжущего из природного гипсового камня.

Преимущества предложенной технологии:

1. При производстве высокопрочных гипсовых вяжущих технология позволяет осуществить полную переработку сырья, включая мелкие фракции, образующиеся при дроблении (фракции менее 5 мм);

2. За счет изменения максимального размера зерна и МХА общая продолжительность тепловой обработки сырья (автоклавирование и сушка) сокращается на 2,5 – 3,04 что позволяет понизить расход топлива и энергии;

3. Исключается операция помола вяжущего после сушки.



## Литература

1. Каменский В. Г. и др. Получение высокопрочного гипсового камня, - В кн.: Проблемы тепло – и массообмена – 77. Минск, Институт тепло – и массообмена АН БССР, 1977. – с. 40 – 44.

2. Гордашевский П. Ф. Производство гипсовых вяжущих материалов из гипсосодержащих отходов / П. Ф. Гордашевский, А. В. Долгоров – М.: Стройиздат, 1987 – 105 с.

3. Мещеряков Ю. Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов / Ю. Г. Мещеряков – Л.: Стройиздат, 1982 – 144 с.

4. Гаркави М. С. Термодинамический анализ структурных превращений в вяжущих системах. / Гаркави М. С.- Магнитогорск: МГТУ, 2005 – 243 с.

5. Ходаков Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов / Г. С. Ходаков – М.: Стройиздат, 1972 – 37 с.

6. Берг Л. Г., Свешникова В. Н. О модификациях полугидрата сульфата кальция. - -зв. АН СССР (отд. хим. наук), 1946, № 1. – с. 19 – 23.

7. Мещеряков Ю. Г., Григорьева А. С. О методике количественного анализа сульфатов кальция. – Изв. вузов. Химия и хим. технол. Т. 21 Вып. 2, 1978. – с. 213 – 215.

8. Классен, Неклюдова М.В. Урусовская А.А. Сквозные фигуры удара и давления в кубических кристаллах. Труды института кристаллографии АН СССР, выпуск II.146-151. 1956u/

9. Золотов В.А. Лавров М.Н. Влияние пластической деформации кристаллов гипса на процесс их последующей дегидратации. Ученые записки Арзамасского государственного педагогического института. Выпуск физико-математический. Том 4, 105-117, 1960г.

10. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И. и др. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. Монография. М.: Изд-во Де Нова, 2012, 196с.

11. Жерновский И.В., Кожухова Н.И., Черевашова А.В. и др. Новые данные о наноразмерном фазообразовании в вяжущей системе «гипс-известь». // Строительные материалы. 2016. №7. С. 9-13

12. Murat M. Structure, cristallochimie, et reactivite des sulfates de calcium – Colloq. Int. de Ia RILEM: Sulfates de calcium et mat reaux derives. Lyon. 1977. – P. – 59.

13. Yoshida M. Some studies of  $\text{CaSO}_4 \times 2/3 \text{H}_2\text{O}$ . Yogyo Kyokaishi. Journal of the Ceram. Society of Japan, v. 82, № 942, 1974. – P. 126 – 131.

# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИКИ НА СВОЙСТВА АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО

*Сычугов С.В., Плеханова Т.А.  
Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашиникова*

## **Введение**

Вовлечение отходов гальваники различных отраслей промышленности в производство строительных материалов является актуальным направлением в части решения экологических проблем, ресурсо- и энергосбережения [2, 4].

Применение технологических переделов для техногенных высокодисперсных добавок позволяет получить минеральные модификаторы, использование которых в составах вяжущих на основе природного ангидрита, позволяет повысить их экономическую и техническую эффективность [1].

Решение проблемы повышения прочности и водостойкости вяжущих на основе природного ангидрита, позволит расширить их область применения в строительстве [3]. Перспективными добавками с экономической и технической точек зрения выступают высокодисперсные минеральные порошки, обладающие активностью в результате применения технологических операций обжига и помола [12, 16]. Исследуемые гальванические отходы: обожжённый железосодержащий гальванический шлам (ЖГШ) и карфосидерит (КС) по своим свойствам эквивалентны активаторам и, одновременно, модификаторам на основе железа [11]. Ниже авторами статьи проведены исследования по повышению комплекса свойств ангидритового вяжущего, содержащего техногенные добавки.

## **Материалы и методы исследования**

В эксперименте использовали молотую ангидритовую породу Ергачёвского месторождения с удельной поверхностью  $S_{уд} = 380 \text{ м}^2/\text{кг}$ , удовлетворяющую требованиям ГОСТ 4013-82.

В качестве модифицирующих добавок исследовались железосодержащие гальванические шламы:

- завода ОАО «Аксион-холдинг» (г. Ижевск) – отход от производства гальванических покрытий и обработки поверхностей изделий, который является продуктом нейтрализации кислотных стоков ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HNO}_3$ ) растворами щелочей ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и содержит элементы щелочноземельных металлов;

- горнообогатительного предприятия ГМК «Норильский никель» (г. Норильск) – отход от производства никелевых порошков, получаемых

электролитическим способом из водных растворов солей никеля, с последующей сушкой и термообработкой в восстановительной среде.

Сроки схватывания ангидритового вяжущего с добавками исследуемых шламов и технологические свойства растворов на его основе регулировали суперпластификатором С-3, концентрация которого была принята 0,3-0,5 % от массы вяжущего.

Для ускорения реакции гидратации и твердения ангидритового вяжущего применялась сульфатная активация солями бисульфата ( $\text{NaHSO}_3$ ) и бисульфита натрия ( $\text{NaHSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ ).

Физико-химические свойства техногенных добавок и модифицированных ангидритовых растворов исследовали методами: рентгенофазового, микроскопического анализа и титриметрией. Удельную поверхность и средний диаметр частиц порошков гальванических шламов и определяли методами воздухопроницаемости по Блэину и лазерной дифракцией.

Технологические и физико-технические свойства ангидритовых растворов с содержанием исследуемых добавок и без определяли по стандарту ГОСТ 31376-2008 на образцах с размерами  $40 \times 40 \times 160$  мм, которые хранились в воздушно-сухих условиях и подвергались испытанию на 7-е и 28-е сутки.

За исследуемые параметры растворов были приняты: подвижность и водопотребность, предел прочности при сжатии и изгибе, средняя плотность и водостойкость, водопоглощение и сроки схватывания смесей.

### Экспериментальная часть

Железосодержащий гальванический шлам завода ОАО «Аксион-холдинг» представляет собой порошкообразную массу с влажностью 19-22 % [10], которая напрямую зависит от его химического состава.

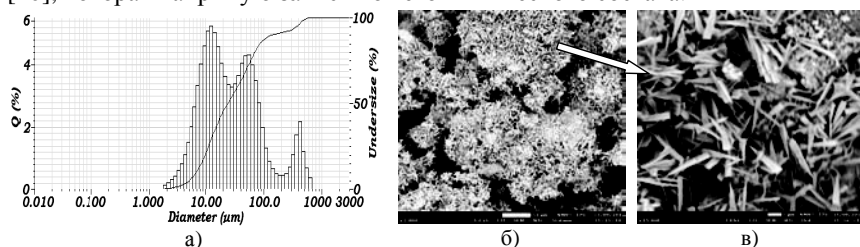


Рис. 1. Железосодержащий гальванический шлам: (а) – интегральная и дифференциальная кривые распределения частиц по размерам; (б, в) – микроструктура частиц при увеличениях, соответственно:  $\times 2000$  и  $\times 15000$

По результатам рентгенофазового анализа последний представлен кристаллическими фазами:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  – 19,33 % гематит;  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  – 9,04 % маггемит;  $\alpha\text{-FeOOH}$  – 12,64 % гётит и  $\text{CaCO}_3$  – 41,35 % карбонат кальция.

Часть массы ЖГШ была представлена малым количеством оксидов щелочных металлов: ZnO – 3,07 % оксид цинка; CuO – 2,20 % тенорит; NiO – 1,08 % бунзениит; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,48 % корунд; SiO<sub>2</sub> – 2,85 % оксида кремния и аморфной фазой диапазоне 2Theta = 30...40°. Наличие аморфной фазы связано с образованием слабо закристаллизованных гидроксидов железа, которые содержат от 10 до 16 % связанной воды, обуславливающих колебание влажности ЖГШ (рис. 1, б, в).

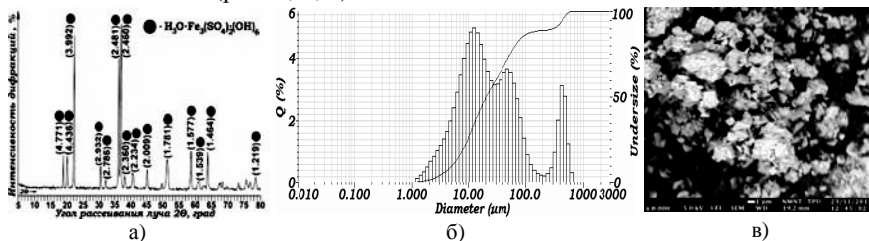


Рис. 2. Карфосидерит: (а) – рентгенограмма; (б) – интегральная и дифференциальная кривые распределения частиц по размерам; (в) – микроструктура частиц при увеличении  $\times 8000$

Шлам предприятия ГМК «Норильский никель» представлен порошкообразной гигроскопичной массой с влажностью  $\approx 1-2$  %. Рентгенофазовым анализом установлен химический состав отхода, который представлен кристаллической серноокислой окисью железа вида  $H_3O \cdot Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$  ( $d_a = 4,771; 3,992; 2,460; 1,577 \text{ \AA}$ ) – карфосидеритом [8] (рис. 2, а). Колебание влажности отхода сопровождается изменением химического состава от  $Fe_2O_3 \cdot SO_3 \cdot 3H_2O$  до  $Fe_2O_3 \cdot 1,5SO_3 \cdot 3,5H_2O$  [7] и формы его кристаллов – от кубических до гексагональных агрегатов (рис. 2, в). Свойства ЖГШ и КС представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химические свойства техногенных порошков

Вид порошка	Плотность, г/см <sup>3</sup> * <sup>1</sup>	Рн-водной вытяжки	Удельная поверхность $A_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Средний диаметр частиц, мкм	Влажность естественная, %
КС	3,003	4,38-4,40	500-505	3,900	0,86-1,83
ЖГШ	3,975	8,64-8,66	950-1000	3,240	19,0-22,0

В исходном состоянии\*<sup>1</sup> порошкообразные отходы ЖГШ и КС не оказывают модифицирующего действия на ангидритовое вяжущее, связанное с повышением его физико-технических свойств и водостойкости [8, 10, 11, 16]. Однако, применение технологической операции обжига ЖГШ, в котором содержатся гидроксид железа и вторичный карбонат кальция в интервале температур 900-1000 °С приведёт к формированию твёрдого раствора моноферрита кальция [5], обладающего гидравлическими свойствами при

<sup>1</sup> Плотность порошков определяли по пикнометрическому методу в ацетоне, плотностью 0,7899 г/см<sup>3</sup> (20 ± 1 °С). Предварительно порошки высушивались до постоянной массы при температуре 100° С ± 6° С в течение 1 часа в сушильном шкафу.

твердении [1]. После обжига продукт подвергают помолу до исходной удельной поверхности частиц с целью повышения модифицирующих свойств.

В случае с КС, эффективным приёмом, повышающим активность по отношению к ангидритовому вяжущему в процессе схватывания и твердения последнего, будет смешивание техногенного порошка в сухом виде с пластификатором С-3 [8]. Имея слабокислую среду рН-водной вытяжки (таблица 1), КС действует аналогично активатору схватывания и твердения ангидритового вяжущего – сульфату железа ( $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ). Дополнительные исследования по увеличению удельной поверхности частиц КС в результате помола порошка с пластификатором С-3 до величины 800-850 м<sup>2</sup>/кг позволяют сократить сроки схватывания растворной смеси на ангидритовом вяжущем.

Таким образом, применение технологических операций обжига ЖГШ в оптимальном интервале температур с последующим помолом, а также смешиванием сухого порошка КС с суперпластификатором С-3 позволят использовать техногенные отходы как минеральные модифицирующие добавки для ангидритового вяжущего.

На основе обзора литературы по технологии ферритов [5, 13] и ранее проведённых исследований [16] оптимальными параметрами обжига ЖГШ: температуры и продолжительности выдержки были приняты, соответственно 800 °С и 1 час. Скорость нагрева в муфельной камере была постоянной и составила 10 °С/мин. По окончании установленного времени обжиг прекращали, после чего порошки медленно охлаждали, до температуры  $20 \pm 1$  °С.

Обжиг свыше указанной температуры и увеличение времени выдержки нецелесообразны не только по экономическим причинам, но и по технологическим, – образующиеся оксиды кальция и железа, плохо спекаются в моноферрит кальция из-за уплотнения структуры оксида кальция и возникновения «пережога» (таблица 2).

Таблица 2. Физико-химические свойства обожжённого ЖГШ

Вид порошка	Температура Обжига, °С	Время, час	Рн-водной вытяжки	Удельная поверхность $A_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Плотность, г/см <sup>3</sup> *	Потери при прокаливании, %
1	800	1	11,00-11,04	930-950	3,569	22-25
2	1000		10,64-10,66	900-960	3,606	31-33

Сравнительный анализ физико-химических свойств обожжённых порошков ЖГШ (таблица 2) показал незначительное увеличение плотности образцов с 3,569 г/см<sup>3</sup> до 3,606 г/см<sup>3</sup>, что связано с уплотнением их структуры вследствие протекания диффузионных процессов (поверхностной

и объёмной), которые усиливаются с ростом температуры обжига. Однако, анализ данных рН-метрии водных вытяжек растворов, содержащих обожжённые в течение часа при 800 °С и 1000 °С порошки, показал понижение щёлочности среды в последнем случае на 3,4-3,6 %.

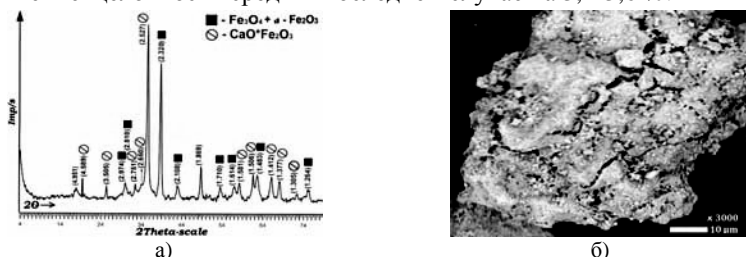


Рис. 3. ЖГШ после обжига при температуре 800 °С в течение 1 часа: (а) – рентгенограмма; (б) – микроструктура порошка при увеличении  $\times 3000$

Качественный рентгенофазовый анализ обожженного порошка ЖГШ выявил наличие кристаллических фаз: моноферрита кальция  $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $d_a = 4,589; 3,505; 1,527; 1,506; 1,412 \text{ \AA}$ ) и твёрдого раствора гематита ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) в магнетите  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $d_a = 4,951; 2,974; 1,614; 1,483; 1,377 \text{ \AA}$ ). Изменился химический состав порошка, где в области углов  $2\text{Theta} = 15 \dots 79^\circ$  на спектре не регистрируются дифракции, присущие оксиду кальция, что говорит о полном связывании оксида кальция с оксидом железа. Более высокое значение рН-водной вытяжки порошка ЖГШ, обожжённого при 800 °С по сравнению с 1000 °С, позволяет утверждать о лучшей модифицирующей способности первого.

На основе ранее проведённых исследований по влиянию КС на свойства ангидритового вяжущего [8], высушенная до постоянной массы добавка смешивалась с пластификатором С-3. Добавка исследовалась в интервале концентраций 0,5-5,0 %. Механически смешанный до гомогенности с С-3 порошок КС с удельной поверхностью частиц 800-850  $\text{м}^2/\text{кг}$  сперва растворяли в воде, перемешивали, а после – добавляли молотый ангидрит.

Для приготовления растворных смесей на основе природного ангидрита, модифицированного обожжённым при 800 °С в течение 1 часа порошком ЖГШ была использована сернокислая соль натрия –  $\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Предварительно смешанная с водой при оптимальной концентрации 0,75 % от массы вяжущего соль, совместно с суперпластификатором С-3 добавлялась в сухую смесь. Количество модификатора варьировалось в интервале 0,3-0,5 % от массы вяжущего.

После достижения однородности растворные смеси, содержащие модификаторы КС и обожжённый ЖГШ, укладывались в формы и уплотнялись. Водоцементное отношение варьировалось в интервале 0,21-0,26

для достижения необходимых технологических характеристик (таблица 3) растворов, а количество С-3 – 0,3-0,5 % от массы вяжущего.

*Таблица 3. Свойства ангидритового вяжущего, модифицированного добавками КС и обожжённым ЖГШ*

№ сос.	С, %	Физико-технические свойства					Технологические свойства				
		Прочность, МПа (сжатие / изгиб)		K <sub>p</sub>	W <sub>m</sub> , %	ρ, кг/м <sup>3</sup>	В/А, %	D, мм	Сроки схват., ч : мин		рН
		7 суток	28 суток						начало	конец	
<b>К</b>	-	2,87/0,48	6,30/0,61	-	18,20	1810	26,0	170	4 : 12	6 : 50	5,55
<b>КС</b>											
1	0,5	7,73/0,80	16,50/1,79	-	11,54	1,802	25,0	152	1 : 25	2 : 50	6,98
2	1	10,72/1,25	23,40/2,22	-	5,05	1,864	24,0	150	1 : 55	4 : 05	6,38
3	2	8,20/1,12	19,50/1,71	-	11,43	1,860	24,4	165	4 : 00	6 : 05	6,18
4	5	8,83/1,74	12,70/1,41	-	7,64	1,684	26,0	175	1 : 50	3 : 24	5,14
<b>ОЖГШ-800</b>											
9	0,3	4,07/0,48	12,38/1,40	0,67	8,33	1,875	21,0	161	3 : 15	4 : 48	6,87
10	0,5	5,80/0,65	10,71/1,23	0,56	7,09	1,974	23,0	167	4 : 33	6 : 45	7,66
11	2	5,87/0,49	14,63/1,38	0,77	4,67	1,876	23,0	163	3 : 54	5 : 54	7,87
12	5	4,34/0,30	5,65/0,41	0,67	7,39	1,858	26,0	161	3 : 05	5 : 11	8,92

Анализ свойств модифицированных ангидритовых вяжущих (таблица 3) свидетельствует о повышении прочности и понижении водопоглощения образцов в возрасте 28 суток при оптимальном содержании добавок, при этом улучшаются технологические свойства: сокращаются сроки схватывания, сохраняется требуемая подвижность и связность, а также повышается водоудерживающая способность растворных смесей. Установлено положительное влияние добавки суперпластификатора С-3 в растворах, позволяющее снижать водо-твёрдое отношение с сохранением требуемых технологических и достижением повышенных физико-механических свойств.

Установлено, что добавка ЖГШ, обожжённого при температуре 800 °С, увеличивает прочность образцов на ≈50 % по сравнению с контрольным образцом, сокращаются на ≈30-20 % сроки схватывания, снижается водопоглощение в 4-2 раза. Водостойкость композиций, оцениваемая по K<sub>p</sub> = 0,56-0,67, позволяет отнести вяжущие к водостойким. Оптимальное количество модификатора от массы вяжущего – 2 %.

При введении КС происходит не только повышение прочности в 2-4 раза, но и сокращаются сроки схватывания ангидритового вяжущего на более чем 50%. Согласно данным рН-метрии растворных смесей (таблица 3) добавка КС способствует образованию кислой среды – 5,14...6,98, что наиболее благоприятно влияет на процесс преобразования нерастворимого ангидрита в двугидрат [6]. Ангидритовые вяжущие, содержащие КС являются неводостойкими и могут эксплуатироваться в средах с влажностью

менее 60 %. Оптимальный интервал концентраций КС – 0,5-2 % от массы вяжущего.

Средняя плотность образцов на модифицированных вяжущих составляет 1680-1980 кг/м<sup>3</sup> и зависит от вида и содержания модификаторов. Таким образом, бетоны на ангидритовых цементах можно отнести к классу облегчённых.

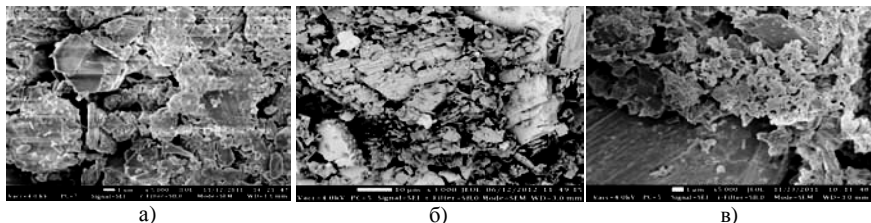


Рис. 4. Микроструктура опытных образцов на ангидритовом вяжущем, модифицированном исследуемыми добавками: (а) – КС ( $\times 5,000$ ); (б) – ЖГШ, обожжённом при температуре 800 °С в течение 1 часа ( $\times 5,000$ ); (в) – бездобавочный состав

Анализ микроструктуры образцов (рис. 4) показал, что введение добавок позволяет изменить морфологию кристаллов в сторону образования более мелкодисперсных кристаллогидратов, повышающих плотность образцов (рис. 4, а, б). При отсутствии модифицирующих добавок образуется неупорядоченная и рыхлая структура, состоящая из крупных кристаллов гипса с контактами срастания в отдельных точках (рис. 4, в), что приводит к появлению крупных пор в структуре образца и снижает прочность изделий.

В зависимости от предъявляемых требований бетоны могут использоваться в качестве напольных составов (М100-М200) с последующей отделкой паркетом, линолеумом, мозаичным покрытием.

## Выводы

1. Анализ физико-технических свойств модифицированных ангидритовых вяжущих свидетельствует о повышении прочности и понижении водопоглощения образцов в возрасте 28 суток при оптимальном содержании добавок, при этом улучшаются технологические свойства: сокращаются сроки схватывания, сохраняется требуемая подвижность растворов смесей;

2. Ангидритовое вяжущее, модифицированное обожжённым при температуре 800 °С в течение часа ЖГШ, обладает повышенными прочностью и водостойкостью по сравнению с контрольным составом благодаря гидратации ферритов кальция. Установлено, что прочность камня растёт с течением времени. Достигается это тем, что в результате действия сульфатного активатора  $\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  при затворении и увеличении доли



щелочного модификатора ЖГШ в ангидритовом вяжущем (до 2 %) устанавливалась преимущественно щелочная среда. Она способствовала усилению действия суперпластификатора С-3 и активации твердения нерастворимого ангидрита по смешанной схеме. Кроме того, карбонизация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , который образуется в результате гидратации ферритов кальция, способствовала образованию дополнительной плёнки препятствующей проникновению воды;

3. Ангидритовое вяжущее, модифицированное КС достигает повышенной прочности в результате уплотнения поверхности опытных образцов. Принцип действия молотого КС, смешанного, совместно с пластификатором С-3, заключается в быстром растворении и образовании кислой среды, в которой нерастворимый ангидрит интенсивно переходит в двуводный гипс. Наличие пластификатора, при этом позволяет снижать водовыяжающее отношение и повышать прочность.

4. Применение простых технологических переделов в виде обжига ЖГШ и помола порошкообразного КС с последующим смешиванием с пластификатором С-3 позволяют переводить техногенные отходы в минеральные добавки и использовать их в технологии ангидритовых вяжущих.

### Литература

1. Бутт Ю.М., Огороков С.Д., Сычёв М.М., Тимашев В.В. Технология вяжущих веществ. – М.: Высшая школа, 1965. – 619 с.

2. Герасимова Л.Г. Утилизация техногенных отходов с получением пигментных наполнителей // ALITinform. Международное аналитическое обозрение Цемент. Бетон. Сухие смеси, № 2(19), 2011. С. 106 – 112.

3. Гонтарь Ю.В., Чалова А.И., Бурьянов А.Ф. Сухие строительные смеси на основе гипса и ангидрита / Под общей редакцией А.Ф. Бурьянова. М.: Изд-во «Де Нова», 214 с.

4. Долгорёв, А.В. Вторичные ресурсы в производстве строительных материалов: Физико-химический анализ. Справочное пособие – М.: Стройиздат, 1990, – 456 с.

5. Журавлёв В.Г. Химия и технология ферритов: учеб. пособ. для хим.-технол. специальностей вузов. – Л.: «Химия», 1970. – 107 с.

6. Клименко В.Г. Теоретические основы проектирования состава активаторов твердения ангидрита // VI Междунар. науч.-практ. конф. «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» (Пермь, 5-7 сент. 2012). – Пермь, 2012. С – 41 – 47.

7. Паффенгольц К.Н. Геологический словарь. 2-е изд., исправленное. – М.: Недра, 1978. – 487 с.

8. Плеханова Т.А. Магнезиальные композиционные материалы, модифицированные сульфатными добавками: дис. канд. техн. наук / Плеханова Т.А., КГАСУ. – Казань, 2005. – 139 с.

9. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. К классификации наполнителей искусственных строительных композиционных материалов / Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции / КазГАСУ. Т.1. – Казань, 2010. С.48-52.

10. Сычугов С.В. Модификация ангидритового вяжущего термически обработанными железосодержащими гальваническими шламами: дис. канд. техн. наук / Сычугов С.В., КазГАСУ. – Казань, 2014. – 243 с.

11. Токарев Ю.В., Плеханова Т.А., Сычугов С.В., Гайнетдинова Д.Р., Казанцева А.С. Использование высокодисперсных отходов гальваники и нефтехимии для модификации ангидритового вяжущего / Ресурсосберегающие технологии и эффективное использование местных ресурсов в строительстве. Международный сборник научных трудов. – Новосибирск, 2013. С.340-348.

12. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Композиционное ангидритовое вяжущее повышенной водостойкости. Строительные материалы № 12, 2000. С.34-35.

13. Cornell R.M., Schwertmann U. The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses. 2nd, Completely Rev. and Ext.Ed. - WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2003. – 694 p.

14. Hahn Th. International tables for crystallography. Vol. A. Space-group symmetry. – 5<sup>th</sup> rev. ed. – Springer, 2005. – 911 p.

15. Powder Diffraction File, Inorganic, JCPDS International Centre for Diffraction Data, U.S.A., 1977. – 1084 p.

16. Sychugov S. Line of approach to a problem of water resistance of anhydrite cements / 12<sup>th</sup> International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016. Procedia Engineering No 172, 2017. P.982 – 990.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО АНГИДРИТА

*Токарев<sup>1</sup> Ю.В., Иванов<sup>1</sup> А.А., Гордина<sup>1</sup> А.Ф., Полянских<sup>1</sup> И.С., Бурьянов<sup>2</sup> А.Ф.*

*<sup>1</sup>Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашиникова*

*<sup>2</sup>Московский государственный строительный университет*

На предприятиях химической промышленности образуется значительное количество гипсосодержащих отходов, которые требуют утилизации. Одним из таких отходов является фторангидрит - отход производства плавиковой кислоты. Необходимость утилизации данного отхода вызвана важностью снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду и уменьшения площади территорий занятых отходами. Одно из направлений утилизации отходов - использование в производстве строительных материалов. При этом доля использования фторангидрита в строительстве очень низка. Между тем, показана возможность использования техногенного ангидрита в ГКЛ и ГВЛ [1], в ограждающих конструкциях в качестве стеновых блоков [2], в закладочных смесях [3] и сухих строительных смесях. При этом в большинстве случаев требуется улучшить технологические и физико-механические характеристики. Так, например, при использовании фторангидрита в стяжках наливных полов необходимо обеспечить достаточную растекаемость и жизнеспособность смеси в течение определенного времени, а также прочностные характеристики.

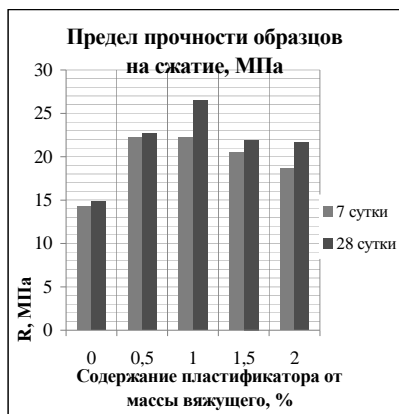
Известно, что фторангидрит медленно схватывается и твердеет, при этом, физико-механические характеристики остаются низкими. Свойства фторангидрита можно улучшить с использованием ускорителей твердения, комплексных добавок, включающих портландцемент, сульфат калия, углеродные нанотрубки [3,4] При этом, остается недостаточно изученным влияние поликарбоксилатных пластификаторов на свойства и структуру вяжущих на основе техногенного сырья, которые способны оказывать комплексное воздействие: снижать водопотребление, повышать прочность, снижать водопоглощение за счет сильного водоредуцирующего эффекта и оптимизации порового пространства. Вместе с тем, они могут и осложнять условия протекания гидрато- и структурообразования минеральных вяжущих [5,6,7].

Цель работы – изучить влияние поликарбоксилатных пластификаторов на свойства и структуру вяжущих на основе техногенного ангидрита.

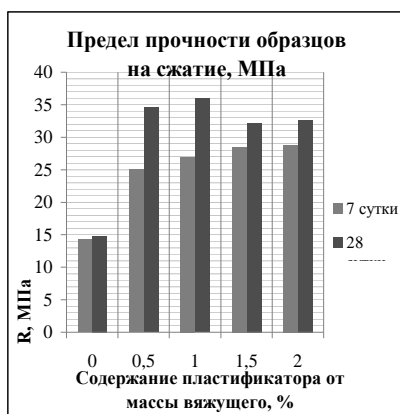
В качестве основного материала применялся фторангидрит - отход производства ОАО «Галополимер» (г. Пермь). Химический состав

фторангидритового вяжущего представлен  $\text{CaSO}_4$  – 92%,  $\text{CaO}$  – 6%,  $\text{CaF}_2$  – 2%. В качестве модифицирующих добавок были использованы поликарбоксилатные модификаторы: гиперпластификатор фирмы «Стахема» Stachment 2060 и суперпластификатор DC-5. Комплексная добавка DC-5 содержит в своем составе многослойные углеродные нанотрубки Graphistrength™ CW3-2,5 фирмы Arkema, состоящие из 10 - 15 слоев с внешним диаметром от 10 до 15 нм, длиной от 1 до 15 мкм и средней плотностью 50-150 кг/м<sup>3</sup>, распределенные в поликарбоксилатном ПАВ под торговой маркой Ethacryl HF (производитель – Coatex, Франция). Модификаторы вводились в состав вяжущего в виде водных дисперсий в количестве от 0,5 до 1,5 % от массы вяжущего. Для выявления изменений в структуре использовались ИК спектральный метод и дифференциально-сканирующая калориметрия.

Для определения физико-механических характеристик изготавливались балки с размерами 40×40×160 мм, которые выдерживались в течение 7 суток в нормальных условиях с последующей распалубкой и проведением механических испытаний через 7 и 28 суток. Анализ результатов механических испытаний показал существенное повышение прочности образцов с добавками в сравнении с контрольным образцом, как на сжатие, так и на изгиб.



(а)



(б)

Рисунок 1. Зависимость прочности образцов на сжатие от содержания пластификаторов через 7 и 28 суток: (а) – с добавлением Stachment 2060; (б) – с добавлением DC-5

Так, прочность на сжатие образца с добавлением Stachment 2060 через 28 дней увеличивается более чем в 1,7 раз, в сравнении с контрольным

составом, а при использовании DC-5 - в 2,4 раза при оптимальном содержании добавок в 1 % (рис. 1). Известно, что механизм действия поликарбоксилатных пластификаторов основан на том, что адсорбция пластификатора на поверхности твердых частиц способствует быстрому диспергированию вяжущего за счет проявления сил электростатического и стерического эффекта, что способствует увеличению поверхности контакта частиц с водой и улучшению условий протекания гидратации. Очевидно, что существенное повышение прочности образцов на основе фторангидрита происходит за счет значительного снижения потребления воды и уменьшения порового пространства. При использовании DC-5 достигаются более высокие характеристики в сравнении с другим пластификатором, что можно объяснить наличием углеродных нанотрубок в составе пластификатора.

При изучении сроков схватывания, водопоглощения и водостойкости образцов на основе техногенного ангидрита, оба пластификатора оказывают положительное влияние на фторангидритовые образцы. Для оценки влияния пластификаторов на гидратацию и структуру и объяснения полученных результатов проводилось исследование структуры.

Для подтверждения правильности сделанных выводов проводился ИК анализ контрольного и модифицированного составов. Для сульфатных систем характерны интенсивные дуплеты в области частот  $600-700\text{ см}^{-1}$  и более широкие и интенсивные полосы в интервале  $1100-1200\text{ см}^{-1}$  отвечающие за группировку SO (рис. 2). Кроме того, характерно наличие интенсивных дуплетов в интервале частот  $1600-1700\text{ см}^{-1}$  и  $3400-3550\text{ см}^{-1}$  характерных для связанных молекул воды. Анализ ИК-спектров образцов без добавок и с добавлением Stahement 2060 (рис.2) показал увеличение интенсивности полос поглощения в области частот  $600-700$  и  $1100-1200\text{ см}^{-1}$  для модифицированного образца. Следует отметить снижение интенсивности полос в области  $1600-1700$  и  $3400-3550\text{ см}^{-1}$ , что вероятно связано с меньшим количеством затворяемой воды при использовании гиперпластификатора. Кроме того, в модифицированном составе появляются дополнительные полосы в интервале  $1100-1200\text{ см}^{-1}$ , что вероятно связано с появлением кристаллогидратных новообразований в структуре образца. Следует отметить существенные сдвиги частот в области  $1000-1200\text{ см}^{-1}$  ( $1080,14$  и  $1087,85$ ;  $1201,65$  и  $1190,08$ ), что свидетельствует об изменениях в структуре молекулы  $\text{CaSO}_4$ .

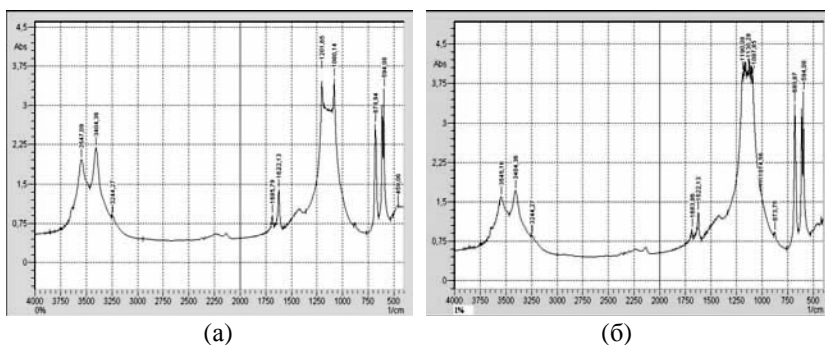


Рисунок 2. ИК-спектры образцов: (а) – без добавок; (б) – с добавлением Stahement 2060

На ИК-спектре образца с добавлением DC-5 также наблюдаются изменения, но с меньшей интенсивностью и без значительного изменения частот, при этом прочностные характеристики образцов достигаются значительно выше.

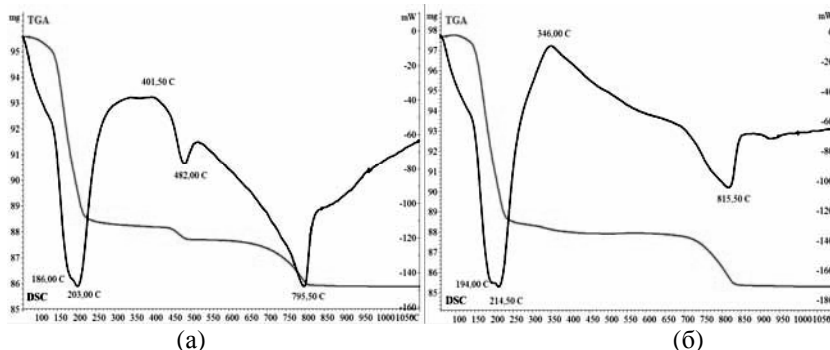


Рисунок 3. ДСК - спектры образцов: (а) – без добавок; (б) – с добавлением DC-5

На ДСК-спектрах сульфатных образцов (рис. 3) традиционно присутствуют эндотермические эффекты, отвечающие за удаление кристаллизационной воды (в интервале температур 150-250<sup>±</sup>С), за разложение карбоната кальция (450-500<sup>±</sup>С) и сульфата кальция (700-800<sup>±</sup>С). Имеется экзотермический эффект, связанный с переходом нерастворимой модификации ангидрита в растворимую (300-400<sup>±</sup>С). Анализ спектров образцов без добавок и с добавлением пластификатора DC-5 показал наличие ярко выраженного экзотермического эффекта (интервал 300-400<sup>±</sup>С), что можно объяснить большим количеством кристаллогидратов сульфата кальция в составе модифицированного образца. Вместе с тем, пропал эндотермический эффект на спектре образца с добавлением DC-5, связанный

с карбонатом кальция, что вероятно связано с непостоянством химического состава фторангидрита разных партий.

Анализ спектров образцов без добавок и с добавлением Stachment 2060 показал наличие всех характерных эффектов с четко выраженным экзотермическим пиком в температурном интервале 300-400<sup>±</sup>С. Следует отметить смещение значений температурных эффектов на спектрах модифицированных образцов.

Макроструктурный анализ сколов образцов при 50-кратном увеличении показал, что диаметр пор при использовании пластификаторов существенно ниже в сравнении с контрольным составом.

Таким образом, можно сделать следующие выводы и заключение:

1. Поликарбоксилатные пластификаторы оказывают положительное влияние на физико-механические свойства вяжущих на основе фторангидрита: существенно снижается водопотребление вяжущего, повышается прочность на сжатие и изгиб, сокращаются сроки схватывания и снижается водопоглощение. Полученные характеристики достаточны для разработки составов сухих напольных смесей на основе фторангидрита.

2. Прочностные показатели образца через 28 дней твердения с добавлением Stachment 2060 увеличиваются более чем в 1,7 раз, а при использовании DC-5 - в 2,4 раза при оптимальном содержании добавок в 1 %, в сравнении с контрольным составом. При этом водопоглощение снижается с 18,2 % до 7,8-8,6% в зависимости от вида добавки.

3. Существенное повышение физико-механических характеристик вызвано не только значительным водоредуцирующим эффектом, но и улучшением условий протекания гидратации и структурообразования. Использование поликарбоксилатных пластификаторов Stachment 2060 и DC-5 в составе вяжущего приводит к уменьшению пористости, повышению плотности гипсового камня, что обеспечивает более высокие механические характеристики.

4. Вместе с тем, изменяются и условия протекания гидрато- и структурообразования, что подтверждается результатами ИК и ДСК анализов, причем в большей степени при использовании Stachment 2060, несмотря на то, что при использовании DC-5 достигаются более высокие показатели.

5. При использовании Stachment 2060 увеличивается не только содержание кристаллогидратов двуводного гипса, но и появляются новообразования иной структуры, согласно результатам ИК анализа. При использовании DC-5 следует отметить отсутствие изменений в структуре молекул воды.

6. В связи с этим, остается неясным механизм действия DC-5 и роль углеродных нанотрубок в составе пластификатора, при использовании которого достигается повышение прочности на сжатие в 2,4 раза. Таким образом, для объяснения данных результатов требуются дополнительные исследования, включая микроструктурный анализ образцов.

### Литература

1. Федорчук Ю.М., Малинникова Т.П. Исследование свойств строительных изделий на основе техногенного ангидрита // Фундаментальные исследования. 2014. №3-1. С. 46–49.

2. Аниканова Л.А. Эффективность использования фторангидрита в производстве стеновых и отделочных материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. №1-48. С. 163–171.

3. Гальцева Н.А., Бурьянов А.Ф. Закладочные смеси на основе синтетического ангидрита из отходов промышленности // Строительные материалы. 2016. №7. С. 33–35.

4. Гордина А.Ф., Полянских И.С., Яковлев Г.И., Мазитов М.О., Бекмансуров М.Р., Балобанова Ю.А. Комплексная активация фторангидрита добавками на основе многослойных углеродных нанотрубок // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. №2(29). С. 96–101.

5. Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С. Исследование влияния супер- и гиперпластификаторов на основные свойства цементного теста // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №2(24). С. 221–225.

6. Богданов Р.Р., Калимуллин А.А. Влияние гиперпластификаторов на основе эфира поликарбоксилата и полиарила на свойства цементных композиций // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. №24. С. 70–73.

7. Тараканов О.В., Калашников В.И. Перспективы применения комплексных добавок в бетонах нового поколения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. №1(39). С. 223–229.



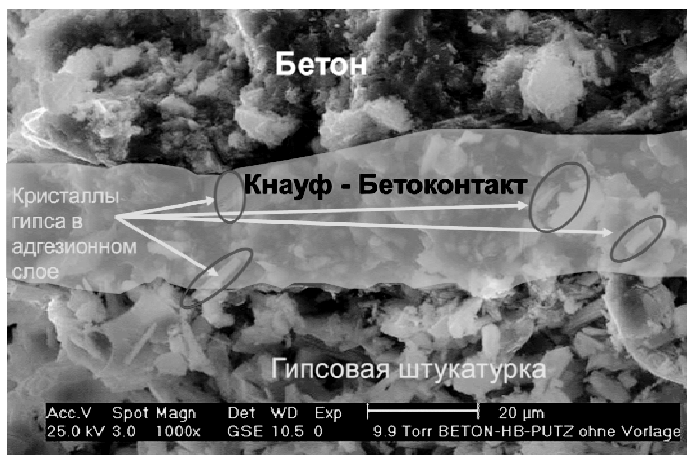
# НУЖНЫ ПРОЧНЫЕ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ЛЮБОЙ РАБОТЫ, ТЕМ БОЛЕЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Трифонова И.И.  
ООО «КНАУФ ГИПС»

## I. Грунтовка – часть штукатурной системы

### Главная задача

С момента появления модифицированных строительных смесей ведется постоянная работа ученых и технологов по их усовершенствованию. При этом основе штукатурной системы – грунтовкам – долгое время не уделялось должного внимания. Нельзя сказать, что новации полностью обходили грунтовки стороной, но их число явно уступало сухим смесям по частоте их внедрения и по популярности. Компания КНАУФ следом за выходом на рынок первой гипсовой штукатурки КНАУФ-Ротбанд предложила строителям и другой продукт – адгезионную грунтовку КНАУФ-Бетоконтакт, подчеркивая, что грунтовка такая же неотъемлемая часть штукатурной системы. Главная задача, которую отделочник решает применением данной грунтовки – создание на поверхности бетона пленки, обеспечивающей ее надежное сцепление с основанием и с гипсовой штукатуркой. В немецком языке Бетоконтакт описывается словом «Naftbrücke» («хафтбрюкке»), что в дословном переводе означает «адгезионный мост». И действительно, если посмотреть в разрезе на границу «бетон – Бетоконтакт – гипсовая штукатурка», можно увидеть, как кристаллы гипса проникают в Бетоконтакт.



В чем заключаются проблемы отслоения штукатурки и преимущества грунтовки КНАУФ-Бетоконтакт?

При изучении причин отслаивания слоя гипсовой штукатурки от бетона и ее обрушения во многих случаях выявлялось низкое качество использованной грунтовки сторонних производителей. На месте отслоения такая «грунтовка» крепко держалась на бетоне, а штукатурка от нее отошла будто от стеклянной поверхности. Это говорит о том, что после полимеризации грунтовка образовывала настолько плотную пленку, что кристаллы гипса не могли надежно на ней закрепиться.

Помимо обеспечения адгезии КНАУФ-Бетоконтакт нивелирует влияние противоморозных добавок в бетон и его остаточную влажность. При строительстве в холодное время года используют противоморозные добавки, например, карбонат калия. Миграция раствора калийной соли вместе с водой на поверхность бетона приводит к образованию высолов. Как следствие происходит потеря адгезии между бетоном, грунтовкой и штукатуркой. Штукатурка отслаивается и может упасть.



В Центральной лаборатории КНАУФ в Германии была разработана методика испытаний, которая помогает определить способность адгезионной грунтовки выдерживать натиск солей из бетона на протяжении длительного времени. К сожалению, вопрос долговременной адгезии среди некоторых производителей грунтовок для бетона не является ключевым. Основной упор делается на количество и размер заполнителя. Потребителю это преподносится, как основное достоинство и гарантия высокой адгезии. На самом деле роль заполнителя в обеспечении сцепления штукатурки с грунтовкой сильно преувеличена. Существенного влияния заполнитель не оказывает. Это подтверждают и наши внутренние испытания, когда до нанесения штукатурного слоя часть бетона была обработана КНАУФ-Бетоконтактом с наполни-

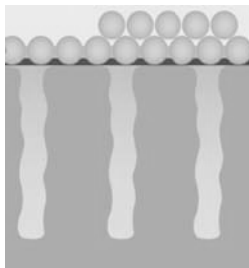
телем, а часть – КНАУФ-Бетоконтактом без наполнителя. Результатом испытаний в обоих случаях стал когезионный разрыв по гипсовой штукатурке при величине приложенной силы порядка 0,6 МПа.

Резюмируя, можно сказать, что **основной задачей адгезионной грунтовки является создание на поверхности бетона пленки, обеспечивающей первичную и долговременную адгезию.** Размер и количество наполнителя не оказывает существенного влияния на силу сцепления штукатурки с основанием.

### Задача № 2

Еще одной важной задачей грунтовок является **снижение и выравнивание по всей площади поверхности впитывающей способности основания.**

Наиболее агрессивными по водопоглощению среди стеновых материалов считаются ячеистый бетон и силикатный кирпич. Для закрытия пор этих материалов применяются грунтовки, так называемого, пленочного типа.



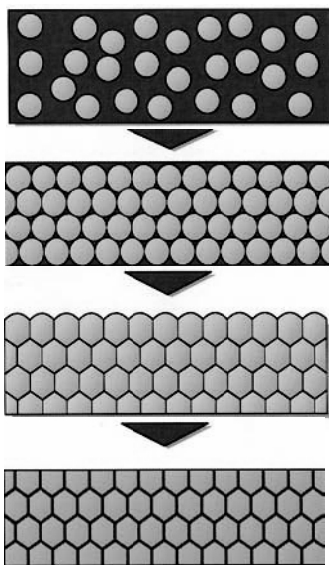
### Рассмотрим этапы формирования пленки

В процессе испарения воды полимерные частицы дисперсии сближаются.

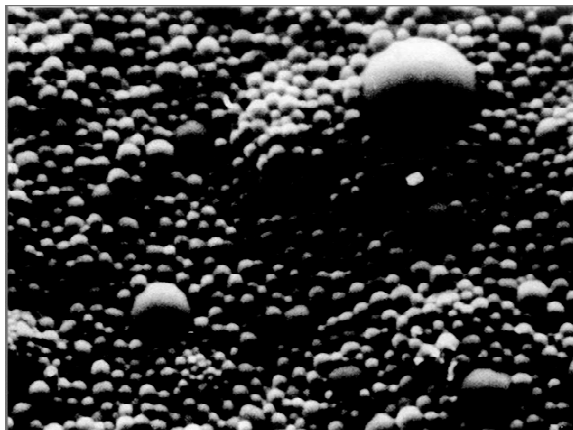
По мере испарения воды, контактируя друг с другом, образуют гель (повышается вязкость).

При дальнейшем испарении воды из пленки частицы «прижимаются» друг к другу, сильно деформируясь.

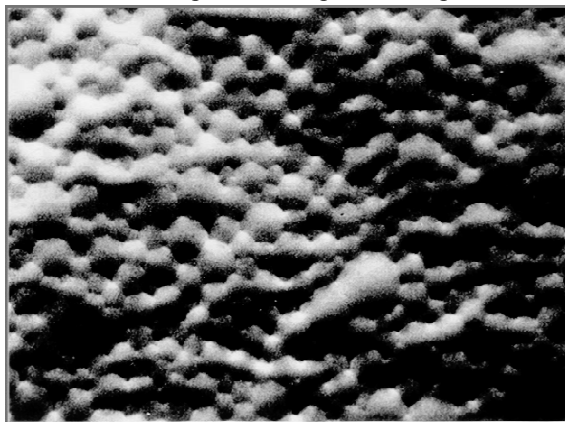
На последней стадии полимерные частицы спекаются в точках соприкосновения, образуя сплошную пленку.



Грунтовка, нанесенная на поверхность



Грунтовка, нанесенная на поверхность в процессе образования плёнки



Для формирования надежной пленки на поверхности пористых материалов сухой остаток должен быть на уровне 16%. Как показывает наша практика, в большинстве грунтовок, представленных на рынке, сухой остаток редко превышает 7 – 8%.

### **ГОСТ для грунтовочных составов**

В настоящий момент в России нет ГОСТа на грунтовки. Каждый производитель разрабатывает продукт по собственным нормативным документам и согласно своим представлениям о достаточном количестве дисперсии.

Компания КНАУФ готова принять непосредственное участие в подготовке ГОСТа по грунтовочным составам, и мы уверены, что установление нормативов поможет вывести отделочные работы на новый качественный уровень.

## **II. Единая система стандартов качества поверхности**

Чтобы финишное покрытие оправдало ожидания и прослужило долго, под него должно быть выбрано правильное, соответствующее основание. Для каждого типа финишного покрытия имеются свои особые требования к основанию, на которое оно будет впоследствии наноситься.

В процессе подготовки основания под финишные материалы не редко возникает недопонимание между различными участниками строительного процесса: заказчиком, исполнителем работ, дизайнером. Понятия «ровный», «гладкий», «под покраску», «под плитку», «под обои» - субъективны, и каждым человеком воспринимаются по-своему. Чтобы избежать этого компания КНАУФ разработала и предлагает успешно применяемую в Германии и гармонизированную с российскими строительными нормами систему подготовки и оценки качества поверхности «Q1 – Q4» («Q» - от немецкого Qualität, Качество).

Задача системы – появление в профессиональном сообществе координатной сетки, общего языка, на котором говорили бы все: заказчики, проектировщики, архитекторы, подрядчики, чтобы у них не было разногласий в понимании того, что кому нужно.

Предлагаемая компанией КНАУФ система «Q1 – Q4», подразделяет качество отделки поверхности на несколько уровней – от стартового Q1, когда поверхность готовится под плитку, до высшего Q4 под финишные покрытия премиум-класса.

Помимо набора критериев оценки качества поверхности под последующее покрытие, «Q1 – Q4» определяет, какие должны быть использованы материалы в каждом конкретном случае, потому что не всеми материалами можно достичь требуемого результата.

Таким образом, система Q1 – Q4 – это набор рекомендаций, который позволяет четко и однозначно определять уровни подготовки поверхностей с учетом их назначения. С одной стороны, это своеобразный регламент работ, позволяющий контролировать каждый этап и слой финишной отделки, с другой – это объективный критерий оценки качества полученной поверхности. Соответственно, при подготовке поверхности под определенное финишное покрытие дизайнер, строитель и заказчик могут говорить на одном языке.

Система «Q1 – Q4» полностью соответствует (в некоторых аспектах превосходит по строгости оценки) государственным требованиям в области отделки, а именно Своду Правил СП 71.13330.2017 (актуализированный СНиП 3.04.01-87) «ИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ».

Система «Q1 – Q4», предложенная компанией КНАУФ, в Германии была рассмотрена и принята на законодательном уровне. И когда на стройках идут отделочные работы, там ориентируются именно на эти понятия, в договоре сразу же оговаривается, какая степень качества поверхностей нужна на объекте. И если возникает спорная ситуация, у них есть четкие критерии, по которым можно определить, кто прав, а кто нет.

Еще один плюс работы по системе Q1 – Q4 – это экономия времени и материальных ресурсов и для строителя, и для заказчика. Каждый со своей стороны может аргументировано доказать необходимость или наоборот отсутствие необходимости проведения тех или работ и затрат.

На рынке жилой недвижимости российские застройщики стараются предлагать жилье с готовой отделкой, чтобы люди могли достаточно быстро въехать в квартиру и жить. И здесь у покупателя квартиры возникает очень много вопросов к качеству отделки, поэтому установление правил игры на рынке жилья на данный момент тоже крайне актуально. Определенные уровни и параметры отделки или подготовки под отделку квартир можно было бы фиксировать в договорах на приобретение жилья.

Пользоваться набором рекомендаций от компании КНАУФ в виде системы «Q1 – Q4» или не пользоваться – каждый решает сам, но для тех, кто хочет иметь точку отсчета, избежать перерасхода ресурсов - эта система будет крайне востребована.

# НОВЫЙ ЗАВОД БЕЛГИПС И ТЕХНОЛОГИИ CLAUDIUS PETERS ДЛЯ ГИПСОВЫХ ЗАВОДОВ

*Фридманн Л., Claudius Peters Projects GmbH (Германия)*

На протяжении многих лет предприятие Белгипс осуществляет свою деятельность на рынке гипса и гипсовых материалов в Беларуси, а также осуществляет поставки в Россию, Украину, Литву, Данию, Финляндию и др. «Старое» производство предприятия находится в самом центре Минска. Для расширения географии поставок, увеличения объемов производства и пополнения продуктовой линейки было принято решение о строительстве нового завода в пос. Гатово (Минский р-н). Компания Claudius Peters является в данном проекте поставщиком линии помола и кальцинации гипса для гипсокартонных листов и гипсовых блоков.

**Таблица 1: Эксплуатационные показатели цеха кальцинации**

<b><u>Установка кальцинации</u></b>	<b><u>Технические данные</u></b>
Производительность установки	<b>36 т/ч</b>
Содержание связанной воды в продукте	<b>≤ 5,8 %</b>
Тонкость продукта после мельницы Остаток на сите 90 микрон	<b>&lt; 25 %</b>
Потребление топлива (газ) при гипсе со свободной влагой 3% и чистоте 92%	<b>≤ 970 кДж/кг</b>
Расход электроэнергии	<b>25,7 кВтч/т</b>
Начало схватывания	<b>&gt; 6 мин</b>
Температура гипсового вяжущего после охладителя	<b>&lt; 80 °С</b>

## **Описание работы**

Система кальцинации работает 24 часа в сутки, запуску должен предшествовать короткий предварительный подогривательный период.

Установка помола и кальцинации оснащена 3 главными системами регулирования.

- Регулировка воздушного потока

Измерение объемного расхода воздуха осуществляется между фильтром и вентилятором. Установленное значение объемного расхода воздуха задается. Объем регулируется при помощи регулировки скорости вентилятора посредством частотно-регулируемого привода.

- Регулировка температуры

Место для измерения температуры расположено на трубопроводе за выходом мельницы. Установочное значение для температуры задается заранее. Управление осуществляется посредством нормы пламени снабжения горячего газа. Если температура превышает заданное значение, то норма пламени будет снижаться, охлаждая поток горячего газа до заданного значения температуры.

- Управление уровнем давления

Для работы мельницы в режиме сохранения постоянного давления необходимо поддерживать постоянное давление на входе мельницы. Измерение давления происходит на мосту горячего газа перед входом в мельницу. Установочное значение для давления задается заранее. Управление будет осуществляться при помощи регулируемого демпфера в трубопроводе отходящих газов.

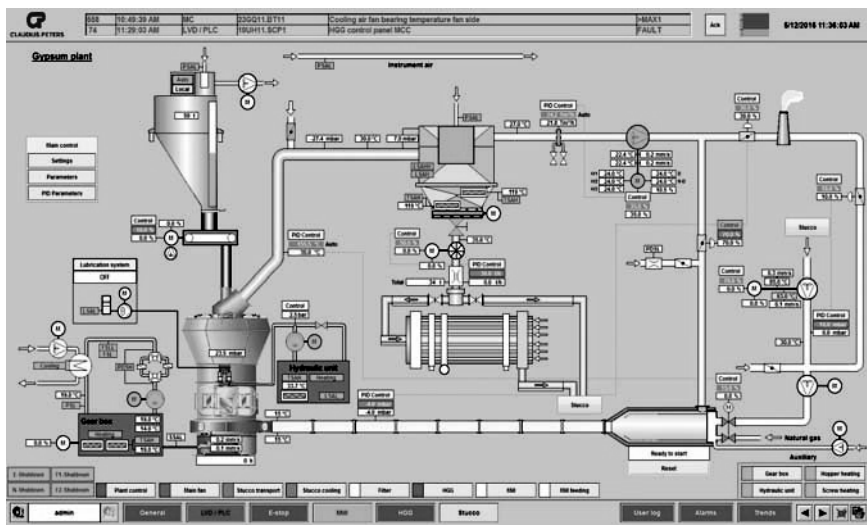


Рис. 1: Технологическая схема цеха кальцинации

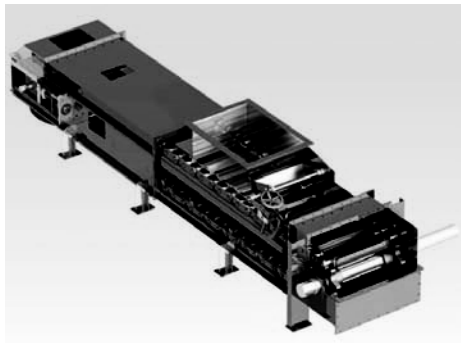
### Краткое описание Линии помола и кальцинации гипса на основе мельницы EM59-585 Claudius Peters:

Силос гипсового камня обеспечивает необходимым объемом для хранения гипсового камня для непрерывной работы системы измельчения и кальцинации. Минимальный уровень заполнения силоса гипсовым камнем, указываемый посредством тензодатчиков, обеспечивает необходимое уплотнение на фоне работающей под разрежением мельницы, для того чтобы избежать поступления избыточного воздуха в контур кальцинации. Датчик максимального уровня позволяет избежать переполнения силоса. Индикация



уровня посредством тензодатчиков позволяет оператору планировать необходимое снабжение производственными запасами камня. Обеспыливание силоса гипсового камня осуществляется с помощью системы обеспыливающего фильтра. Фильтр комплектуется вентилятором с двигателем.

Из силоса сырьевого гипса материал поступает в цепной скребковый питатель Claudius Peters, который осуществляет постоянную регулируемую подачу гипсового камня в мельницу Claudius Peters. Преимуществом цепного скребкового питателя являются его износостойкость и герметичность (рис. 2).



*Рис. 2: Цепной скребковый питатель*

Цепной скребковый питатель позволяет равномерно подавать материал в систему помола и кальцинации. Равномерное, непрерывное питание является необходимым для строгого контроля параметров системы и производства кальцинированного гипса высокого качества. Предварительная регулировка объемного питателя для номинальной работы осуществляется с помощью регулятора уровня слоя камня. Желаемая производительность питания затем контролируется в автоматическом режиме с помощью частотно-регулируемого привода, изменяющего скорость цепей. Питатель полностью герметичен, минимум подсоса воздуха в контур помола и кальцинации. Стержневой шибер позволяет перекрывать поток камня в цепной питатель для целей технического обслуживания.

От цепного скребкового питателя мельницы, через входную точку гипсовый камень поступает в мельницу EM59-585. Мельница EM Claudius Peters установлена на более чем 100 гипсовых заводах и хорошо известна как оборудование для производства строительного гипса. Такой опыт эксплуатации позволяет считать оборудование помола и кальцинации Claudius Peters самым современным уровнем развития техники.

Мельница EM59-585 это вертикальная тарельчато-шаровая мельница, в которой помол, сушка, кальцинация и сепарация гипса осуществляются в

одной установке. Материал измельчается, поступая через течку на вращающийся диск, и далее, перемещаясь под действием центробежных сил между мелющими шарами и нижним мелющим кольцом. Измельченный материал покидает зону помола по внешнему периметру нижнего мелющего кольца.

Кальцинация (обжиг) происходит благодаря введению горячих газов в мельницу в течение всего процесса измельчения. Поток горячего газа производится в генераторе горячих газов и поступает в мельницу через патрубковое кольцо, которое размещается с внешней стороны нижнего мелющего кольца. Конструкция мельницы выполняется в расчете на температуру горячего газа на входе до  $650^{\circ}\text{C}$ , что позволяет снизить объемы воздушного потока и приводит к значительному улучшению энергетических показателей. Измельченный гипс транспортируется в потоке горячего газа к сепаратору, находящемуся в верхней части мельницы. В сепараторе частицы больше заданного сепарируются и возвращаются обратно в зону помола, в то время как тонко помолотые частицы выносятся из мельницы.



*Рис. 3: Вертикальная тарельчато-шаровая мельница Claudius Peters*

Отделение материала от газового потока происходит в пылесборнике. Пылесборник состоит из монтируемых сверху сменных рукавов, с системой непрерывной импульсной очистки. Скопившаяся в рукавах фильтра пыль очищается сжатым воздухом, направленным в центр каждого рукава.

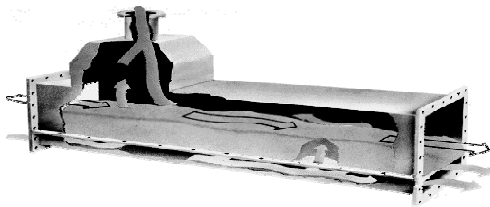
Высокоэффективный радиальный вентилятор обеспечивает необходимый поток воздуха для работы системы мельницы. Воздушный

поток может регулироваться посредством частотного преобразователя (частотно-регулируемый привод). Высокоэффективный радиальный вентилятор оснащается корпусом из сварных конструкций с горизонтальным разъемом для извлечения крыльчатки вентилятора с инспекционным люком. Вал и подшипники оснащаются масляной смазкой.

Строительный гипс из-под пылесборника подается либо во вращающийся барабанный охладитель или непосредственно байпасом в пневмовинтовой насос типа X посредством аэрожелобов.

Система распределения для строительного гипса состоит из распределительного короба с 2 выходами (один выход к охладителю, другой к пневмовинтовому насосу). У этих двух выходов устанавливаются дозирующие вальцы, которые открытием или закрытием своего проходного сечения регулируют подачу материала по своему направлению. Далее строительный гипс транспортируется либо к охладителю, либо к пневмовинтовому насосу с помощью аэрожелобов, воздух к которым подается с помощью радиального вентилятора с двигателем.

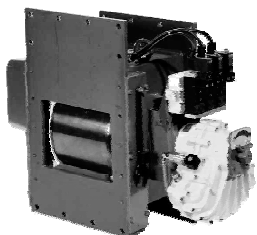
Аэрожелоб представляет собой пневмотранспорт, предназначенный для горизонтальной (с небольшим наклоном вниз) транспортировки материала (рис. 4).



*Рис. 4: Аэрожелоб*

В аэрожелобах Claudius Peters используется эффект псевдооживления материала.

Аэрожелоб закрытого типа состоит в основном из нижнего короба, в который подается воздух от радиального вентилятора (по трубопроводу аэрации), специальной ткани, пропускающей воздух, и верхнего короба, через который транспортируется материал. Воздух, вдуваемый в нижний короб, проникает через пористую ткань в верхний короб и оживляет материал, который легко течет вперед по желобу, имеющему небольшой уклон. Отсос воздуха для его последующего обеспыливания осуществляется через верхний патрубок аэрожелоба.

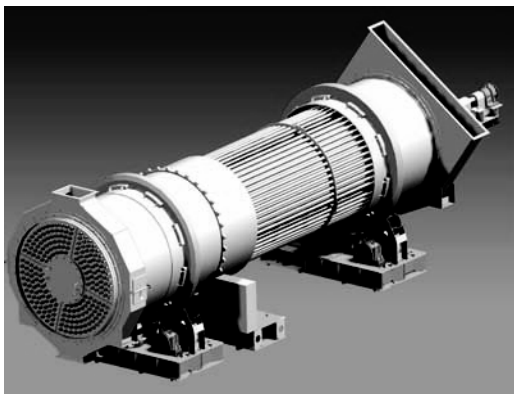


*Рис. 5: Дозирующий валец*

Дозирующий валец предназначается для контроля (дозирования) проходящего потока

материала. Дозировка проходящего потока осуществляется поворотом вальца, т.е. его углом открывания.

Система охлаждения строительного гипса, получающая строительный гипс от пылесборника при температуре кальцинации охлаждает его с помощью вращающегося барабанного охладителя.



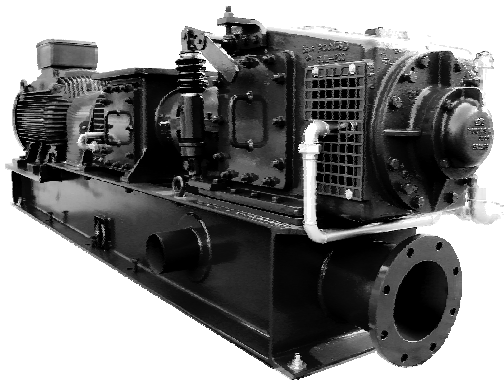
*Рис. 6: Вращающийся барабанный охладитель*

Во вращающемся барабанном охладителе происходит непрямой теплообмен через стенки труб между строительным гипсом и воздухом окружающей среды, который проходит по трубкам вращающегося охладителя. Охладитель состоит из горизонтального вращающегося барабана с группой внутренних трубок. Строительный гипс подается с помощью аэрожелоба с одного конца барабана и транспортируется посредством вращения и небольшому углу наклона барабана. В противотоке к движению строительного гипса, охлаждающий воздух проходит по установленным трубкам. В процессе охлаждения материал проходит через охладитель, отдавая тепло через стенки трубок охлаждающему воздуху. Поток охлаждающего воздуха изолирован от потока строительного гипса.

Охлаждающий воздух входит в охладитель с разгрузочного для строительного гипса конца, проходит через систему труб и выходит через воздушный выходной корпус к вытяжному вентилятору. Вентилятор обеспечивает необходимый поток воздуха в системе охлаждения. Поток воздуха может регулироваться посредством частотно-регулируемого электропривода, позволяющего регулировать конечную температуру строительного гипса до желаемого уровня.

Охлаждённый до 80°C материал подаётся с путём пневмотранспорта с помощью пневмовинтового насоса в три силоса хранения строительного гипса. Пневмовинтовой насос типа X используется для пневматической

транспортировки строительного гипса по транспортной трубопроводной линии от цеха кальцинации до силосов хранения. В пневмовинтовой насос типа X материал поступает либо от охладителя, либо непосредственно от пылесборника мельницы.



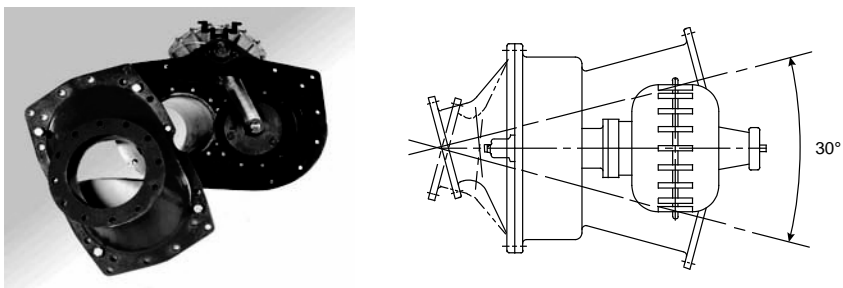
*Рис. 7: Пневмовинтовой насос типа X*

Транспортировка с использованием насоса Claudius Peters:

- материал подается в приемный бункер насоса и деаэрируется.
- посредством вращающегося шнека материал уплотняется в пробку в конце шнека; происходит также полное заполнение шнека материалом.
- пробка материала в конце шнека, а также в самом шнеке, герметизирует насос от давления транспортировки.
- за счет создаваемого материалом давления открывается обратный клапан.
- материал подается в воздушный транспортный поток и начинается процесс транспортировки в транспортном трубопроводе.

Для генерации сжатого воздуха, который необходим для осуществления пневматической транспортировки с помощью пневмовинтового насоса типа X, используется винтовой компрессор Delta.

Транспортная трубопроводная линия имеет разветвления, которые выполняются таким образом, чтобы строительный гипс, транспортируемый по трубопроводу, мог по выбору попасть в любой из трех силосов. В местах этих разветвлений устанавливаются двухходовые переключатели. Двухходовой переключатель предназначен для выборочной транспортировки материала в одно из двух разветвлений трубопровода. Двухходовой переключатель открывает проход в одно из разветвлений и одновременно закрывает проход в другое.



*Рис. 8: Двухходовой переключатель*

В конце транспортного трубопровода при переходе трубопровода с горизонтального участка на вертикальный участок с направлением движения материала вниз устанавливается отбойная головка.

Система хранения строительного гипса состоит из трех силосов, два из которых располагаются в цехе гипсокартонной линии, а третий в цехе гипсовых блоков. Сами силоса являются поставкой Покупателя. Claudius Peters поставляет оборудование верха силосов: клапаны пониженного давления, рукавные фильтры силосов и оборудование измерения уровня в силосе.

Для автоматического управления «Линией помола и кальцинации гипса на основе мельницы типа EM59-585» в поставку Claudius Peters включено электрооборудование для всей линии в целом. Последовательности запуска и остановки (запуск и остановка индивидуальных агрегатов шаг за шагом) производятся автоматически посредством системы управления, поставляемой Claudius Peters.

Центр управления электродвигателями MCC служит для управления электродвигателями (на основе полученных от панели управления сигналов) посредством передачи электроэнергии от питающей сети (распределительного щита низкого напряжения, поставляемого Покупателем) к потребителям (т.е. электродвигателям).

Панель управления является управлением приводов, датчиков и исполнительных механизмов, а также контуров управления линии помола и кальцинации гипса. В состав панели управления входит программируемый логический контроллер PLC. Программируемый логический контроллер PLC воспринимает внешние сигналы от контрольно-измерительных приборов, установленных в Линии помола и кальцинации гипса, анализирует их и выдает выходной сигнал на MCC.

Визуализация и мониторинг (станция оператора) служит для процесса визуализации, работы и подачи сигналов тревоги в Линии помола и кальцинации гипса. Станция оператора необходима для того, чтобы представлять оператору в настоящем времени необходимую информацию в

быстрой, ясно устроенной и понятной форме и делать его работу легче, обеспечивая удобный человеко-машинный интерфейс. Станция оператора WIN CC отвечает этому требованию во всех отношениях с такими возможностями, как графика с поэлементным формированием изображения, объектное ориентированное окно, технологическое меню и стандартные дисплеи. Станция оператора включает в себя персональный компьютер, монитор и принтер. Система бесперебойного электроснабжения UPS служит для резервного электроснабжения PLC, станции оператора и оборудования, необходимого для безопасной работы. Все контрольно-измерительные приборы предназначены для установки в местах контроля и подсоединены к системе PLC.



*Рис. 9: Визуализация в центре управления*

Полностью автоматизированная система требует только нескольких операторов и обеспечивает такое качество строительного гипса, которое является оптимальным для дальнейшего получения продуктов на гипсовой основе. Установка кальцинации Белгипс является экологичной и гибкой для поставки на конкурентный рынок гипсового вяжущего с желаемыми характеристиками по низким ценам.

Общий перечень продукции **Claudius Peters** для гипсовой промышленности:

- Вертикальная тарельчато-шаровая мельница EM Claudius Peters для одновременного помола, сушки, кальцинации и сепарации гипса
- Кальцинатор высокотемпературного обжига (для получения многофазного гипса)
- Горизонтальная ударная мельница (НИС) для синтетического гипса
- Гомогенизатор Claudius Peters
- Охладители гипса (барабанного и пневматического типов)
- Силосное оборудование
- Пневмотранспорт гипса
- Штабелеукладчики и -разборщики для усреднения исходного сырья
- Системы упаковки гипса в мешки и укладки мешков на паллеты

## **БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ БЕСКЛИНКЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ**

*Халиуллин М.И., Загидуллина Д.А.*

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Одной из актуальных проблем дальнейшего устойчивого развития отрасли производства строительных материалов является сокращение энергозатрат при производстве строительной продукции и уменьшение вредных выбросов.

Производство портландцемента, являющегося основным видом минерального вяжущего для производства строительных изделий и конструкций в нашей стране, является весьма энергоемким процессом. Так для получения 1 тонны портландцемента суммарные затраты топлива и электроэнергии при их переводе в условное топливо составляют в среднем 215 кг. Помимо этого, производство портландцемента связано со значительными объемами выбрасываемых в атмосферу различных газообразных продуктов, в частности, в результате работы цементных заводов всего мира в окружающую среду поступает свыше 7% от общего объема углекислого газа, образующегося при промышленной деятельности человечества и вызывающего парниковый эффект.

Для получения 1 тонны другого широко применяемого минерального вяжущего вещества – строительной извести, необходимо затратить около 204 кг условного топлива, при этом выделяется около 223 м<sup>3</sup> углекислого газа.

В связи с этим производство основного вяжущего вещества для получения гипсовых строительных материалов и изделий – строительного гипса, отличается сравнительно низкой энергоемкостью и экологичностью. Для производства строительного гипса расход условного топлива в 4,6 раза меньше, чем для производства портландцемента. Химический процесс получения строительного гипса при обжиге гипсового камня связан с выделением только безвредного для окружающей среды водяного пара.

Производство гипсовых строительных материалов, в частности, гипсобетонов отличается более низкими по сравнению с цементными бетонами расходами топлива и энергии (соответственно в 4 и 5 раз), низкими удельными капиталовложениями и металлоемкостью оборудования (соответственно в 2 и 3 раза), в 10-15 раз ускоряется оборачиваемость форм при производстве изделий.

Вместе с тем, в настоящее время широта области применения гипсовых строительных материалов и изделий в связи с их небольшой прочностью и водостойкостью, существенно уступает аналогичным материалам на основе



портландцемента. В основном гипсовые материалы и изделия применяются внутри помещений с сухим и нормальным влажностным режимами.

Одним из наиболее эффективных способов повышения водостойкости и прочности гипсовых строительных материалов являются предложенные в середине XX века В.А. Волженским и другими исследователями композиционные гипсоцементные, гипсошлаковые и гипсоизвестковые вяжущие с пуццолановыми добавками [1-4]. В качестве компонентов таких вяжущих широкое применение находят такие промышленные отходы, как молотый доменный шлак, золы-уноса, стекольный бой, микрокремнезём и др.

В работах, ранее выполненных авторами статьи, были разработаны композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) с применением комплексной гидравлической добавки, компонентами которой являются известь и многотоннажные промышленные отходы - молотый доменный шлак и керамзитовая пыль [5].

Полученные вяжущие обладают следующими основными физико-техническими свойствами: образцы, испытанные по ТУ 21-0284757-1-90, обладают прочностью при сжатии в возрасте 28 суток (марками) от 10 до 30 МПа, коэффициентом размягчения от 0,8 до 0,96. Искусственный камень на основе разработанных КГВ имеет прочность при сжатии в 1,5-2 выше и коэффициент размягчения в 3 раза выше по сравнению с бездобавочным строительным гипсом

На основе полученных КГВ разработаны мелкозернистые и тяжелые гипсобетоны, исследованы их основных физико-механические свойства.

В состав гипсобетонов вводилась добавка замедлителя схватывания – лимонная кислота в количестве 0,05% от массы вяжущего.

В качестве мелкого заполнителя для изготовления гипсобетонов применялся кварцевый песок со следующими характеристиками: насыпная плотность 1552 кг/м<sup>3</sup>; истинная плотность 2650 кг/м<sup>3</sup>, по гранулометрическому составу соответствует требованиям ГОСТ 8736-93, модуль крупности 2,6; содержание пылевидных и глинистых частиц 1,2%; пустотность 42%; максимальная крупность зерна 2,5 мм.

В качестве щебня для изготовления гипсобетонов применялся карбонатный щебень со следующими характеристиками: насыпная плотность– 1300 кг/м<sup>3</sup>, истинная плотность – 2500 кг/м<sup>3</sup>, средняя плотность – 2150 кг/м<sup>3</sup>, марка щебня по прочности 300, водопоглощение 7,5%, наибольшая крупность 20 мм, гранулометрический состав: мм 5 – 10 – 96%, 10 - 20 мм – 4%.

Расчет составов тяжелых и мелкозернистых гипсобетонов на основе КГВ различных марок по прочности, осуществлялся в соответствии с методикой, приведенной в [3].

Для определения основных физико-механических свойств гипсобетонов изготавливались образцы – кубы размером 100х100х100 мм. Определение прочности бетонов осуществлялось по ГОСТ 10180. Определение морозостойкости бетонов осуществлялось базовым методом по ГОСТ 10060.0-10060.1. Определение коэффициента размягчения бетонов в части условий хранения образцов при проведении испытаний осуществлялось по ТУ 21-0284757.

Основные физико-механические свойства разработанных тяжелых и мелкозернистых гипсобетонов приведены, соответственно, в табл. 1 и 2.

*Таблица 1*

*Основные физико-механические свойства тяжелых гипсобетонов на основе КГВ различных марок по прочности*

Марка вяжущего	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Коэффициент размягчения	Марка бетона по морозостойкости
КГВ 10	M75	B7,5	0,70	F15
КГВ 15	M100	B10	0,75	F25
КГВ 20	M150	B10	0,80	F25
КГВ 25	M200	B15	0,82	F50
КГВ 30	M250	B20	0,88	F50

*Таблица 2*

*Основные физико-механические свойства мелкозернистых гипсобетонов на основе КГВ различных марок по прочности*

Марка вяжущего	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Коэффициент размягчения	Марка бетона по морозостойкости
КГВ 10	M75	B5	0,75	F15
КГВ 15	M100	B7,5	0,78	F25
КГВ 20	M150	B10	0,81	F25
КГВ 25	M200	B15	0,82	F50
КГВ 30	M250	B20	0,88	F50

Анализ данных, представленных в табл. 1, 2 показывает возможность получения на основе КГВ тяжелых и мелкозернистых бетонов марок по прочности от М75 до М300 и классов по прочности от В 7,5 до В 20.

Таким образом, на основе разработанных КГВ могут быть получены тяжелые и мелкозернистые бетоны с коэффициентом размягчения более 0,8, то есть соответствующим водостойким материалам, марками по

морозостойкости F50. Бетоны на основе КГВ могут применяться при изготовлении наружных и внутренних конструкций зданий с сухим, нормальным и влажным режимами эксплуатации в соответствии со СНиП 23-02-2003, при условии принятия конструктивных мер защиты от длительного действия влаги.

### **Литература**

1. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. - М: Издательство АСВ, 2003. – 96 с.

2. Волженский А. В., Роговой М. И., Стамбулко В. И., Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие материалы и изделия, М.: Госстройиздат, 1960. - 162 с.

3. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В.Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.

4. Рахимов Р.З., Халиуллин М. И., Гайфуллин А.Р. Композиционные гипсовые вяжущие с использованием керамзитовой пыли и доменных шлаков // Строительные материалы, 2012, № 7. – С. 13-16.

5. Хазеев Д.Р., Гордина А.Ф., Маева И.С., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф. Влияние техногенных дисперсных отходов на структуру и свойства композитов на основе сульфата кальция // Строительные материалы, 2011, №6. – С. 6-7.

# КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ПУЦЦОЛАНОВОЙ ДОБАВКОЙ ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГЛИНЫ САРАЙ- ЧЕКУРЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Халиуллин М.И., Марданова А.Э.*

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Производство строительного гипса, отличается сравнительно низкой энергоемкостью и экологичностью по сравнению с портландцементом. Вместе с тем, широта области применения гипсовых строительных материалов и изделий существенно уступает аналогичным материалам на основе портландцемента в связи с их небольшой водостойкостью. Предложенные в середине XX века В.А. Волженским и другими исследователями композиционные гипсоцементные, гипсошлаковые и гипсоизвестковые вяжущие с введением активных минеральных добавок выгодно отличаются от строительного гипса повышенной водостойкостью. Но такие традиционные активные минеральные добавки, как доменные шлаки, золы, метатаколин и другие, доступны не во всех регионах и имеют ограниченные объемы запасов. Поэтому одной из актуальных проблем ресурсосбережения в производстве водостойких композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) является поиск доступных и относительно недорогих видов активных минеральных добавок [1-3].

Еще в средние века для изготовления штукатурных и кладочных растворов в Средней Азии и Закавказье широко использовалось вяжущее на основе глиногипса (ганча, гаж) – природной смеси гипса и 40-70 % глины. В частности до наших дней на территории Средней Азии до наших дней сохранился целый ряд зданий и сооружений, сложенных с применением глиногипсового раствора. О значительной водостойкости древнего ганчевого раствора и долговечности сложенных на нем кирпичных и каменных сооружений при непрерывном воздействии воды свидетельствуют арочный мост XIV в. через реку Мургаб (Туркмения), служивший до его разборки в конце XIX в., и баня XVI в., эксплуатируемая в Бухаре (Республика Узбекистан).

Как показали исследования, выполнявшиеся Всесоюзным научно-исследовательским институтом цемента в 30-е годы XX века [4], а также исследования, которые выполняются в ряде стран в последнее десятилетие [5, 6], достаточно эффективно в качестве активных минеральных добавок при производстве портландцемента, различных смешанных вяжущих веществ могут использоваться термоактивированные глины.

В настоящей работе выполнены исследования по определению эффективности применения добавки термоактивированной глины в составе КГВ.

При выполнении работы использовались следующие материалы:

- строительный гипс Г-5БН по ГОСТ 125 производства завода «Волма-Волгоград».

- портландцемент ПЦ 500-Д0-Н по ГОСТ 10178 производства ОАО «Мордовцемент».

- глина Сарай-Чекурчинского месторождения, имеющая следующий химический состав (в % по массе):  $\text{SiO}_2$  – 52,84;  $\text{TiO}_2$  – 0,86;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13,42;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6,18;  $\text{MnO}$  – 0,10;  $\text{CaO}$  – 1,33;  $\text{MgO}$  – 1,66;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,20;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,82;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,09;  $\text{SO}_3/\text{S}$  – <0,05; ппп – 4,62.

Минералогический состав глины (в % по массе): кварц – 28; слюда – 10; ортоклаз – 7; плагиоклаз – 8; смешанно-слоистый глинистый минерал – 40; хлорид 4.

Гранулометрический состав глины (в % по массе): глинистых фракций – 49,5; пылевидных – 37,1; песчаных – 13,4.

Глина подвергалась термической обработке путем обжига при температуре 400 °С в течение 4 часов, в соответствии с результатами ранее выполненных исследований по изучению активности добавок термоактивированных глин при их введении в портландцемент [6]. После обжига глина подвергалась помолу в планетарной мельнице до достижения удельной поверхности 200, 300, 500 и 800 м<sup>2</sup>/кг.

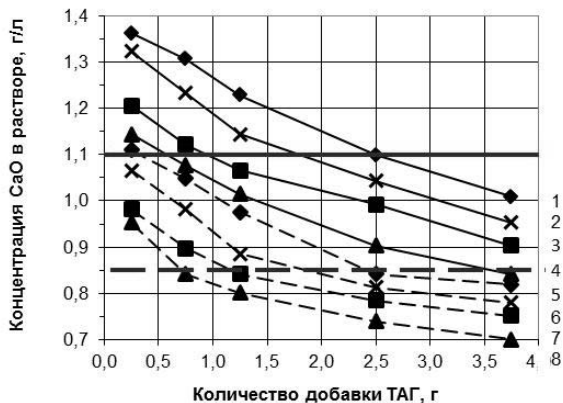
Приготовление КГВ осуществлялось смешением компонентов. В состав КГВ при смешении компонентов вводилась порошкообразная добавка гиперпластификатора Melflux 2651 F производства BASF Constraction Polymers в количестве 0,8 % от массы вяжущего [7].

Испытания КГВ выполнялись по ГОСТ 23789. Образцы выдерживались 28 суток в камере нормального твердения, после чего высушивались при температуре 55 °С до достижения постоянной массы. Коэффициент размягчения определялся по ТУ 21-0284757.

На первом этапе работы согласно известной методике, разработанной в МИСИ им В.В. Куйбышева [8], на препаратах, представляющих собой водные суспензии смеси полуводного гипса, портландцемента и активной минеральной добавки, по концентрации оксида кальция определялось необходимое количество термоактивированной глины для получения гипсоцементноупуцолоановой вяжущей композиции. Необходимое количество активной минеральной добавки должно обеспечивать концентрацию оксида кальция в растворе на 5 сутки не более 1,1 г/л, на 7 сутки – не более 8,5 г/л. Данные концентрации оксида кальция гарантируют отсутствие условий для образования высокоосновной формы гидросульфалюмината кальция в

длительные сроки твердения вяжущей композиции, вызывающего деформации и разрушение образующегося искусственного камня.

Результаты проведенных исследований, представленные на рисунке показывают, что с увеличением тонкости помола термоактивированной глины от удельной поверхности 200 до 800 м<sup>2</sup>/кг необходимое количество минеральной добавки относительно количества портландцемента уменьшается от 100 до 30 %.



*Рис. Кинетика поглощения CaO активной минеральной добавкой: концентрация CaO в растворе для препаратов: 1, 2, 3, 4 – суточного возраста; 5, 6, 7, 8 – 7 суточного возраста. Удельная поверхность термоактивированной глины, м<sup>2</sup>/кг: 1, 5 – 200; 2, 6 – 300; 3, 7 – 500; 4, 8 – 800*

Согласно результатам исследований, выполненных в работе [9] необходимое содержание в ГЦПВ известных активных минеральных добавок составляет (в % от массы портландцемента): для биокремнезема (удельная поверхность 20000 м<sup>2</sup>/кг) производства ГК «Diamax» – 100; для диатомита дегидратированного «Diasil» (удельная поверхность 11200 м<sup>2</sup>/кг) производства ГК «Diamax» по ТУ 5716-013-25310144-2008 – 100; для трепела (удельная поверхность 1194 м<sup>2</sup>/кг) Джабужского месторождения (Калужская обл.) – 100; для метакаолина (удельная поверхность 1357 м<sup>2</sup>/кг), полученного обжигом каолина (T=700 °C; τ=1 ч) – 20.

Сравнение результатов, полученных авторами настоящей работы, с результатами исследований, выполненных в работе [9], показывает, что гидравлическая активность термоактивированной глины при удельной поверхности 200-300 м<sup>2</sup>/кг соответствует активности таких распространенных добавок, как трепел, диатомит, биокремнезем, а при увеличении тонкости помола до удельной поверхности 800 м<sup>2</sup>/кг по

активности приближается к такой высокоэффективной добавке как метакаолин.

На следующем этапе работы, проведены исследования влияния количества вводимой добавки термоактивированной глины, размолотой до удельной поверхности 200 и 500 м<sup>2</sup>/кг на основные физико-механические свойства КГВ при содержании портландцемента в его составе – 20 %. Результаты исследований приведены в таблице.

Согласно результатам выполненных исследований при увеличении количества добавки термоактивированной глины с удельной поверхностью 200 и 500 м<sup>2</sup>/кг до 25 % по массе происходит постепенное увеличение водопотребности вяжущего с 24 до 29-30 %, соответственно. Вместе с тем, при введении до 15% добавок средняя плотность искусственного камня незначительно повышается, а его водопоглощение снижается, что, является следствием взаимодействия активной минеральной добавки с продуктами, образующимися в процессе гидратации минералов портландцементного клинкера и гипса.

Введение в составе КГВ термоактивированной глины при удельных поверхностях 200 и 500 м<sup>2</sup>/кг в необходимых количествах, соответственно, 20 и 10 % по массе по сравнению с контрольными образцами приводит к увеличению прочности при сжатии на 5 и 13 %; повышению коэффициента размягчения с 0,75 до 0,9 и 0,94, то есть до показателей, соответствующих группе водостойких вяжущих [8].

*Таблица*

*Влияние количества добавки термоактивированной глины на основные физико-механические свойства композиционного гипсового вяжущего*

Количество добавки термоактивированной глины, %	Водопотребность, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа	Водопоглощение, %	Коэффициент размягчения
0	24	2029	38,9	9,2	0,75
Удельная поверхность термоактивированной глины 200 м <sup>2</sup> /кг					
5	26	2035	41,4	8,8	0,84
10	27	2046	42,9	8,5	0,90
15	27	2038	43,2	8,9	0,92
20	28	2017	40,5	9,5	0,90
25	29	1930	34,5	9,7	0,80
Удельная поверхность термоактивированной глины 500 м <sup>2</sup> /кг					
5	26	2045	42,4	8,6	0,88
10	27	2052	43,8	8,3	0,94
15	28	2012	40,4	9,1	0,91
20	29	1957	36,5	9,8	0,85
25	30	1885	30,1	10,2	0,72

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают достаточно высокую эффективность применения глины, термоактивированной по принятому режиму, в качестве активной минеральной добавки для получения КГВ.

### **Литература**

1. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И. Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // Строительные материалы, 2010, № 12. – С. 44-46.

2. Токарев Ю.В., Гинчицкий Е.О., Гинчицкая Ю.Н., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И. Влияние комплекса добавок на свойства и структуру гипсового вяжущего // Строительные материалы, 2016, № 1-2. – С. 84-89.

3. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г., Власов В.В. Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // Строительные материалы, 2010, № 2. – С. 53-55.

4. Глинит-цемент / Сборник статей ВНИИЦ. Под ред. Аксенова В.И. Вып.11. – М.-Л.: Главная редакция строительной литературы, 1935. – 171 с.

5. Тирони А., Тресса М., Сиан А., Ирассар Э.Ф. Термическая активация каолиновых глин // Цемент и его применение, 2012, № 12. – С. 145-148.

6. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р. Свойства цементного камня с добавками глинита // Строительные материалы, 2015, № 5. – С. 24-26.

7. Нуриев М.И., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р., Князева Н.С. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие с применением молотой термоактивированной глины и пластифицирующих добавок // Известия КазГАСУ, 2015, № 2 (32). – С. 274-280.

8. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 488 с.

9. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементнопуццоланового вяжущего // Строительные материалы, 2015, № 5. – С. 20-23.



# ВЛИЯНИЕ КАРБОНАТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО С ПУЦЦОЛАНОВЫМ КОМПОНЕНТОМ – ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГЛИНОЙ

*Халиуллин М.И., Файзрахманов И.И.*

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

С конца XX века наиболее перспективное направление развития исследований по получению водостойких гипсовых материалов и изделий связано с созданием композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) [1-5].

Одним из путей экономии энергозатрат при производстве вяжущих и снижения их стоимости является введение в их состав добавок минеральных наполнителей взамен части более дорогих обжиговых составляющих. В ряде работ по исследованию влияния минеральных наполнителей различной природы на свойства гипсовых вяжущих показана эффективность применения добавки молотого известняка [6]. В работе [7] установлено, что эффективность добавок карбонатных пород в портландцемент повышается при их введении совместно с такими алюмосодержащими добавками, как, например, термоактивированные глины.

Целью настоящей работы явились исследования по определению влияния на основные свойства КГВ с термоактивированной глиной в качестве пуццоланового компонента содержания и дисперсности добавки молотого известняка, для сокращения расхода более дорогостоящих обжиговых компонентов вяжущего без существенного снижения показателей его свойств.

Приготовление КГВ осуществлялось смешением компонентов гипсоцементнопуццолановой композиции, добавки гиперпластификатора Melflux 2651 F (в количестве 0,8 % от массы вяжущего) и минерального наполнителя – известняка.

По результатам ранее выполненных исследований [5] соотношение компонентов гипсоцементнопуццолановой композиции в составе КГВ составило (в % по массе): строительный гипс Г-5БП – 70; портландцемент ПЦ 500-Д0-Н – 20; термоактивированная (при температуре 400 °С в течение 4 часов при скорости нагрева 1,7 °С в минуту) глина Сарай-Чекурчинского месторождения – 10.

В работе исследовано введение в качестве минерального наполнителя в состав КГВ добавки известняка по ТУ 5743-002-37479474-2014, добываемого ООО «Добрятинское карьероуправление» (Владимирская область). Минералогический состав известняка (в % по массе): СаСО<sub>3</sub> – 92,9; MgСО<sub>3</sub> – 4,1; глина

и мелкие пылевидные фракции – 3. Известняк предварительно размалывался в планетарной мельнице до удельных поверхностей 300, 500 и 800 м<sup>2</sup>/кг.

Испытания КГВ выполнялись по ГОСТ 23789. Образцы для испытания на определение средней плотности, водопоглощения по массе, прочности, коэффициента размягчения выдерживались 28 суток в камере нормального твердения, после чего высушивались при температуре 55 °С до достижения постоянной массы. Коэффициент размягчения определялся по ТУ 21-0284757.

Результаты исследований влияния введения добавки молотого известняка различной дисперсности в количестве до 20 % на основные физико-механические свойства КГВ представлены на рис. 1-4.

По данным исследований происходит увеличение водопотребности КГВ с 27 до 28 % при введении свыше 15 % по массе добавки известняка, размолотого до удельных поверхностей 300 и 500 м<sup>2</sup>/кг и свыше 5 % известняка, размолотого до удельной поверхности 800 м<sup>2</sup>/кг.

При введении до 10 % по массе известняка с удельной поверхностью 300 м<sup>2</sup>/кг прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ сохраняется на уровне контрольных образцов без введения известняка (рис.1). Дальнейшее увеличение содержания известняка данной дисперсности приводит к монотонному снижению прочностных показателей искусственного камня. При введении добавки известняка в количестве до 10 % по массе при удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг, а также до 5 % по массе при удельной поверхности 800 м<sup>2</sup>/кг прочность искусственного камня повышается на 15 % по сравнению с контрольными образцами. При содержании в составе вяжущего добавки известняка, размолотого до удельных поверхностей 500 и 800 м<sup>2</sup>/кг, в количестве до 15 % по массе прочность искусственного камня сохраняется на уровне контрольных образцов с дальнейшим ее снижением при увеличении содержания известняка.

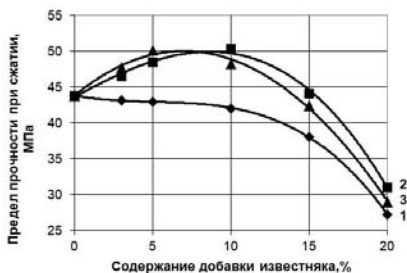


Рис. 1. Влияние количества добавки известняка на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ.

Удельная поверхность известняка, м<sup>2</sup>/кг: 1 – 300; 2 – 500; 3 – 800

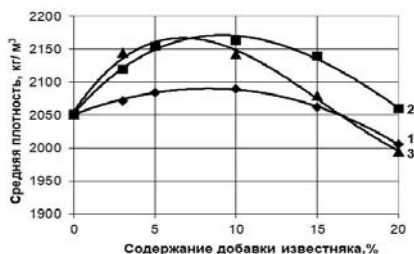


Рис. 2. Влияние количества добавки известняка на плотность искусственного камня на основе КГВ.  
Удельная поверхность известняка, м²/кг: 1 – 300; 2 – 500; 3 – 800

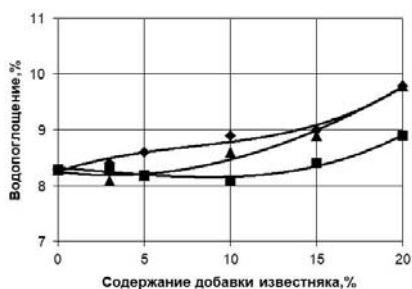


Рис. 3. Влияние количества добавки известняка на водопоглощение по массе искусственного камня на основе КГВ.  
Удельная поверхность известняка, м²/кг: 1 – 300; 2 – 500; 3 – 800

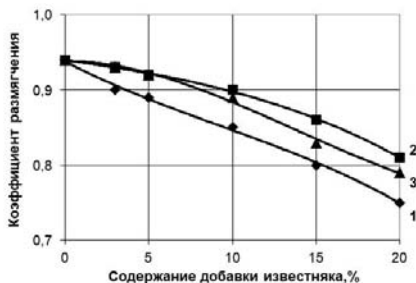


Рис. 4. Влияние количества добавки известняка на водостойкость искусственного камня на основе КГВ.  
Удельная поверхность известняка, м²/кг: 1 – 300; 2 – 500; 3 – 800

Наблюдаемый характер изменения прочностных показателей искусственного камня на основе КГВ при введении определенных количеств известняка с различной удельной поверхностью может быть объяснен

описанным в работах В.И. Соломатова и Л.И. Дворкина [8] эффектом, обусловленным тем, что некоторый объем наполнителей с оптимальным размерам частиц в сочетании с частицами вяжущего участвует в образовании кластерных структур, способствуя упорядочению структуры, снижению поврежденности и повышению прочностных характеристик композиционных строительных материалов. При этом по мере повышения дисперсности, кристаллохимической близости к вяжущему увеличивается эффективность частиц наполнителей как подложек направленного кристаллообразования при формировании структуры искусственного камня [6].

О возможности влияния молотого известняка на процессы структурообразования искусственного камня на основе КГВ в соответствии с вышеназванными механизмами, обеспечивающими некоторое повышение прочностных показателей, может свидетельствовать увеличение плотности образцов при введении добавки известняка в количестве 10 % по массе при удельной поверхности  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  и 5 % по массе при удельной поверхности  $800 \text{ м}^2/\text{кг}$  с  $2052 \text{ кг}/\text{м}^3$  для контрольного бездобавочного образца до, соответственно,  $2163$  и  $2157 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рис. 2) при некотором снижении водопоглощения по массе (рис. 3).

По данным, приведенным на рис. 4, увеличение содержания молотого известняка рассмотренной дисперсности в составе КГВ вызывает постепенное снижение коэффициента размягчения искусственного камня на его основе. При этом при содержании известняка с удельными поверхностями  $500$  и  $800 \text{ м}^2/\text{кг}$  до 20 % по массе показатель коэффициента размягчения образцов остается на уровне 0,8, то есть КГВ продолжает относиться к водостойким.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены значения содержания добавки известняка различной дисперсности, введение которой обеспечивает получение показателей прочности и водостойкости композиционного гипсового вяжущего на уровне бездобавочных образцов. При этом происходит снижение расхода других более дорогостоящих минеральных компонентов вяжущего. Установленный характер изменения прочностных показателей искусственного камня на основе композиционного гипсового вяжущего при введении определенных количеств известняка с различной удельной поверхностью может быть объяснен участием частиц молотого известняка в структурообразовании при твердении искусственного камня.

## Литература

1. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. – М.: Издательство Де Нова, 2012. – 196 с.

2. Токарев Ю.В., Гинчицкий Е.О., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф. Эффективность модификации гипсового вяжущего углеродными нанотрубками и добавками различной дисперсности // Строительные материалы, 2015, № 6. – С. 84-87.

3. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементнопуццоланового вяжущего // Строительные материалы, 2015, № 5. – С. 20-23.

4. Хасимова А.С., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Литой бетон на основе композиционного гипсового вяжущего // Сухие строительные смеси, 2015, № 3. – С. 22-24.

5. Халиуллин М.И., Нуриев М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Влияние добавки термоактивированной глины на свойства композиционного гипсового вяжущего // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2016, № 1(35). – С. 205-210.

6. Алтыкис М.Г., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Морозов В.П., Бахтин А.И. Влияние карбонатных наполнителей на свойства ангидритового вяжущего // Известия высших учебных заведений. Строительство, 1998, № 2. – С. 51-53.

7. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone // Cement and Concrete Research, 2012, Vol. 42. – P. 1579–1589.

8. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. – К.: Будивельник, 1996. – 136 с.

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГИПСА СОКОЛИНО-САРКАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЕГО СНИЖЕНИЕ

*Худеньких К.О.*

*ООО «Ергач», Пермский край, Кунгурский район*

Многие предприятия, производящие гипсовые вяжущие, наверняка не раз сталкивались с проблемами, связанными с плохим качеством исходного сырья. Такое сырье, как правило, поступает в основном с месторождений, где добыча гипса производится открытым способом. Карьерами зачастую разрабатывается первый от поверхности пласт гипса, который почти всегда имеет крайне неровную поверхность кровли, различные включения некондиционных линз и прослоев, а также сильно подвержен карстовым процессам.

В данной работе авторами проанализированы данные, получаемые на различных стадиях эксплуатации карьера «Саркаевский» (Соколино-Саркаевское месторождение), разработку которого ведет ООО «Ергач» в одноименном поселке Кунгурского района Пермского края.

Первым и наиболее важным этапом при освоении любого месторождения являются геолого-разведочные работы. На этой стадии оценивается количество и качество полезного ископаемого. Качество гипса нормируется ГОСТ 4013-82 [1], согласно которому выделяется 4 сорта гипса (табл. 1).

Таблица 1

Сорта гипса по ГОСТ 4013-82 [1]

Сорт	Содержание в гипсе, %, не менее	
	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	кристаллизационной воды
1	95	19,88
2	90	18,83
3	80	16,74
4	70	14,64

Основные выводы о качестве полезной толщи на стадии разведочных работ формируются после проведения лабораторных исследований проб, отобранных из керна. На Соколино-Саркаевском месторождении было отобрано, исследовано и проанализировано в разные годы 2157 проб гипса. Результаты лабораторных исследований показали, что на месторождении преобладает гипс III сорта – 988 проб или 46,1% (рис. 1).

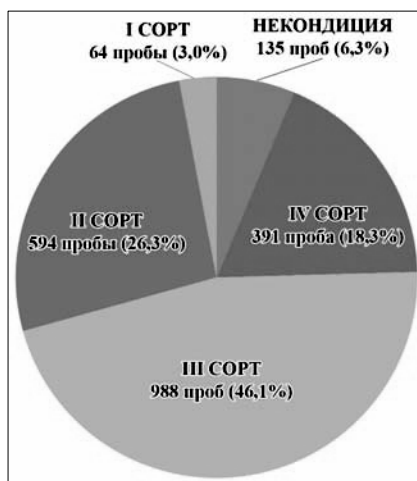


Рисунок 1. Распределение сортов гипса по результатам опробования керна

Немалую долю занимает и гипс II и IV сортов: 594 пробы (26,3%) и 391 проба (18,3%) соответственно. Доля некондиции (содержание  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  менее 70%) составила 135 проб (6,3%). Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что из карьера будет поступать гипсовый камень III сорта (среднее арифметическое значение содержания  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O} = 84,61\%$ ). Это подтверждается и другим методом оценки – интервальным, который обычно используется при подсчете запасов. Метод интервальной оценки качества гипса заключается в следующем. Математически рассчитывается и обосновывается интервал керна, который зависит от мощности полезной толщи (для Соколино-Саркаевского месторождения данный интервал составляет 6 м). В пределах интервалов определяется средневзвешенное качество полезного ископаемого.

Согласно интервальной оценке, проведенной при подсчете запасов в 2014 г. [2], качество гипса соответствует III сорту (табл. 2).

Таблица 2

Распределение гипса по сортности по скважинам и сортовым интервалам [2]

Показатели	Сорт гипса				Всего
	I сорт	II сорт	III сорт	IV сорт	
Количество скважин, шт.	-	16	184	62	262
Распределение в %	-	6,1	70,2	23,7	100
Сортовой интервал, м	117,8	1333,3	2635,2	1290,4	5376,7
Распределение в %	2,2	24,8	49,0	24,0	100

Наличие сортовых интервалов I сорта присутствует в таблице 2, однако при вычислении средневзвешенного содержания в пределах 6-метрового интервала качество значительно снижается, что соответственно приводит и к снижению сортности гипса. Поэтому нет ни одной скважины, средневзвешенное содержание в интервалах которой соответствовало бы I

сорта. Этот же факт объясняет расхождения между количеством скважин и сортовыми интервалами в остальных сортах.

Аналогичные показатели интервальных оценок качества гипсового сырья получили и предыдущие исследователи [3].

Однако, данные опробования гипсового камня в забое говорят о другом (рис. 2). Пробы гипса отбирались геологом ООО «Ергач». Всего отобрано и исследовано 317 проб в период с 2013 г. по 2017 г. включительно.

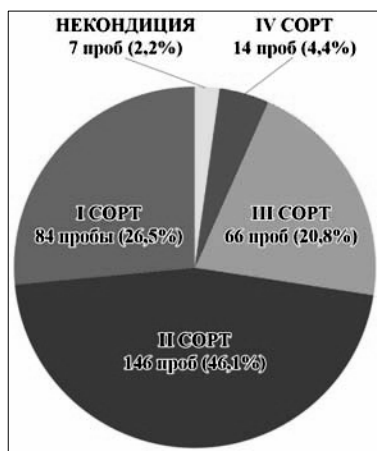


Рисунок 2 Распределение сортов гипсового камня в забое

Почти половина (146 проб, 46,1%) проб оказалась гипсом II сорта. Гипсовый камень I сорта определен в 84 пробах (26,5%), III сорта в 66 пробах (20,8%), IV сорт и некондиция составили соответственно 14 и 7 проб (4,4% и 2,2%). Среднее арифметическое значение содержания  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  составило 91,01%. То есть гипс, поступающий на дробление из забоев карьера, в основном II сорта.

Разница сортов гипса из керна и в образцах, отобранных в забое, объясняется следующим. В забое берется образец гипса (один или несколько), представляющий из себя отдельный кусок породы, проба же керна отбирается с его 2-метрового интервала, в котором может находиться не только гипс, но и другие породы, являющиеся разубоживающими (загрязнителями), что в итоге снижает содержание  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  в такой пробе. В отдельных образцах гипса большое наличие примесей встречается не часто.

Однако, по данным лаборатории ОТК «ООО «Ергач», дробленный гипсовый камень за последние 5 лет (2013-2017 гг. включительно) преимущественно III сорта. За этот период лаборантами-контроллерами было отобрано и исследовано 3499 проб дробленого гипсового камня. На рисунке 3 представлена гистограмма качества гипса, согласно которой 92,1% (3223 пробы) отобранных проб представляют гипс III сорта. Доля гипсового камня



II и IV сортов невелика – 4,3% (151 проба) и 3,5% (121 проба) соответственно. Следует отметить, что за 5 лет было зафиксировано только по 2 пробы гипса I сорта и некондиции (0,1%).

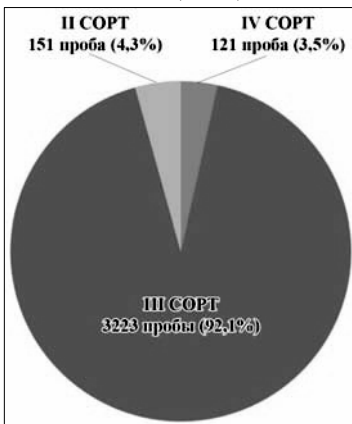


Рисунок 3. Распределение сортов дробленого гипсового камня по результатам опробования ОТК

Данные лаборатории ОТК говорят о том, что вместе с гипсом на дробление попадают загрязняющие разубоживающие породы, некоторая часть которых не отсеивается при грохочении и попадает в дробленый гипсовый камень. К таким породам, прежде всего, необходимо отнести твердые породы внутренней вскрыши: известняки, доломиты, ангидриты. О том, какие породы присутствуют в дробленном гипсовом камне и в какой степени они влияют на качество, подробно рассматривается далее.

Минерал гипс имеет следующий химический состав: CaO – 32,56%, SO<sub>3</sub> – 46,51%, H<sub>2</sub>O – 20,93% [4]. Все остальные элементы (если они присутствуют в гипсе) следует считать загрязняющими. Чтобы выявить элементы-примеси, было выполнено 102 полных химанализа проб гипса из керна, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты полного химанализа проб гипса из керна (средние значения)

Интервал содержания CaSO <sub>4</sub> ×2H <sub>2</sub> O, %	Загрязнители, %										
	НО	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
<70	4,79	3,71	0,11	4,28	0,64	0,80	0,06	1,50	0,19	11,06	0,16
70-75	3,64	2,52	0,10	3,30	0,47	0,73	0,03	1,23	0,15	7,90	0,13
75-80	3,42	2,34	0,09	3,11	0,48	0,70	0,03	1,24	0,17	7,35	0,13
80-85	2,46	1,64	0,08	2,15	0,36	0,55	0,03	0,94	0,12	5,28	0,12
85-90	1,43	0,81	0,06	1,25	0,25	0,36	0,02	0,63	0,09	3,41	0,07
90-95	1,01	0,55	0,04	0,90	0,18	0,23	0,02	0,42	0,08	2,24	0,05

Интервал содержания CaSO <sub>4</sub> ×2H <sub>2</sub> O, %	Минералообразующие компоненты, %		
	CaO	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
<70	30,57	34,32	14,24
70-75	30,86	38,94	15,12
75-80	30,52	38,86	16,31
80-85	32,69	41,47	17,23
85-90	31,52	43,86	18,37
90-95	31,63	44,99	19,18

Выяснено, что основными загрязняющими компонентами являются MgO, SiO<sub>2</sub>, HO (нерастворимый остаток) и CO<sub>2</sub>. В небольшой степени гипс загрязняют редкоземельные металлы (R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), в малых количествах могут присутствовать Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, FeO и K<sub>2</sub>O. Результаты этого исследования определили дальнейшую стратегию определения компонентов в лабораторных работах.

Как уже было сказано выше, при геолого-разведочных работах из керна было отобрано 2157 проб гипса, по которым был проведен химический анализ. Определялись следующие компоненты: CaO, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, MgO, SiO<sub>2</sub>, HO и CO<sub>2</sub>. Для каждого элемента определены средние значения для интервалов содержания CaSO<sub>4</sub>×2H<sub>2</sub>O (табл. 4).

Как и следовало ожидать, загрязняющие и минералообразующие элементы находятся в обратной зависимости, т.е. с увеличением одних компонентов происходит уменьшение количества других и наоборот. Примечательно, что в интервалах содержания CaSO<sub>4</sub>×2H<sub>2</sub>O 90-95% и более 95% отсутствуют SiO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>.

Таблица 4

Средние значения основнок и загрязняющих компонентов  
в интервалах содержания CaSO<sub>4</sub>×2H<sub>2</sub>O

Интервал содержания CaSO <sub>4</sub> ×2H <sub>2</sub> O, %	Загрязнители, %				Минералообразующие компоненты, %		
	MgO	HO	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
<70	4,26	4,24	5,24	10,06	30,13	36,65	14,12
70-75	3,68	3,57	4,12	8,17	30,29	37,71	15,17
75-80	3,02	2,94	3,78	6,14	30,54	39,28	16,28
80-85	2,29	2,14	2,69	4,71	30,92	41,07	17,31
85-90	1,57	1,53	2,25	3,06	31,43	42,90	18,33
90-95	0,81	1,11	-	-	31,68	44,53	19,30
>95	0,60	0,96	-	-	31,69	45,08	20,08

Переходя от химических элементов к горным породам, следует, что основными разубоживающими компонентами являются карбонатные образования (известняк, доломит, мергель), что выясняется по высокому

содержанию MgO и CO<sub>2</sub>, песчаники, алевролиты, аргиллиты (SiO<sub>2</sub>), а также глины и суглинки (SiO<sub>2</sub>, HO). Это подтверждается исследованиями с применением метода синхронного термического (ДСК/ТГ) анализа [5]. Все перечисленные выше разубоживающие породы, как правило, присутствуют в заполненных карстовых полостях и древних погребенных карстовых воронках, и их принято называть обвальное-карстовым материалом (ОКМ). Именно наличие ОКМ не позволяет получить дробленный гипсовый камень II сорта, что находит подтверждение в регулярных исследованиях фракционно-качественного состава гипсового камня (табл. 5).

Таблица 5

Сводные результаты определения фракционно-качественного состава дробленного гипсового камня в период с 2013 по 2017 гг. (включительно)

Фракция, мм	Масса, кг		Содержание CaSO <sub>4</sub> ×2H <sub>2</sub> O, %		Средневзвешенное содержание CaSO <sub>4</sub> ×2H <sub>2</sub> O во фракции, %
	гипс	ОКМ	гипс	ОКМ	
0-80	159,50	44,50	85,60	18,33	70,92
80-100	346,39	5,70	87,66	20,81	86,58
100-150	376,00	10,85	89,34	19,23	87,37
150-300	899,67	11,66	91,00	14,29	90,02
> 300	240,74	0	91,30	0	91,30
<b>Сумма</b>	<b>2022,30</b>	<b>72,71</b>	<b>89,73*</b>	<b>18,01*</b>	<b>87,24*</b>

\*средневзвешенные содержания CaSO<sub>4</sub>×2H<sub>2</sub>O по всем фракциям

Анализируя таблицу 5, можно сделать следующие выводы.

- за 5 лет разубоживание дробленного гипсового камня составило 3,5% (72,71×100 / (2022,30+72,71)).
- наиболее разубоживается фракция 0-80 мм, в самой крупной фракции разубоживающие породы отсутствуют.
- чем крупнее фракция, тем чище гипс.
- уменьшив (или исключив совсем) попадание некондиции во фракции от 0 до 300 мм, можно получить гипсовый камень II сорта.

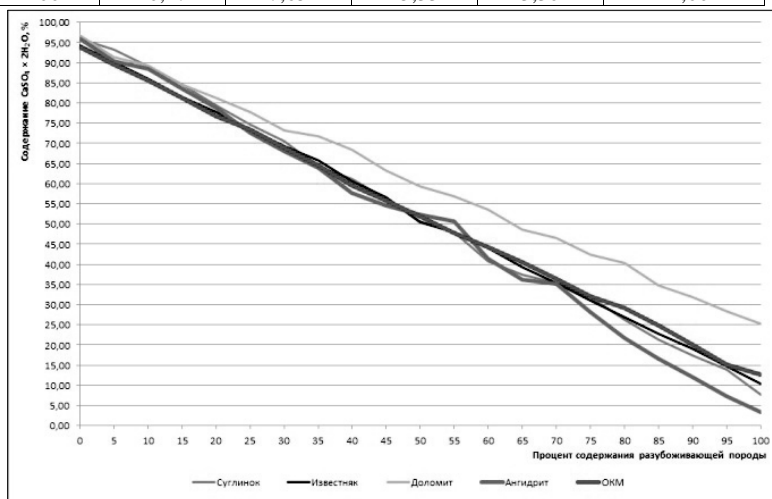
Стоит добавить, что в некоторых случаях дополнительные проблемы на производстве может создавать присутствие ангидрита в гипсовой толще. Наличие ангидрита требует более тщательного подбора температурных режимов варки вяжущего гипсового.

Чтобы оценить степень влияния разубоживающих пород на качество гипсового камня, был проведен эксперимент, суть которого заключается в следующем. В чистый гипс постепенно добавлялись различные загрязнители с шагом 5% при постоянной массе навески 5 г и определялось содержание CaSO<sub>4</sub>×2H<sub>2</sub>O. Результаты эксперимента представлены в таблице 6 и на рисунке 4.

Таблица 6

Результаты эксперимента по разубоживанию гипса различными загрязнителями

Процент примеси	Содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ , %				
	известняк	суглинок	доломит	ангидрит	ОКМ
0	94,28	95,90	96,72	95,90	93,80
5	90,22	93,23	91,46	90,31	89,60
10	85,92	89,21	89,36	88,45	85,63
15	81,52	84,63	84,63	83,52	81,28
20	77,75	79,37	81,23	78,75	76,74
25	73,45	74,64	77,65	72,54	73,40
30	69,19	70,53	73,25	68,05	68,95
35	65,66	64,18	71,82	63,94	64,51
40	60,69	61,26	68,38	57,72	59,59
45	56,72	56,20	63,22	54,67	55,86
50	50,46	50,75	59,25	52,36	51,84
55	48,02	48,02	56,77	50,75	47,69
60	44,11	40,76	53,52	41,42	44,20
65	39,38	37,37	48,60	36,12	40,52
70	35,46	35,46	46,64	35,12	36,51
75	31,11	31,78	42,39	28,24	32,06
80	26,90	26,19	40,28	21,69	29,10
85	22,79	21,41	34,79	16,63	24,90
90	18,97	17,44	31,87	11,99	20,12
95	14,77	13,86	28,29	7,36	15,20
100	10,47	7,65	25,33	3,30	12,66

Рисунок 4 Зависимость содержания  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  от процента примесей

При анализе полученных данных установлено, что при наличии в гипсовом камне 30% примесей, гипс становится некондиционным (табл. 6: выделение). Хотя есть и отклонения, к которым относится доломит, при

загрязнении которым порог поднимается до 40%. Критический процент разубоживающих пород зависит от начального содержания  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  в загрязнителе. В доломите он самый высокий (25,33%, табл. 6), что, вероятнее всего, обуславливается его частичной гипсотизацией. На содержание  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  сильное влияние оказывает влажность горных пород. Так содержание  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  в суглинке в естественном состоянии составляет  $\pm 42\%$ , в высушенном до постоянной массы  $\pm 7\%$ . На это необходимо обращать внимание при экспресс-анализах качества гипса, проводимых непосредственно в карьерах, что практикуется на многих гипсодобывающих предприятиях.

Подытоживая все вышесказанное, сделаны следующие выводы.

1. Данные разведки месторождения по качеству гипса могут не соответствовать данным при его эксплуатации.
2. Основными загрязняющими компонентами являются  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NO}$  и  $\text{CO}_2$ , в переводе на горные породы это карбонаты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, глины и суглинки.
3. Ангидрит тоже является разубоживающей породой, хотя имеет сульфатный состав.
4. Чем выше фракция дробленого гипсового камня, тем меньше разубоживание.
5. Гипс становится некондиционным при наличии в нем 30% примесей.
6. На содержание  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  сильное влияние оказывает влажность горных пород.

### Литература

1. ГОСТ 4013-82. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия. – М.: Госстрой СССР, 1982.
2. Безматерных С.В., Худеньких К.О. Отчет о доразведке восточного фланга Саркаевского участка и пересчете запасов гипса и ангидрита Соколино-Саркаевского месторождения в Кунгурском районе Пермского края. ООО «Ергач», пос. Ергач, 2014.
3. Семейкин А.О. Оценка качества гипсов и ангидритов участка Соколино-Саркаевского месторождения // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр.: в 2 т. / отв. ред. Е.Н. Батуриин; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2013. – Т.1. – С. 44-47.
4. Горная энциклопедия. Том 2. / Гл. ред. Е.А. Козловский. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – 577 с.
5. Большц Е.В. Характеристика гипсового сырья Соколино-Саркаевского месторождения с применением метода синхронного термического (ДСК/ТГ) анализа // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – Вып. 16. – Пермь: ПГУ, 2016. – С. 42-45.

## РЕШЕНИЯ GEBR. PFEIFFER ПО ПОМОЛУ И КАЛЬЦИНАЦИИ ГИПСА

*Церр В.  
Gebr. Pfeiffer, Германия*

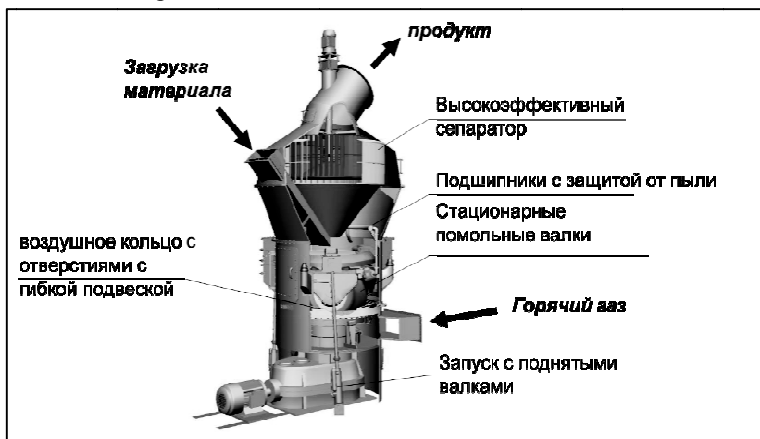
Компания Gebr. Pfeiffer была основана в 1864 году. Уже более 154 лет среднее семейное предприятие разрабатывает решения в областях помола, сепарации, сушки, гидратации и кальцинации разных материалов.

За прошедшие годы наша компания заняла лидирующее положение в секторе производства оборудования для строительной отрасли – мы производим вертикальные валковые мельницы для помола извести и гипса, цементного сырья, клинкера, угля, шлака, шаровые мельницы, сепараторы, сушильные барабаны и гидраторы извести.

Нашим основным продуктом с тысяча девятьсот шестидесятого года является вертикальная валковая мельница. Поскольку для современного рентабельного завода важным является повышение производительности и экономия энергетических ресурсов, мы поставили перед собой задачу достичь этого в секции помола, сушки и кальцинации, куда поставляется наше оборудование.

Для гипсовой промышленности мы поставляем вертикальные валковые мельницы для размол и сушки природного гипсового камня, для его частичной или полной кальцинации, и два разных вида сепараторов.

Природный гипсовый камень подается с помощью ячеекового лопастного затвора в вертикальную валковую мельницу. Размол происходит между тремя валками с выпуклой рабочей поверхностью и чашеобразным столом помола. Расположенные снаружи три гидравлических цилиндра приводят в действие тяги, которые прижимают треугольную раму и, соответственно, мелющие валки к поверхности стола помола.



Поток поступающих в мельницу технологических газов выносит измельченный материал во встроенный воздушный сепаратор. Во время подъема продукта к сепаратору происходит кальцинация гипса. После сепаратора поток газа транспортирует гипс в фильтр, где он оседает.

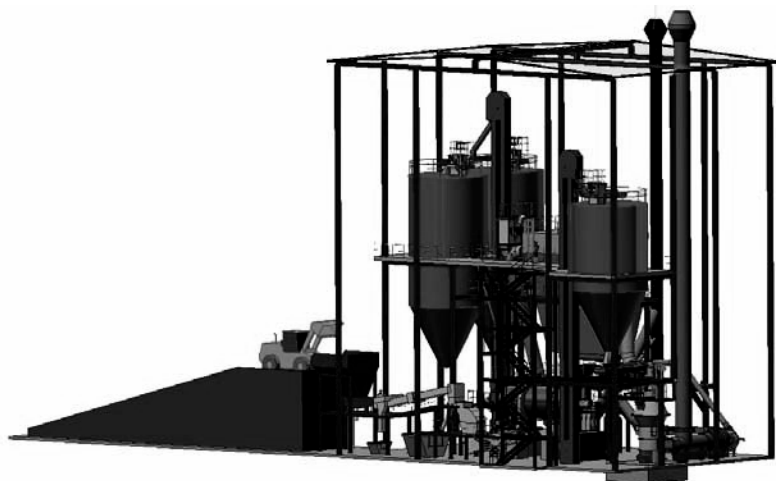
В 2016 году компания Gebr. Pfeiffer успешно разработала и ввела на рынок новую концепцию ready2grind для помола разных видов цемента. Установка ready2grind необычайно компактная. Все модули в контейнерах стандартного размера поставляются предварительно собранными. Модульное решение для помольной системы компании Gebr. Pfeiffer позволяет использовать ее в любом месте, (при наличии минимальной инфраструктуры, например - электричества) и этим приближая производителей цемента к своим заказчикам.



Данная система идеально подходит для местных производителей цемента, а также для крупных строительных компаний, стремящихся расширить свое производство, производя цемент на месте. Гибкий дизайн позволяет быстро и эффективно транспортировать и монтировать установку ready2grind с управляемыми затратами - это идеальная концепция для быстрого реагирования на меняющиеся потребности местных рынков цемента.

С 2016 года уже продано более 10 установок ready2grind, что подтверждает успех данной концепции. И мы разработали подобную систему для применения в гипсовой отрасли.

ready2grind+calcining это мобильный компактный завод кальцинации гипса для местных производителей с различными опциями:



- Смесительная установка для производства гипса для штукатурки и специальных сортов гипса
- Упаковочная линия
- Линия паллетирования
- Установка для производства гипсокартона

Эта компактная модульная конструкция с предварительно собранными модулями обеспечивает быструю доставку, монтаж и ввод в эксплуатацию. Эти преимущества дают заказчику мгновенный выход на рынок, низкий инвестиционный риск и короткую амортизацию завода.



# **АКТИВАЦИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ (ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)**

*Шамис Е.Е. (Молдова), Присяжнюк М.И. (Украина), Иванов В.Д. (Россия)  
Технический университет Молдовы  
Предприятие, «Основанівденьбуд»  
Предприятие « Ертіс »*

Представляемая научно-инженерная разработка осуществлялась в течение длительного времени, причём в нескольких странах при благожелательном содействии соответствующих государственных структур, научных и инженерно-конструкторских организаций, производственных предприятий, высококвалифицированных специалистов и перспективно мыслящих бизнесменов. Конечно, возникали и непонимание, а то и откровенная зависть, активно препятствующая делу.

Авторы работали по данной тематике и в отдельности, и в различные временные периоды, но затем объединили свои усилия, нацеливая их именно на комплексное решение достаточно крупных проблем в некоторых сферах науки, отраслях экономики, а также в экологии и жизнеобеспечении с преимущественным использованием физических методов. При этом особое внимание было уделено возможности практической реализации результатов исследований.

Материалы, изделия и технологии испытывались в лабораторных условиях, научно-промышленных экспериментах, серийных производствах, что создаёт основу для реинжиниринга профильных предприятий, отдельных отраслей экономики, а в целом для решения ряда глобальных проблем всей нашей цивилизации.

## **1. Актуальность работы**

Современные формовочные смеси используются для разнообразных целей в большинстве отраслей современной экономики. При этом термином формовочные смеси обозначаются тщательно перемешанные с водой или с иной жидкостью мелкие и крупные компоненты, которые могут образовать новые соединения или оставаться инертными, а при включении в состав смеси вяжущих (склеивающих) веществ они преобразуются в затвердевший искусственный конгломерат, принимающий форму опалубки изделия, в которую её укладывают.

Одной из крупнейших отраслей экономики, где такие смеси применяются для производства бетонов, является строительство. Причём бетоны, как материальная субстанция, занимают в нашей цивилизации второе место после воды по объёму потребления.

В данной разработке особое внимание уделено вопросам совершенствования мелкозернистых бетонных смесей на минеральных вяжущих - портландцементе и гипсе. Их прочностные качества в современных технологиях используются не в полной мере. При смешивании с водой частицы вяжущего слипаются, не давая ей возможности проникнуть внутрь.

Среди разнообразия формовочных смесей авторы выделяют те, которые включают вяжущие вещества, мелкие заполнители, апробированные долговременными испытаниями добавки и жидкость, преимущественно воду, в том числе и с повышенным содержанием минеральных солей, к примеру, морскую. Этой группе смесей присвоен термин - формикс. Заметим, что с таких позиций даже обычная питьевая пресная вода относится к данной группе, так как в ней растворены некоторые вещества, придающие определённый привкус, что отличает её от дистиллированной воды.

Смеси формикс являются предметом данного исследования. Их положительные, а также отрицательные, но преодолимые свойства, изучаемые в настоящей работе, должны определить область рационального использования смесей формикс.

Следовательно, бетонопроизводящие предприятия и их инфраструктура становятся предметом пристального внимания в вопросах исследования их экологической, жизнеобеспечивающей и экономической эффективности. Кроме того, формовочные смеси специальных составов могут быть применены в изготовлении элементов, защищающих человека от вредных излучений компьютеров, мобильных телефонов и др., для стимуляции роста растений, сохранности и резкого улучшения качества сельскохозяйственной продукции и для иных целей.

Практикуемое в настоящее время механическое смешивание компонентов формовочных смесей без их активации приводит к значительному перерасходу связующих веществ и нерациональному использованию других компонентов. Авторами были предложены термины: для активированных формовочных смесей – акформикс, а для устройства, в котором они изготавливаются, – блендер. Конструирование формовочных смесей не только состав компонентов, но их взаиморазмещение, воздействие друг на друга в период их жизненного цикла и т.д.

Необходимость поиска эффективных инновационных предложений для решения вышеупомянутых задач по совершенствованию конструкций и способов изготовления формовочных смесей определила актуальность настоящей научной разработки. Необходимо отметить, что решение такой крупной проблемы имеет не узкое, а широкое, многоотраслевое значение.

## **2. Содержание исследований**

### **2.1 Направленность разработки**

Разработка направлена на систематизацию предыдущих и новых исследований по теме, включая труды авторов. В качестве ведущей методологии используются основные положения системного анализа проблемных ситуаций.

Выбор традиционных и принципиально новых научно-инженерных физических методов конструирования, подготовки и смешивания компонентов формовочных смесей должен дать результирующие инновационные решения обозначенной выше проблемы.

### **2.2 Состав и результаты исследований**

В состав исследований входят теоретические и основанные на них инженерные разделы, что в итоге формирует объём разработок с общей целью создания научно обоснованного комплекса способов конструирования и изготовления формовочных смесей типа формикс при использовании не применявшихся прежде физических методов их обработки с активацией компонентов. Для создания такого комплекса наиболее приемлемым и современным методологическим инструментом представляется системный анализ проблемных ситуаций.

Существующие методики системного анализа необходимо дополнить и переработать с учётом особенностей настоящего исследования. Таким образом, в составе данной работы просматриваются три основных этапа:

- теоретические разработки по системному анализу проблемных ситуаций;
- научно-инженерные исследования геометрической конструкции системы и выбор физических методов конструирования и изготовления формовочных смесей;
- системно-аналитические, инженерно-конструкторские, а также прикладные исследования для практической реализации результатов, в составе жизненно необходимых изделий и конструкций.

Разработки по методологии системного анализа проблем применительно к теме, выполнены на основе защищённых авторскими правами и опубликованными трудами. Организация исследований сведена в системную структуру в форме логически сконструированной графической модели, представленной на рис.1.

Во внешней среде данной системы размещены блоки, содержащие сведения, необходимые для функционирования её при решении проблемы, а именно: результаты фундаментальных исследований, законодательные документы, доступная информация по теме.

В процессоре системы находятся управляющая подсистема, действующая на основе внутрисистемного регламента [16,17]. Далее обозначены блоки выбора и обоснования цели и комплексов задач, которые необходимо решить для её достижения. Они отражают приведённые выше этапы данной работы.

В суперблоке 1 процессора отражены научно-теоретические исследования по второму этапу разработок. В блок 1.1 включено предложение о моделировании структур систем в логически сконструированной плоскостной форме. Эта модель наглядна, доступна для понимания и осознания назначения, обозначения пространственно-временных рамок, работы системы в целом и во взаимосвязи отдельных её элементов и т.д. Такая модель предложена в развитие идей С. Оптнера [10].

В блок 1.2 включено предложение о системной совместимости как новом фундаментальном свойстве (существенной особенности) систем, таком же, к примеру, как то, что система в целом, понимаемая как целесообразно организованное множество элементов и связей между ними,

обладает качествами, которых нет у составляющих её элементов в отдельности [14].

Системная совместимость компонентов формовочных смесей на различных этапах их жизненного цикла [9] по существу является многоступенчатой структурой [16,17]. При положительном результате исследований всех составляющих её элементов может быть определена конструкция формовочной смеси (общий состав, а также размеры, форма, степень обработки её компонентов и другие свойства), что определяет высокую значимость данного блока в структуре изучаемой системы.

В блоке 1.3 размещён комплекс систем для подбора методов решения проблем, что является предназначением системы в общем понимании .

Это общетеоретическая схема из трех последовательно связанных системных структур, которая позволяет углублённо изучить суть поставленных перед системой задач и определить должную степень её решения. Данный комплекс не противоречит последующему блоку 1.4, где выделены только физические методы активации смесей.

В блоке 1.4 представлена система выбора и исследования физических методов активации формовочных смесей. Эта система позволяет выбрать те методы, которые подходят для конкретной формовочной смеси, исходя из её предназначения.

В блоке 1.5 предлагается методика выявления и анализа противоречий в системах, а также их превентивного устранения . Такой подход позволяет определить загружающуюся внутри системы новую проблему и ликвидировать её проявление упреждающим ударом.

Результаты научно-теоретических исследований проблемных ситуаций, сосредоточенные в суперблоке 1, позволяют перейти к решению научно-инженерных проблем, что отражено в суперблоке 2. Здесь, в блоке 2.1 предложена экспертная система соответствия технологий, создаваемых на изложенной выше теоретической основе .

В блоке 2.2 представлена система бизнес- поля, которая устанавливает сферу деловых интересов производителя формовочных смесей с учётом воздействия конкурентных сил [16,17]. Структура бизнес- поля, предложенная авторами, разработана на базе идей М. Портера [11]. Таким образом, производящее акформикс предприятие сможет разумно обеспечить менеджмент своей деятельности.

В блок 2.3 внесена системная методика решения проблем технологий бетонов. Здесь учитываются интересы строительства- отрасли экономики, где в наибольших объёмах используются формовочные бетонные смеси для возведения зданий и сооружений [12]. Методика развивает идеи Ф. Цвикки [9,16,19,20]. В блоке 2.4 с системно-аналитических позиций рассматриваются теория и практика активации формовочных смесей, применительно к строительной отрасли .

Отметим, что все научные разработки в обоих суперблоках представляемой модели данной системы полностью защищены международными сертификатами авторских и других смежных прав.

Далее в модель включены блоки прикладных исследований избранных физических методов решения проблем формовочных смесей и промышленного эксперимента. Из выхода системы по каналам обратной связи через блок нормоконтроля соответствия заданным требованиям к результатам исследования информация поступает на вход системы, а затем в управляющую подсистему для внесения по необходимости коррективов в организацию функционирования всей системы.

На основе авторских исследований по предложенной модели с одновременным анализом информации по теме [2,6,13] установлено, что при использовании существующих методов конструирования и изготовления формовочных смесей, как сказано выше, значительная часть вяжущего вещества не гидратируется, то есть вода не проникает внутрь слипающихся частиц материала. Этому препятствуют «реакционные каёмки» из гидратированного вяжущего, образующиеся на частицах и упрочняющиеся со временем [2,13]. Отсюда следует крупный перерасход вяжущего и воды, необходимых для получения конечного продукта с заданными техническими показателями. При этом излишнюю воду потом необходимо удалить, что влечёт за собой неэффективный расход времени и энергии.

Исходя из изложенного и ориентируясь на систему по рис.1, блок 1.4 в качестве ведущих физических методов активации формовочных смесей нами приняты: регулируемая по мощности (управляемая) гидродинамическая кавитация в потоке смешиваемых отдельно от остальных компонентов воды и вяжущего вещества; активация воды (жидкости), обработкой неионизирующими космическими излучениями.

Гидродинамическая кавитация возникает, как известно, при сужении поперечного сечения потока и не влечёт за собой затрат энергии, как при других методах создания очагов кавитации в потоке (ультразвуком, акустическом и пр.). При этом слипающиеся при гидратации частицы вяжущего становятся зародышами (ядрами) кавитационных микропузырьков, в которых при схлопывании развивается давление 1000...4000 атм. и резко повышается температура. Известные методики расчёта кавитации использованы нами. В результате удаётся раздробить частицы до атомарного уровня, увеличив тем самым степень гидратации вяжущего, следовательно, уменьшать его расход, необходимый для получения акформикса с заданными техническими показателями. По нашему опыту, расход вяжущего уменьшается на 27...30%.

Используемая в изготовлении смеси вода предварительно структурируется, то есть два атома водорода и атом кислорода располагаются под углом 104,7° по отношению друг к другу. В нашем исследовании это достигается воздействием на воду неионизирующим космическим излучением через гибкий концентратор на основе хлопчатобумажной ткани, обработанный по специальной методике акформиксом соответствующего состава.

Гибкие концентраторы могут быть сконструированы с разной степенью интенсивности воздействия на жидкость. Ввиду отсутствия методологии по

установлению степени интенсивности таких излучений авторами предлагается следующий подход.

Единица измерения  $E$  (Enstein) определяется как интенсивность неионизирующего излучения, необходимая для структуризации единицы объёма дистиллированной воды за единицу времени, то есть:

$$E=V/t, \quad \text{где}$$

$V$ - объём дистиллированной воды (в  $m^3$ );  $t$ - время, необходимое для её структуризации (в сек.)

Приведённая в порядке предложения единица интенсивности неионизирующего космического излучения ориентирована на Интернациональную Систему единиц (Si), принятую в 1960 году. Она базируется на измерении  $E$  для дистиллированной воды, причём принято, что вода, залитая в прямоугольную пластиковую ёмкость, неподвижна. Ёмкость вмещает несколько больше  $0,1 m^3$  и устанавливается на гибкий конденсатор нашей конструкции с однослойным покрытием ткани специальным составом, фокусирующим излучения. Время облучения-36000 с. В итоге, пока условно, принимаем численную величину  $1E=0,003 m^3/c$ .

Для других жидкостей или газа (в спокойном состоянии) вносятся коррективы. Соответственно видоизменения произойдут и при перемещении жидкости или газа в зависимости от скорости потока и завихрений в нём. Для этого необходимы дополнительные исследования.

### **3. Аprobация результатов исследований**

Представляемые научные исследования стали основой для создания конкретных инженерных разработок, патентно защищённых и имеющих соответствующие ноу- хау, а также прошедших практическую апробацию. Ниже приводятся краткие сведения по таким разработкам.

3.1. Известные труды в области системно- аналитических исследований стали основой данной научной разработки, что, к примеру, отражено в литературных источниках [1,3,9,10 и др.]. Развивая идеи, заложенные в них, мы пришли к пониманию необходимости создания геометрических транскрипций систем, что, по нашему мнению, более соответствует тематике и направленности настоящих исследований [28].

Система конструируется с целью поиска решения какой- либо проблемы, для чего формулируется рабочая гипотеза. Однако жёсткая трактовка возможного метода решения проблемы может стать тормозом в поиске оптимального, инновационного способа.

3.2. Способы конструирования и изготовления мелкозернистых бетонов на минеральных вяжущих.

Они основаны на новых принципах смешивания компонентов формовочных смесей с использованием физических методов

Испытаны в опытно-промышленном производстве изделий из быстротвердеющего гипсоцементно-пуццоланового вяжущего в Москве в 1997-98 годах и портландцементных бетонов в Кишинёве в 2010 году. В первом варианте прочность на сжатие самого вяжущего превышена на 72%

(испытания выполнены в Московском государственном строительном университете). Во втором - получен результат 50,7 МПа (507 кг/см<sup>2</sup>) на керамзитовом песке и цементе марки 400 (испытания выполнены в лаборатории Tetragon, США). При этом прочность цемента ниже, чем у бетона, а масса (1469 кг/ м<sup>3</sup>) на 700...800 кг/ м<sup>3</sup> меньше, чем у обычного бетона.

В наших исследованиях заданную пластичность смеси удалось обеспечить при меньшем на 12...15% расходе воды. Успешно испытаны также бетоны на воде с повышенным содержанием минеральных солей, в том числе морской, причём в качестве вяжущих использовалось портландцемент и гипс.

3.3. Способы конструирования и изготовления устройств для защиты от вредных излучений: мобильных телефонов, компьютеров, микроволновых печей, телевизоров с использованием акформикса специального состава. Апробировано рядом профильных организаций в том числе экспертом ВОЗ.

3.4. Использование активированной воды для оптимизации роста растений. Апробировано, в частности, на малине в США, огурцах и др. в России .

3.5. Использование защитно- стимулирующих устройств с акформиксом для сохранности и существенного улучшения качества сельскохозяйственной продукции, в частности, виноконых образцов с одновременным повышением марочности. Испытано в Молдове и Франции.

3.6. Завершаются успешные исследования и испытания устройств для резкого снижения вредных выбросов при одновременной до 25% экономии горючего (жидкого топлива, газа и др.) на транспортных и стационарных средствах их использования.

3.7. Активация воды и очистка её от биологических включений с помощью обработки неионизирующими космическими излучениями-создают возможность принципиально изменить эту технологию. Сейчас она основана на использовании химических реагентов.

Из общего количества воды на нашей планете пресная вода составляет всего 2 %. А если учесть, что наибольшая её часть сосредоточена в ледниках на суше и океане, то остаётся всего 0,15%. Явно мало, потому уже сейчас значительная часть человечества страдает из-за отсутствия влаги. Так что впереди нас могут ждать не фантастические звёздные войны, а реальные и беспощадные сражения за воду.

В разделе 3.2. мы изложили суть работы по применению морской воды в производстве бетонных формовочных смесей. При этом значительная часть минеральных солей входит в состав бетона. Но очистка нужна и здесь.

Что касается пресной воды, то нами проведён опытно-промышленный эксперимент. Суть его в следующем. Из реки Днестр, вблизи станции очистных сооружений, подающей питьевую воду в город Кишинёв- столицу Молдовы, был произведён забор воды в несколько пластиковых бутылей. Некоторые из них были облучены неионизирующими космическими излучениями с помощью гибких конденсаторов нашей конструкции.

Закрытые и запечатанные, под индивидуальными номерами бутылки были переданы в специализированную лабораторию «Апэ-канал». В результате испытаний установлено, что вода полностью соответствует нормативам питьевой. Однако содержание микробов составляет в UFC/см<sup>3</sup>: в реке 85, норма после очистки 20, фактически 2, то есть в 10 раз меньше нормы. Комментарии излишни.

3.8. Представление о бизнес-поле завершает комплекс работ по созданию конечного изделия. Акформикс- это промежуточный результат по всем разделам инженерной разработки. Для бизнес-поля в строительной отрасли таковым является здание или сооружение. Отсюда следует, что необходимы дороги и транспортные средства.

При больших расстояниях от предприятия до объекта могут быть использованы воздушные транспортёры. Нас привлекли аэростатические летательные аппараты, имеющие ряд преимуществ перед другими, впрочем, как и недостатки.

#### **4. Научная и инженерная новизна разработки**

Выполненные научно-инженерные исследования определили следующие факторы новизны данной разработки.

4.1. Научно-обоснованные методики системного анализа проблемных ситуаций, применительно к изучаемым и подобным темам.

4.2. Создание логически обоснованной, плоскостной графической модели системы приемлемой для исследования гипотез решения проблем, в том числе и предложенную форму- работающую гипотезу.

4.3. Выявление и исследование системной совместимости как фундаментального свойства (существенной особенности) систем и других сопутствующих системных конструкций.

4.4. Определение научно обоснованных физических методов конструирования и изготовления формовочных смесей нового поколения- акформикса с использованием инновационных машин- блендеров.

4.5. Комплекс прикладных исследований, научно--промышленных экспериментов, серийного производства, подтверждающий правильность результатов научных исследований.

#### **5. Краткие итоги, выводы, рекомендации**

Авторы работали по данной тематике многие годы, что даёт нам моральное право предложить читателям то, что обозначено в наименовании данного раздела.

Главное: мы научили управлять гидродинамической кавитацией, заставляя её, а может быть просто попросив, разрушить оболочки слипшихся частиц вяжущего материала и пустить внутрь воду. Сама вода- не простая, она активирована и очищена, потому что космические излучения уничтожили в ней не слишком полезную живность вплоть до вирусов.

Нас иногда спрашивали: куда надо включить ваш гибкий конденсатор, в какую розетку, под какое напряжение? Раньше мы смеялись, а теперь уже



привыкли. Да никуда включать не надо, излучения идут из космоса. Представьте себе- далеко не все верили, полагая, что это какой-то фокус.

Однако все сведения, приведённые в данной разработке точны и подтверждены соответствующими документами. Мы сделали всё возможное на данный момент, чтобы уберечь нашу планету, её изумительную флору и фауну. Она ведь живая, так что будьте внимательны и уважительны к своему дому, люди. Это главные итоги и выводы.

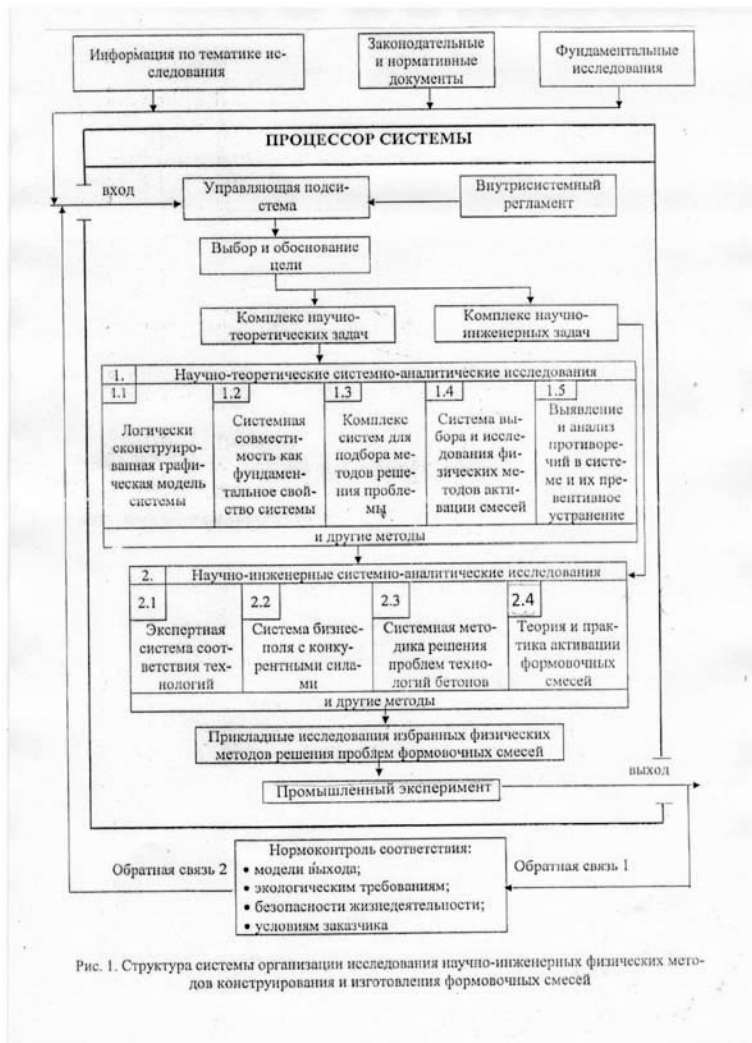


Рис. 1. Структура системы организации исследования научно-инженерных физических методов конструирования и изготовления формовочных смесей

## Литература

1. Антонов А.В. Системный анализ. Учеб. Для вузов/ А.В.Антонов.- М.:Высш.шк.,2004.-454с.
2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона/ И.Н.Ахвердов.-М: Стройиздат, 1981.-464 с.
3. Бергаланфи Л. Фон. Общая теория систем: критический обзор/ Л.фон Бергаланфи// Исследования по общей теории систем.-М.:Прогресс,1969.-С.23-82.
4. Болога М.К. Работает пустота/ М.К.Болога, И.А. Шалобасов, Ю.Н. Пауков- Кишинёв:Штиинца.-45 с.
5. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине/ Н. Винер; пер. с англ. И.В.Соловьёва и Г.Н. Поварова.- М.: Наука, 1983.-340 с.
6. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. Учеб. для вузов/ А.В. Воложенский.- М.:Стройиздат, 1986.-464 с.
7. Гончаров Н.Н. Пути повышения долговечности материалов и конструкций: обзор/ Н.Н. Гончаров.- Кишинёв: НИЭИ, 2002.-56 с.
8. Гусев Б.В. Механизм кавитационной активации цемента/ Б.В. Гусев, В.Ф. Юдаев// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.-2003, №6.-С.24-25.
9. Капустян В.М. Системно-морфологический анализ творческих процессов планирования/ В.М. Капустян, П.Г. Кузнецов, Ю.Г. Махотенко// Обзоры по электронной технике. Серия 9. Экономика и системы управления. Вып.3 (501)-77.-М.: 1978.-60 С.
10. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем/С.Оптнер; пер.с англ.- М.: Советское радио, 1969.-216 с.
11. Портер М.Е. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов/ Майкл Е. Портер.; пер. с англ.-М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.-454 с.
12. Присяжнюк(Холдаева)М.И. Системный анализ проблемных ситуаций (исследования решения проблем технологий бетонов) OS 3658/ М.И. Присяжнюк.- AGEPI RM, 25.09.2013.
13. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. Учеб. пособие// И.А. Рыбьев.-М.: Высшая школа.2004,-701 с.
14. Холдаева М.И. Системный анализ проблемных ситуаций (системная совместимость), ОҢ №3526/ Холдаева М.И.-AGEPI RM, 12.10.2012.
15. Шамис Е.Е. Системный анализ проблемных ситуаций (структура системы выбора и исследования физических методов активации компонентов формовочных смесей), ОҢ №2624/2814./ Е.Е. Шамис, В.Д. Иванов, Холдаева М.И.- AGEPI RM, 12.10.2012.

16. Шамис Е.Е. Строительство XXI- инновационные идеи совершенствования промышленных методов/ Е.Е. Шамис.- Кишинёв: «Tehnica- Info», 2010-262 с.

17. Шамис Е.Е. Строительство XXI- системный анализ проблемных ситуаций/ Е.Е.Шамис, Н.Г. Цуркану, М.И. Холдаева (и др.)- Кишинёв: «Tehnica- Info», 2011.-160 с.

18. Шипов Г.И. Теория физического вакуума/ Г.И. Шипов- М.: НТ-Центр, 1993.-362 с.

19. Zwicky F. Morfology of Propulsive power. Monographs on Morphological Reserch, N1, Society for Morphological Reserch, Calif, 1962,382 p.

20. Zwicky F. Entdecken, Erfinden, Forschen in morfologischeri Weltibild, Droemer- Knaur, Munchen-Zurich, 1966.288 s.

# СТРОИТЕЛЬСТВО МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ПЕНОГИПСА И ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Шигапов Р.И.<sup>1</sup>, Ивлев М.А.<sup>2</sup>, Пудовкин А.Н.<sup>3</sup>, Недосеко И.В.<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup> ООО «Уфимская гипсовая компания»*

*<sup>2</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*<sup>3</sup> Оренбургский государственный университет*

*<sup>4</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Строительство доступного и комфортного жилья в России является важнейшей экономической и социальной проблемой уже несколько десятилетий. Однако её решение в силу как объективных, так и субъективных причин, связанных с дороговизной земли в крупных городах, доступа к инженерным коммуникациям и других обстоятельств, все усложняется. В настоящее время уже есть общее понимание того, что добиться решения данной задачи возможно только за счет расширения малоэтажного строительства, что так же имеет место в большинстве развитых стран Европы и Северной Америки.

Малоэтажное строительство, а по определению к нему относятся практически любые здания жилищно-гражданского назначения (жилые дома, детские дошкольные учреждения, магазины и др.) до трех этажей включительно с общей площадью до 1500 м<sup>2</sup>, на которые согласно действующему градостроительному кодексу не требуется разрешения экспертизы и контроля за строительством органов Госстройнадзора РФ. Данное обстоятельство безусловно снижает стоимость квадратного метра жилья и повышает его конкурентоспособность по сравнению с многоэтажной застройкой.

Значительное ужесточение норм теплосбережения в РФ за последние два десятилетия [1] заставляет искать новые варианты конструктивных решений малоэтажных зданий. Применение традиционной конструкции наружной стены из полнотелого керамического или силикатного кирпича, которая успешно использовалась в отечественном строительстве в течение более ста лет в настоящее время нецелесообразно (ее толщина для климатических условий Урала и Сибири должна составлять по новым нормам около двух метров, что не только очень дорого, но и многократно увеличивает нагрузку на фундамент). Поэтому для снижения стоимости возводимых зданий необходимо как применение традиционных местных строительных материалов (низкоэнергоемкие бесклнкерные вяжущие, гипс, заполнители и др.) [2-5], так современных эффективных теплоизоляционных

материалов [6, 7], позволяющих существенно уменьшить толщины ограждающих конструкций зданий. Несмотря на простоту требований к данным материалам – прочность, надежность, долговечность, экологичность, невысокая стоимость и высокие теплоизолирующие свойства, большинство из них, к сожалению, обладает теми или иными недостатками в техническом или экономическом аспектах.

В связи с тем, что стоимость квалифицированной рабочей силы будет только повышаться, а темпы строительства жилья должны только возрастать, то одним из приемлемых путей достижения поставленных целей должно стать развитие комплексной застройки жилых домов из быстровозводимых конструкций, к каким можно отнести лёгкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК– это технология проектирования и строительства зданий на базе тонкостенных стальных оцинкованных профилей разнообразного сечения). Как показала практика, несмотря на перспективность для отечественного строительства, использование деревянного каркасного домостроения существенно ограничивается требованиями пожарной безопасности для условий плотной застройки пригородов и районных центров.

В данных каркасных зданиях холодногнутый оцинкованный профиль применяется совместно с утеплителем на основе минеральной ваты. Такая конструкция имеет ряд существенных недостатков. Основные из которых – отсутствие сплошности наружных стены низкая долговечность утеплителя. Однако, главная проблема состоит в том, что минеральная вата во время эксплуатации выделяет не только простую пыль, а с содержанием токсичных компонентов (фенол и др.), которые входят в состав связующих используемых при производстве матов, а также жестких и полужестких минераловатных плит. Кроме того, данный утеплитель – конструкционно мягкий материал, практически не обладающий несущей способностью (это приводит к повышенному расходу стали для обеспечения несущей способности и устойчивости каркаса), и при эксплуатации имеет негативную особенность давать усадку и разрушаться (за счет реакций термоокислительного старения полимерных связующих– фенолформальдегидных или карбомидных смол).

Таким образом, конструкция каркасного дома с применением ЛСТК и минеральной ваты, несмотря на неоспоримые преимущества (пожарная безопасность и др.) имеет недостаточную эксплуатационную надежность, экологичность и экономичность. Реальной альтернативой может являться каркасно-монолитная технология строительства подобных зданий на основе совмещения ЛСТК с легкими бетонами на гипсовой основе[7-9] (в

частности пеногипс, обладая хорошей текучестью, образует сплошную конструкцию наружной стены без пустот и щелей). При разработке данного конструктивного решения каркасно-монолитного здания нами за основу взята технология изготовления домов из пеногипсов с деревянным каркасом (рис.1), которая успешно реализована ООО «Уфимская гипсовая компания» при комплексной застройке территории одноэтажными жилыми зданиями социального назначения в Иглинском районе Республики Башкортостан [10-11].



*Рис.1. Одноквартирный жилой дом в п. Иглино с деревянным каркасом и заполнением наружных стен монолитным пеногипсом.*

Рассматриваемые наружные стены включают деревянный каркас, состоящий из унифицированного бруса 50x100x3000 мм, связанного перемычками и обшито с двух сторон фибролитовыми плитами толщиной 2,5 см или облицованного с внутренней стороны гипсовыми пазогребневыми плитами (в качестве несъемной опалубки), а с наружной стороны стандартной опалубкой из ламинированной фанеры. Общая толщина стены в обоих случаях составляет 40 см. В данную конструкцию каркасной наружной стены механизированным способом осуществляют заливку теплоизоляционного пеногипса .

Однако, данная технология возведения наружных стен малоэтажных каркасных жилых домов с применением деревянного каркаса и монолитного пеногипса (в качестве конструктивно-теплоизоляционного материала) имеет отдельные недостатки, в частности: большое количество близкорасположенных друг к другу (шаг стоек из бруса 40-60 см) различных элементов деревянных конструкций, что приводит к повышенному расходу древесины (рыночная стоимость пиломатериалов повысилась за последние три года на 20-30%) и трудоемкости сборки каркаса. К тому же, огнестойкость зданий с деревянным каркасом недостаточна, несмотря на то, что пеногипс не горючий материал (только в наружных стенах пеногипс защищает деревянный каркас от возгорания), деревянные стропила и перекрытия не имеют конструктивной огнезащиты, подвержены горению, и как следствие быстрой потере несущей способности. Нами было принято решение объединить преимущества ЛСТК и пеногипса как эффективного конструктивно-теплоизоляционного бетона в конструктивном решении малоэтажного дома.

В сравнении с традиционной конструкцией малоэтажного здания на основе ЛСТК (с использованием минеральной ваты), использование монолитного пеногипса (прочность которого по сравнению с минеральной ватой больше чем на порядок), как показывает расчет, позволяет увеличить более чем в три раза расстояние между стойками каркаса и, соответственно, почти во столько же уменьшить расход стали [12]. Так же нет необходимости в применении дорогостоящего термопрофиля, так как в приведенном конструктивном решении исключено появление «мостиков холода» (с наружной стороны элементы каркаса из ЛСТК изолированы слоем пеногипса значительной толщины. Предложенная монолитно-каркасная технология позволяет возводить малоэтажные здания (до 2-3 этажей) с полным каркасом ЛСТК и заполнением стен и перекрытий монолитным пеногипсом. Важным преимуществом данного конструктивного решения, по сравнению с традиционными конструкциями малоэтажных зданий (с несущими кирпичными стенами или безригельным монолитным железобетонным каркасом), является так же значительного снижения нагрузок на фундаменты и, соответственно, грунтовое основание, что позволит существенно упростить и удешевить возведение фундамента (например, вместо материалоемкого ленточного железобетонного фундамента под несущие стены используется легкий столбчатый фундамент) для зданий подобного назначения.

### Литература

1. Гайсин А.М., Бабков В.В. Анализ несущих наружных стен многоэтажных жилых домов в Республике Башкортостан с позиции удельной теплозащитной характеристики // Строительные материалы. - 2016. - № 10. - С. 55-57.
2. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И. Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // Строительные материалы. - 2010. - № 12. - С. 44-46.
3. Vinnichenko V., Ryazanov A. Ecological indices of manufacture of Portland cement clinker and production of the dolomite clinker // MATEC Web of Conferences 6. Sep. "6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings", Transbud 2017" - 2017. - С. 01020.
4. Винниченко В.И., Рязанов А.Н., Виценко Н.Ю. Термодинамическая оценка условий образования первичных клинкерных минералов при обжиге доломитсодержащей шихты // Строительные материалы. - 2016. - № 10. - С. 76-83.
5. Рязанов А.Н., Винниченко В.И., Недосеко И.В., Рязанова В.А., Рязанов А.А. Структура и свойства известково-золяного цемента и его модификация // Строительные материалы. - 2018. - № 1-2. - С. 18-22.

6. Недосеко И.В., Бабков В.В., Алиев Р.Р., Кузьмин В.В. Применение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона в малоэтажном строительстве // Жилищное строительство. - 2008. - № 3. - С. 26-27.

7. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Строительный гипс с добавками керамзитовой пыли // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2012. - № 2. - С. 166-171.

8. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Реологические характеристики водных суспензий композиционного гипсового вяжущего и его компонентов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2009. - № 2 (12). - С. 263-268.

9. Недосеко И.В., Бабков В.В., Юнусова С.С., Гаитова А.Р., Ахмадулина И.И. Гипсовые и гипсошлаковые композиции на основе природного сырья и отходов промышленности // Строительные материалы. - 2012. - № 8. - С. 66-68.

10. Шигапов Р.И., Бабков В.В., Халиуллин М.И. Использование пеногипса в малоэтажном строительстве // Известия КГАСУ. - 2014. - №2(28). - С. 211-216.

11. Бессонов И.В., Шигапов Р.И., Бабков В.В. Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве // Строительные материалы. - 2014. - № 7. - С. 9-13.

12. Валиева Э.Т., Муфтахова Ю.Р., Салихова В.В., Шигапов Р.И., Недосеко И.В. Применение пеногипса в строительстве малоэтажных зданий с несущим каркасом из облегченных стальных профилей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова, - 2018. - №5. – С.20-24.



## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ. МАТЕРИАЛОВ. И ИЗДЕЛИЙ**

*Шлёнкина С.С., Гарафиев А.А.  
Кайбицкий муниципальный район, РТ  
Министерство экологии и природных ресурсов РТ*

В настоящее время на рынке современных строительных материалов острым вопросом является их экологичность и расширение области применения. Гипсовые материалы относятся к числу эффективных и перспективных видов строительных материалов, производство которых в настоящее время требует увеличения и обновления с учетом последних научных достижений. Расширение области использования гипсовых строительных материалов и изделий на их основе возможно поскольку гипсовые материалы являются одними из самых экологических материалов. Повышение их эксплуатационных свойств [ 4, 9, 10 ] позволяет обходиться без использования в производстве вредных примесей формальдегидных составляющих, которые при эксплуатации могут выделять вредные для организма человека канцерогенные вещества. Одним из способов улучшения свойств гипсовых материалов и изделий является регулирование их технологического режима производства.

В целом, изделия на основе гипсовых вяжущих проходят достаточно простой путь производства и весь процесс может быть представлен как ряд последовательных переходов от одного структурного состояния к другому. Все эти структурные переходы независимо от свойств твёрдой фазы и условий твердения могут происходить и развиваться только при условии действия в системе стока влаги дисперсионной среды: внутреннего или внешнего [ 5, 9, 10 ].

В закрытой вяжущей системе в любой момент времени часть воды химически связана в образующихся вследствие гидратации новообразованиях, часть удерживается поверхностными силами на поверхности твёрдой фазы и вблизи неё (физически связанная), а часть находится в равновесном водяном паре. Перераспределение молекул воды из одного состояния в другое связано с изменением энергетического уровня влаги в вяжущей системе.

В этом случае, молекулы воды в вяжущей системе находятся под действием силовых потенциальных полей. Поэтому, для определения их энергетического состояния целесообразно использовать введённые в термодинамической теории влажностного состояния понятия об энергии распределения и активности оводнения. Необходимо отметить, что нормально увлажняющиеся материалы - это типичные капиллярно – пористые тела, не изменяющие своего объема в процессе увлажнения. Как известно, основная причина изменения объема капиллярно – пористых материалов - изменение объема стенок капилляров (скелета), которые являются эластичными [ 3 ]. Такие материалы являются капиллярно – пористыми коллоидными телами, к числу которых относятся материалы на основе гипсовых вяжущих.

Влажностное состояние гипсовых вяжущих [ 3, 5 ] характеризуется значением влагосодержания и его изменением во времени. Материалы, влагосодержание которых  $> 0$ , можно считать увлажненными. Давление пара в окружающей материал среде обозначают буквой  $p$  и называют парциальным давлением пара окружающей среды. Если масса материала, помещенного в среду с определенным  $p$  остается неизменной, то пар этой среды называют равновесным паром, а его давление - равновесным парциальным давлением. Однако, при расчетах пользуются величиной относительного давления пара воды которое обозначают буквой  $f$ .

Любой материал, помещенный в среду с постоянным и температурой  $T$ , при внешнем барометрическом давлении с течением времени приходит в состояние влажностного равновесия с этой средой. Такое влажностное состояние называется равновесным гигротермическим, а область, в которой возможно его достижение, - гигротермической областью. В процессе установления влажностного равновесия изменение влагосодержания гипсовых материалов сопровождается процессами массопереноса между отдельными точками материала, а также его поверхностью с окружающей средой. В случае понижения температуры, при постоянном влагосодержании, может произойти переход капиллярно – пористого тела из гигротермического в гидротермическое.

В гигротермической области при влажностном равновесии двух капиллярно – пористых тел различного их влагосодержанию соответствует одно и то же значение относительного давления равновесного водяного пара воды.

Одно и то же влагосодержание капиллярно – пористого тела (вплоть до максимального насыщения) может быть достигнуто как под действием капиллярных сил при соприкосновении тела с жидкостью, так и вследствие действия сорбционных сил при эквивалентном относительном давлении равновесного водяного пара. При этом возможно установление сорбционного равновесия капиллярно – пористых материалов с водяным паром, за счет внешнего избыточного давления на плоскую поверхность воды, при котором относительное давление водяного пара  $> 1$ . В данном случае влага будет удерживаться в капиллярно – пористом теле сорбционными силами, а равновесное влажностное состояние описываться теми же закономерностями, что в гигротермической области. Поскольку в вяжущей системе на основе гипса все виды влаги находятся в равновесии с водяным паром, то это позволяет применить такую систему отсчёта, в которой изменения энергии имеют единый нулевой уровень. Так как в качестве равновесной системы используется водяной пар над материалом, то, согласно, за нулевой уровень отсчёта изменения энергии распределения принимается состояние водяного пара при  $= 1$  (общее относительное давление равновесного водяного пара). Любому случаю гидротермического увлажнения капиллярно – пористого тела при соприкосновении с жидкостью соответствует эквивалентное действию капиллярных сил относительное давление равновесного пара воды, при котором оно достигает такого же влагосодержания, что в результате действия сорбционных сил. Изменение характеристик влажностного состояния материала при переходе из гигротермической в гидротермическую область не происходит.

Твердение строительного гипса может быть представлено как результат взаимодействия сопряженных необратимых термодинамических процессов: химической реакции гидратообразования и структурообразования.

Термодинамический метод исследования процесса структурообразования на основе изучения изменения влажностного состояния позволяет не только зафиксировать, но и конкретизировать фиксируемые структурные состояния [ 1, 5 ].

В процессе твердения гипсовых вяжущих происходит формирование капиллярно-пористой структуры искусственного камня, что сопровождается изменением как влажностных, так и структурных характеристик вяжущей системы. На рис. 1 приведены изотермы сорбции водяного пара гипсового

камня, полученного из вяжущих - и -модификации в различные сроки твердения (от 30 до 120 минут).

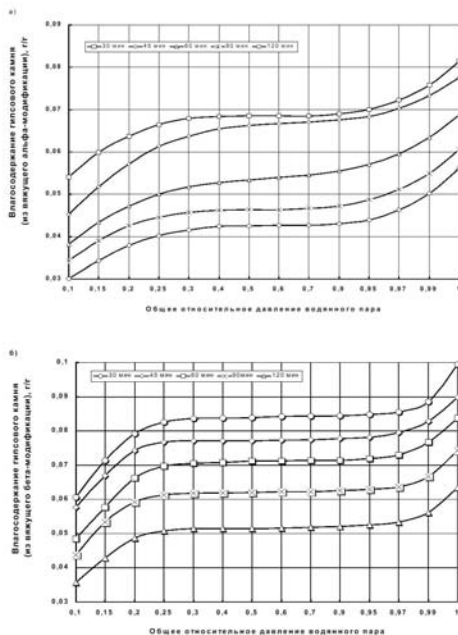


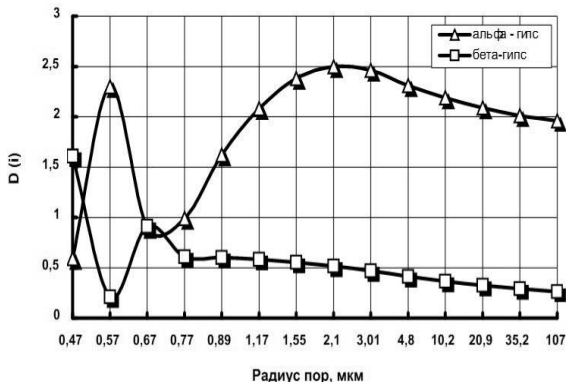
Рис.1. Изотермы сорбции гипсового камня из вяжущих - и -модификации

Из характера приведенных изотерм сорбции на рис.1 следует, что в исследуемых системах имеет место полимолекулярная адсорбция, а это напрямую указывает на сложный характер капиллярно - пористой структуры образующегося при твердении гипсового камня. Следует также отметить то, что в течение процесса сушки материалов на основе гипса происходит изменение их структуры образующегося камня, за счёт снижения максимального гигроскопического влагосодержания.

Характеристики влажностного состояния капиллярно-пористого материала не зависят от способа достижения заданного влагосодержания, а это позволяет использовать для расчета объема и радиуса пор полученные изотермы сорбции во всем интервале изменения относительного давления водяного пара.

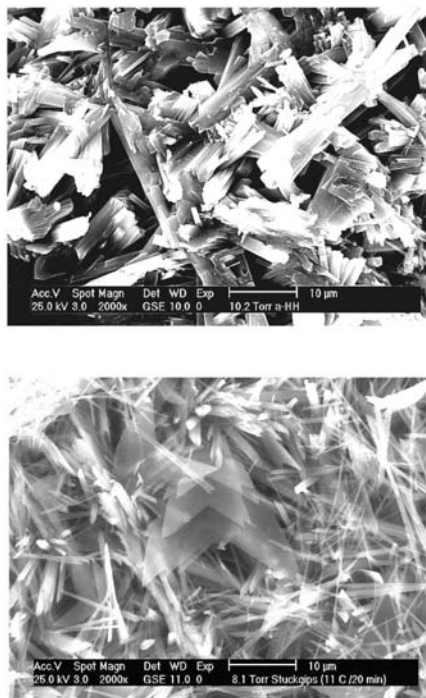
Важным моментом для характеристики пористости гипсового камня является размер пор. На рис.2 приведены дифференциальные кривые

распределения пор по размерам для исследованных систем. Из приведенных данных следует, что для гипсового камня на основе вяжущего бета-модификации характерна более однородная пористая структура, в которой преобладают поры размером 0,67 мкм, а в структуре гипсового камня примерно в одинаковом количестве находятся как мелкие поры с размером 0,47 мкм, так и достаточно крупные поры размером 1,55 мкм. При этом следует отметить, что несмотря на снижение объема пор, их характерный размер в течение процесса твердения практически не изменяется.



*Рис.2. Дифференциальные кривые изменения размера пор в твердеющем гипсовом камне*

Различие в характере порового пространства гипсового камня на основе вяжущих альфа и бета модификации можно объяснить морфологическим различием образующихся кристаллов двуводрата, что следует из данных электронно-микроскопического исследования (рис. 3).



*Рис.3. Микроструктура гипсового камня на основе вяжущих альфа и бета модификации.*

Следует отметить, что структурные превращения в гипсовой дисперсии на основе вяжущего  $\alpha$ -формы происходят при меньших энергетических затратах, чем в системе на основе вяжущего  $\beta$ - модификации. Такой характер структурных превращений обусловлен меньшей водо-потребностью данного вяжущего и, следовательно, меньшей толщиной жидких прослоек. Это предопределяет и меньшую высоту энергетического барьера, и более высокую прочность гипсового камня на основе вяжущего  $\alpha$ -формы.

Сегодня, основной задачей при производстве гипсовых изделий является обеспечение их высоких эксплуатационных показателей при минимальных энергозатратах и сохранение природных ресурсов. В значительной степени в производстве материалов на основе гипса основным критерием становится водогипсовый фактор исходного сырья, величина которого влияет также на формовочные и сушильные свойства гипсовых материалов. Использование

гипсовых смесей с малым количеством воды затворения, равным нормальной густоте, является ограниченным, что связано с технологическими трудностями их применения. Весьма распространенной при производстве гипсовых материалов и изделий является литьевая технология, связанная с использованием смесей с высоким начальным водогипсовым отношением. Избыток воды затворения приводит к формированию низкопрочной структуры материала, а также сопровождается большими энергозатратами на сушку изделий. Следовательно, возникает необходимость исследования влияния водогипсового фактора на процесс твердения вяжущих. Исходя из этого, процесс твердения гипсовых вяжущих можно разделить на четыре периода.

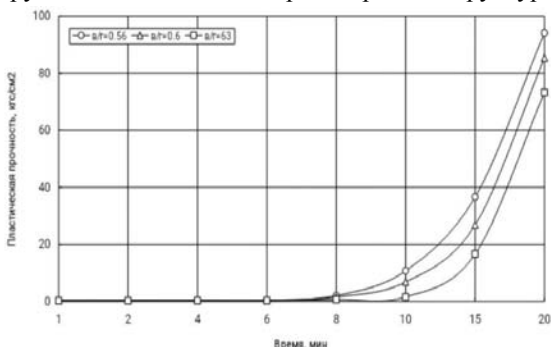
На начальном этапе твердения система «гипс – вода» имеет первичную коагуляционную структуру, которая существует в интервале  $\psi = 1,093 \dots 1,087$  и является устойчивой по своей природе формирования. Для этого структурного состояния характерна дискретность твердой фазы и непрерывность жидкой фазы [ 1, 5 ].

Следующий этап твердения связан с существованием в интервале  $\psi = 1,086 \dots 1,083$  термодинамически неустойчивого структурного состояния, для которого характерно снижение величины избыточного производства энтропии, обусловленного структурообразованием, до ее минимального значения. На этой стадии твердения в гипсовой дисперсии образуются пространственные дискретные структурные комплексы [ 5, 7 ], которые постепенно заполняют весь объем твердеющей системы, переводя твердую фазу в непрерывное состояние, а жидкую фазу в дискретное. На этой стадии твердения создаются энергетические предпосылки для перехода контактов дальней коагуляции в контакты ближней коагуляции. На указанных первых двух стадиях твердения осуществляют формование гипсовых изделий.

Вторая стадия твердения быстро сменяется достаточно непродолжительным третьим этапом твердения, для которого характерно существование неустойчивого структурного состояния гипсовой системы в интервале  $\psi = 1,083 \dots 1,056$ . Хотя данное структурное состояние является неустойчивым, в течение его существования происходит рост величины  $\delta x R \eta$  (терм.) [ 8 ] которая остается отрицательной. В этот период преобладают контакты ближней коагуляции, и твердая фаза становится полностью непрерывной, а жидкая – дискретной. В течение этого периода осуществляется извлечение из форм гипсовых изделий.

На последующем этапе твердения в диапазоне изменения  $\psi = 1,056 \dots 1,03$  формируется псевдо конденсационная структура с точечными контактами и увеличивается прочность гипсового камня (рис. 4). По

окончании этого периода необходима сушка гипсовых изделий, в результате которой формируется типичная капиллярно-пористая структура.



*Рис.4. Изменение пластической прочности гипсового камня от влияния водогипсового отношения.*

Вышеизложенные особенности формирования структуры системы «гипс – вода» раскрывают механизм набора прочности, который обусловлен числом межмолекулярных связей в единице объема и их энергией. Так как это межмолекулярное взаимодействие происходит при наличии жидкой фазы, энергия связи которой с твердой фазой обусловлена теми же силами межмолекулярного взаимодействия, что и структурообразование гипсового камня, то приходим к заключению, что все его физико-механические характеристики обусловлены энергией связи влаги с материалом.

Отсюда следует, что при эксплуатации гипсовых изделий энергия связи влага с материалом должна быть не менее  $1,16 \cdot 10^3$  Дж/моль что при температуре 293К соответствует переходу в типичное капиллярно-пористое состояние [ 1, 5, 6, 7 ]. Этому значению энергии связи соответствует общее относительное давление равновесного водяного пара  $\psi = 0,6$ . Именно до этого значения должны быть высушены все гипсовые изделия, а в условиях эксплуатации надежно защищены от увлажнения капельно-жидкой влагой. При таких условиях можно избежать явлений ползучести гипсовых изделий.



## Литература

1. Гаркави М.С. Управление структурными превращениями в твердеющих вяжущих системах. // Дисс. д. техн. наук. Магнитогорск, 1997, с.380.
2. Гиббс Дж. Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука, 1982, с.584.
3. Яминский В.В и др. Коагуляционные контакты в дисперсных системах. М.: Химия, 1982, с.185.
4. Будников П.П. Гипс, его исследование и применение. М., 1950, 374 с.
5. Цимерманис Л.Б. Термодинамика влажностного состояния и твердения строительных материалов. Рига: Зинате, 1985, с. 247.
6. Цимерманис Л.Б., Гаркави М.С. О термодинамическом анализе роста прочности твердеющего вяжущего. Сб. трудов, Челябинск, 1977.
7. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973, с.280.
8. Ефремов И.Ф. Периодические коллоидные структуры. Л.: Химия, 1971, с.191.
9. Белянкин Д.С., Берг Л.П. Гипс и продукты его обезвоживания. М., 1949, с.124.
10. Волженский А.В., Феронская А.В. Гипсовые вяжущие и изделия. М, 1974, 328с.

## **БУМАЖНЫЙ МЕШОК МОЖЕТ БЫТЬ БЕЗУПРЕЧНЫМ**

*Шутак И.Д.  
ООО УРСП «Памибро»*

Производство бумажных мешков в Украине началось в 1996 году, с учреждения ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ УКРАИНСКО-РУССКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ПАМИБРО». Приобретение предприятием в 2008 году новой производственной линии компании Windmoeller und Hoelscher, Германия, вывело бумажную упаковку на качественно новый уровень, который поддерживается и непрерывно совершенствуется компанией. Так, в 2013 году предприятие получило флексомашину для нанесения 5-цветной печати компании Uteco Converting SpA, Италия, а в 2017 году вторая производственная линия компании Windmoeller und Hoelscher, Германия, и восьмицветная машина для флексографской печати Uteco Diamond HP 812, Италия, увеличили минимальный объем производства мешка до 180 000 000 единиц в год.

На данный момент ООО УРСП «ПАМИБРО» входит в тройку крупнейших производителей бумажных мешков на постсоветском пространстве и тройку лучших в мире, насчитывая 120 сотрудников, а производственный процесс выполняется согласно системе управления качества ISO 9001:2015.

**БУМАЖНЫЕ МЕШКИ** - это прочная, но в то же время очень изысканная упаковка, и ООО УРСП «ПАМИБРО» может материализовать самые эффективные маркетинговые стратегии с помощью высококлассной бумаги, идеальной печати, и надежной защиты продукта. Открытые и клапанные, с полиэтиленовой вставкой, 8-цветной печатью, бумажные мешки широко используются строительной, нефтехимической, сельскохозяйственной, пищевой и другими отраслями промышленности.

Используя сырье от поставщиков мирового класса:

● **БУМАГИ:**

BILLERUDKORSNAS, Швеция

HORIZON PULP AND PAPER, Эстония

CARTIERA DEL CHIESE, Италия

SWEDPAPER, Швеция

STORAENSO, Польша

● **ПЛЕНКИ ПЭ:**

W. GROENING GMBH & CO KG, Германия

ERG SA, Польша

VOPACHEL DOO SABAC, Сербия

● КЛЕЯ:

EMSLAND STAERKE GMBH, Германия  
HENKEL MAGYARORSZAG KFT, Венгрия

● КОНЦЕНТРАТОВ:

SIEGWERK GMBH, Германия

ООО УРСП «ПАМИБРО» может гарантировать не только доступную и надежную упаковку, но и имиджевый продукт для обеспечения презентабельности тарифируемого продукта.

Как краеугольный камень биоэнергетической экономики наша отрасль способствует устойчивому развитию, который отвечает требованиям современной упаковки, сохраняет природные ресурсы и охраняет окружающую среду. Вдохновленные органическими решениями природы для упаковки, наша промышленность создает высококачественные бумажные мешки, основанные на природных ресурсах. Волокна, используемые для изготовления мешочной крафт-бумаги, на 100% натуральны и возобновляемы. Они добываются выращиванием деревьев, из технологических отходов деревообрабатывающей промышленности и постоянно управляемых программ восстановления европейских лесов.

Устойчивое управление лесными территориями является центральным элементом цепи стоимости бумажных мешков. Благодаря постоянной пересадке деревьев, государственный лес в Европе растет на 200 млн. куб метров в год.

Это также приносит пользу углеродному следу нашей промышленности: 1 м<sup>3</sup> древесины захватывает 1 т двуокиси углерода, выделяя 0,7 т кислорода.

Выбросы углерода для одного бумажного мешка содержат 92 г CO<sub>2</sub>.

Если бы углерод, поглощенный лесами, выбросы и связанные с ними выгоды, исключаемые в результате деятельности по восстановлению и управлению отходами, были включены в расчет выбросов углекислого газа для европейских бумажных мешков, они фактически достигали бы нуля.

В мире бурных изменений устойчивый рост означает прекрасное функционирование в современных условиях, не ухудшая качество жизни будущих поколений. В промышленности бумажного мешка мы все больше предлагаем индивидуальные упаковки для решения различных потребностей клиентов. Мы считаем себя партнером по развитию, работаем рядом с нашими клиентами и поддерживаем их благодаря нашим большим представлением об упаковке и отраслевым знаниям. Наше внимание уделяется разработке индивидуальных и натуральных упаковочных решений, которые лучше всего отвечают конкретному продукту нашего клиента, а также его экономическим интересам. Таким образом, мы стремимся создать дополнительную ценность для партнеров и их конечных потребителей.

Благодаря нашим постоянным усилиям по оптимизации, технология бумажного мешка развивается чрезвычайно стремительно в течение последних двух десятилетий.

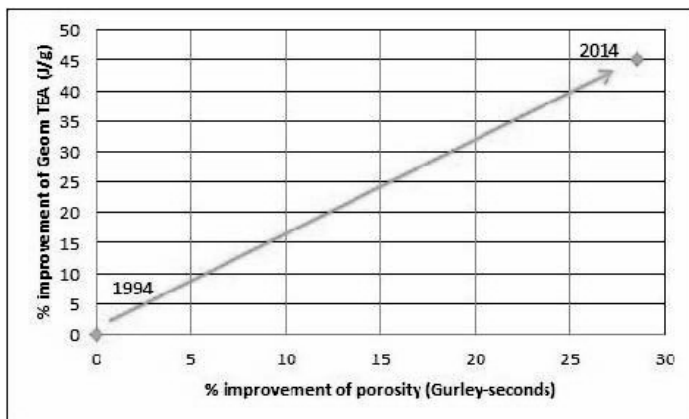
Кроме своих материальных преимуществ, бумажные мешки также предлагают преимущества с точки зрения технологической и экономической эффективности:

- бумага с высокой пористостью обеспечивает быструю вентиляцию во время наполнения, без необходимости применения сложных и дорогих систем вытягивания воздуха;

- пористость крафт-бумаги, основного сырья, используемого для бумажных мешков, была улучшена почти на 30%, а ее прочность увеличена на 45%. Это позволяет существенно увеличить скорость фасовки и экономическую эффективность процесса наполнения - до 6000 мешков в час, по сравнению с 2000 мешками в час для небумажных мешков.

- улучшенная прочность уменьшила расход бумаги на мешок на 25%, дополнив экологические показатели бумажных мешков. Сегодня только 100 г бумаги может вместить до 25 кг наполнителя. Вряд ли какой другой упаковочный продукт может достичь такого уровня эффективности.

- благодаря дальнейшим улучшениям в дизайне бумажные мешки стали универсальными, ориентированными на рынок решениями для упаковки, которые соответствуют новейшим и индивидуальным требованиям клиентов и их устойчивому развитию.



*улучшена прочность на 45% и пористость на 0%*

Упаковка является крупнейшим полиграфическим рынком, который растет. Бренды вкладывают значительные средства в новый дизайн и в

удовлетворенность клиентов. Рост глобального количества и обогащения населения, изменение стиля жизни потребителей и ожидания более соответствующей упаковки, растущие требования к уменьшению воздействия на окружающую среду и полная дигитализация - это силы, которые движут и формируют эволюцию упаковки.

Памибро делая ставку на поддержку своих клиентов и создание условий для удовлетворения их самых неожиданных потребностей инвестировало в полностью автоматическую восьмиколірну машину флексографской печати

Благодаря новым разработкам в бумажной технике, бумажные мешки обеспечивают надежную и экономическую защиту от сырости и влаги. Такие высокопроизводительные бумажные мешки можно хранить на открытом воздухе, не рискуя повредить мешок или его содержание.

В зависимости от конкретных требований наших клиентов, наша промышленность предлагает различные конструкции бумажных мешков с клеевыми, барьерными, поверхностными или пластовыми концепциями, которые обеспечивают надежную защиту от влаги. Все влагонепроницаемые мешки совместимы с машинами для заполнения бумаги. Кроме влаги и воды, бумажные мешки способны защищать содержимое от света, кислорода, углекислого газа и грязи благодаря регулируемым барьерным слоям и обработке поверхности.

Рынок глобальной упаковки бумажных мешков растет быстрыми темпами и, как ожидается, значительно возрастет в период с 2018 года по 2023 год. Ожидается, что мировой рынок упаковки бумажных мешков увеличится на 4,6% в прогнозном периоде.

Инновации играют важную роль в росте мирового рынка бумажных мешков. Поэтому продвижение в технологии упаковки позволило компаниям инновационно вводить продукты вместо того, чтобы придерживаться традиционных способов упаковки. Кроме того, многие компании сосредотачивают свое внимание на дизайне продукции, чтобы выжить на конкурентном рынке. Компании тратят больше на инновационную упаковку, а не на затраты на производство, чтобы повысить эффективность технологии упаковки.

На базе регионов глобальный рынок упаковки бумажных мешков был сегментирован в Северную Америку, Европу, Азиатско-Тихоокеанский регион и остальные страны мира. Северная Америка преобладает на мировом рынке упаковки бумажных мешков. США составляли наибольшую долю рынка Североамериканского региона. Европа является еще одним большим рынком с точки зрения спроса на упаковку бумажных мешков и, как ожидается, будет содействовать росту рынка в течение прогнозируемого периода.

Прогнозируется, что Азиатско-Тихоокеанский регион будет расти на самом высоком уровне в течение прогнозного периода. Высокий рост

упаковки в Азиатско-Тихоокеанском регионе является ключевым фактором, стимулирующим рост рынка. Растущий промышленное развитие, а также увеличение городского населения в развивающихся странах, способствуют дальнейшему развитию рынка. Китай, Япония, Индия, Австралия и Индонезия являются основными участниками рынка Азиатско-Тихоокеанского региона. Китай относится к наибольшей доли регионального рынка из-за быстрого роста урбанизации и промышленного развития.

С 2016 года Европейский рынок мешочной крафт-бумаги характеризуется дефицитом, причем сильный спрос из Азии, Ближнего Востока и Северной Африки является главной движущей силой, в то время как простой на нескольких европейских бумажных заводах ограничивает ее предложение.

На фоне последовательной и чрезвычайно жесткой ситуации с поставками бумаги, ее цена еще не достигла своего пика.

С начала 2018 года было сложно оценить уровень повышения цен на мешочную бумагу, поскольку они сильно варьировались в зависимости от продавца, покупателя и рассматриваемого ценового соглашения, а также уровня ранее применяемого повышения цен. В первом квартале поднятие составило 30-50 евро / тонну в континентальной Европе на коричневую и белую бумаги. Во втором квартале цены снова выросли. Поднятие варьировалось от 40-50 евро / тонну.

С прошлого года дефицит привел к тому, что покупатели больше беспокоятся о получении бумаги, чем о цене, которую они должны заплатить за нее, и у производителей бумаги нет проблем с реализацией ожидаемого роста цен. Объемы бумаги проданы до конца года, а сроки выполнения заказов в среднем составляют два-три месяца.

Многие производители бумаги также сообщают о начале распределения объемов на 2019 год из-за неопределенности относительно того, как рынок будет выглядеть в течение следующих шести месяцев.

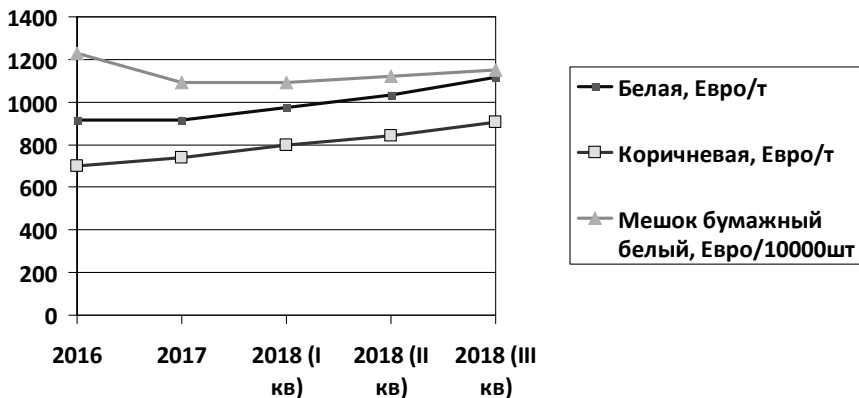
Основополагающие причины текущего уровня активности на рынке остаются неизменными: огромный мировой спрос на цемент, следовательно, на коричневый бумажный мешок, особенно на Ближнем Востоке и в Африке. Спрос там остается чрезвычайно высоким, а запасы низкими.

Еще одной движущей силой является глобальный рынок картонной упаковки, который продолжает укреплять свои позиции, и ведущие производители переходят на более выгодный продукт для своих машин.

В четвертом квартале 2018 года ожидается новый рост цен, поскольку серьезных изменений в балансе спроса и предложения в течение ближайших месяцев не предвидится. Увеличение уже обсуждается в октябре, в среднем на 30 евро / тонну.

Неинтегрированные производители бумажных мешков, исходя из текущей рыночной ситуации, значительно уступают в гибкости собственной ценовой политики, по сравнению с крупными производственными компаниями, обеспеченными собственной бумагой.

**График изменения цен на мешок и бумагу**



Но ООО УРСП «ПАМИБРО» работает на рынке с 1996 года, что свидетельствует о надежности и стабильности компании и может обеспечить своевременное производство и поставку изготавливаемой продукции в объеме не менее 15 млн. шт. в месяц. Собственные складские помещения дают возможность длительного складирования бумажной тары. Компания использует индивидуальный подход к каждому заказчику, содействует в разработке оптимального типа бумажного мешка, изучает фасовки клиента специалистами производственного отдела для оперативного реагирования его потребности.

Рынок глобальной упаковки бумажных мешков является высоко конкурентным из-за наличия на рынке многих крупных и малых поставщиков. После детального анализа последних событий, становится ясно, что стратегиями, использованными ключевыми игроками, является запуск продукта, соглашение и партнерство, приобретение и расширение. Стратегический союз между ключевыми игроками усиливает схему роста и расширения в течение прогнозного периода. Ориентируясь на продукте и сбыте, компании инвестируют в инновации / исследования и разработки, создание брендов и развивают прочные отношения с клиентами для аутентификации своих позиций на рынке.

## ВЫСОКОПРОЧНАЯ ФТОРАНГИДРИТОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ

*Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Тулегенова А.В.,*

*Гордина А.Ф., Баженов К.А.*

*Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашникова*

**Аннотация.** Исследованы свойства на основе отхода производства плавиковой кислоты – фторангидрита. Для активации фторангидрита в состав композиции вводился фосфат натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  в количестве 3% от массы. Проведенные инфракрасная спектроскопия и рентгенофазовый анализ показали изменения в составе затвердевшего композита, а при изучении микроструктуры было выявлено формирование более плотной матрицы с повышенной прочностью. Разработанная композиция может служить дешевым заменителем строительного гипса благодаря низкой себестоимости сырья, а также способствовать улучшению экологической обстановки в местах отвалов фторангидрита.

**Ключевые слова.** Фторангидрит, активатор, фосфат натрия, фосфат кальция, двухводный гипс.

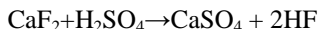
Одной из главных проблем строительного материаловедения является утилизация отходов химической промышленности при производстве строительных материалов. Благодаря переработке вторичного сырья удастся снизить вред, причиняемый природе в местах отвалов сырья, а также существенно сократить расходы на производство новых строительных материалов [1,2].

Ангидритовые растворы и бетоны наряду с гипсовыми характеризуются рядом положительных свойств, включая прочность, короткие сроки схватывания, возможность регулирования влажности помещений за счет пористой структуры композита, экологичность [3]. Исходя из химического и минералогического состава, при массовом производстве материалов на основе ангидритовых вяжущих вместо природного или термически обработанного ангидрита становится наиболее экономически эффективным использование фторангидрита [4,5].

Применение ангидритовых составов, начало схватывания которых без введения химических добавок наступает через 8-10 часов, при производстве изделий ограничивается, в том числе низкой скоростью схватывания и твердения. Поэтому возможность получения композиции на основе фторангидрита – отхода производства плавиковой кислоты, требует решения задачи по ускорению его процессов структурообразования [6,7].



При производстве плавиковой кислоты из 1 т плавикового шпата (CaF<sub>2</sub>) и 1,25 т серной кислоты получается 0,5 т плавиковой кислоты и 1,7 т тонкодисперсного сухого ангидрита.



Ежегодно в мире производится по такому способу 2-3 млн. т ангидрита, который используется лишь частично[1]. Поэтому разработки и внедрение технологий ангидритовых вяжущих техногенного происхождения и материалов на их основе представляются актуальными.

Для улучшения физико-технических свойств ангидритовых материалов широко применяют активаторы твердения[8,9], принцип действия которых заключается в ускорении растворения фторангидрита после его затворения водой, что в свою очередь приводит к форсированию гидратации и твердения вяжущего[10,11]. В основном для активации процессов структурообразования вяжущего используются различные активаторы твердения, классифицируемые по способу активации на сульфатные, щелочные и комбинированные активаторы[12,13]. С помощью щелочных активаторов обеспечивается постоянство объема материала, в результате чего удается снизить расход материала, а также повысить скорость схватывания, прочность и долговечность изделия[14]. Среди редко используемых активаторов фторангидрита известен фосфат натрия Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

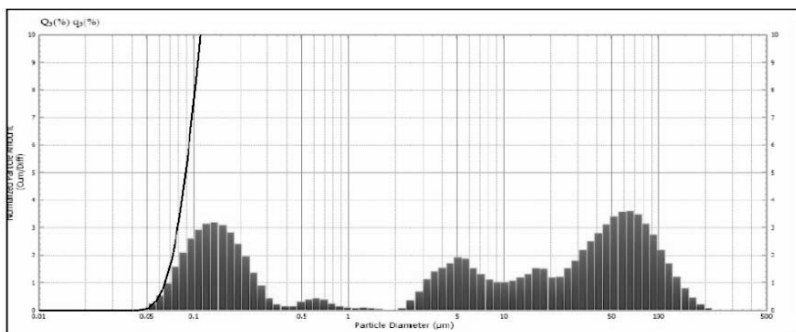
Для исследования вяжущих свойств использовали порошкообразный фторангидрит компании «ГалоПолимер», соответствующий ТУ 5744-132-05807960-98. С целью повышения активности техногенного материала, его подвергали домолу в дисковом истирателе ИД-200. Гранулометрический состав фторангидрита после измельчения представлен в таблице 1.

*Таблица 1*

### Гранулометрический состав

Процентное соотношение D(μm)	10,0%	20,0%	30,0%	40,0%	50,0%	60,0%	70,0%	80,0%	90,0%
Размер частиц	0,109	0,160	0,289	4,638	10,523	25,599	43,031	61,212	86,477

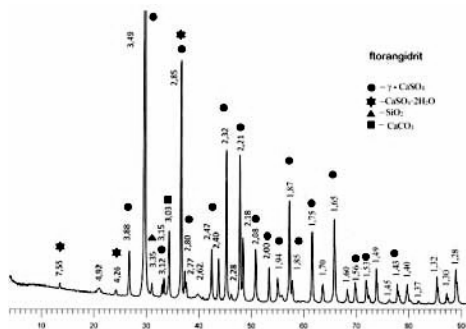
Проведенный дисперсионный анализ молотого фторангидрита показал, что средний диаметр частиц составляет 10,5 мкм (рис.1). Необходимо отметить наличие в составе фторангидрита нанодисперсной составляющей со средним размером частиц 140 нм.



**Рис. 1.** Дисперсионный анализ молотого фторангидрита

Химический состав фторангидрита, %: CaO-35,0-36,5; SO<sub>3</sub>-не менее 45; CaF<sub>2</sub>-2,2-5; SiO<sub>2</sub>-2,6-3,4; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,5-0,7; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-0,2-0,95 [16].

Рентгенофазовый анализ фторангидрита показал, что в составе фторангидрита преобладает растворимый сульфат кальция  $\gamma$ -CaSO<sub>4</sub> (рис. 2).



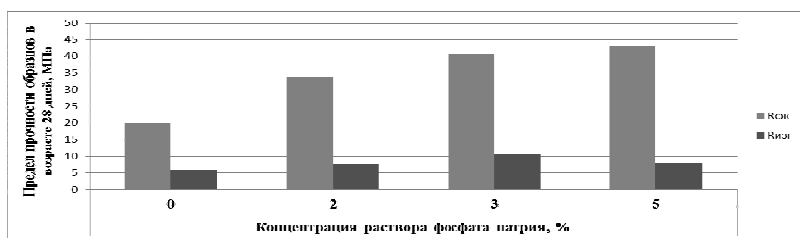
**Рис. 2.** Дифрактограмма фторангидрита

На рентгенограмме фторангидрита наблюдаются отражения соответствующие растворимому ангидриту  $\gamma$  - CaSO<sub>4</sub> ( $d_{\alpha}$ =3,50; 2,85; 2,33; 2,21; 1,87 Å), присутствуют слабые отражения двуводного гипса CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O ( $d_{\alpha}$ =7,55; 4,26; 2,85Å), оксида кремния SiO<sub>2</sub> ( $d_{\alpha}$ =3,35Å), кальцита CaCO<sub>3</sub> ( $d_{\alpha}$ =3,03Å).

Механические показатели материалов на основе твердеющего фторангидрита обусловлены рядом физико-химических процессов, происходящих при гидратации безводного сульфата кальция. Испытания контрольного образца, затворенного водой без активаторов, были проведены на прессе серии ПГМ-100МГ4 в соответствии с ГОСТ 8462-85 и ГОСТ 23789-79. Исследования вяжущих свойств фторангидрита показали, что при

затворении его водой обеспечивается прочность на сжатие до 20 МПа в возрасте 28 суток.

Для ускорения процессов структурообразования и повышения физико-механических характеристик техногенного продукта в составе использовался активатор твердения – фосфат натрия. Предварительная оптимизация составов по прочности на основе фторангидрита при варьировании содержания водного раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  от 2% до 5% показала, что оптимальная концентрация составляет 3%. Превышение этой концентрации приводит к высолообразованию на поверхности затвердевшего материала, но в то же время прочность его нарастает. При оптимальном сочетании компонентов фторангидритовой композиции достигается повышение предела прочности на сжатие и изгиб до 40 и 10 МПа, соответственно (рис. 3). Испытания по определению прочности активированной композиции на фторангидрите были проведены с помощью приборов СИ-2-500-УХЛ4.2 и ИП-500 в соответствии с ГОСТ 8462-85 и ГОСТ 23789-79.



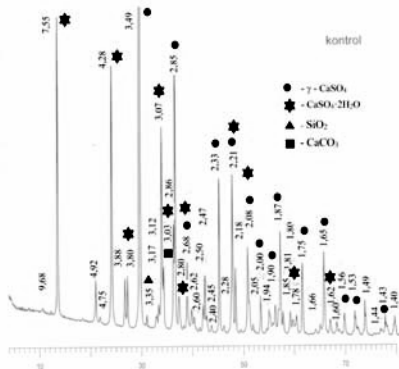
*Рис. 3. Зависимость предела прочности образцов от концентрации активатора*

При определении сроков схватывания контрольного и модифицированного составов в соответствии с ГОСТ 23789-79 установлено, что конец схватывания контрольного образца соответствует 23 часам. Опытные образцы с активатором на основе фосфата натрия затвердевают через 4 часа.

Таким образом, введение в состав фторангидрита фосфата натрия обеспечивает повышение прочности вяжущей матрицы в 2 раза. Для подтверждения механизма влияния фосфата натрия и исследования структуры активированного композита использовались современные методы физико-химического анализа, включая рентгенофазовый, ИК-спектральный и микроструктурный анализы.

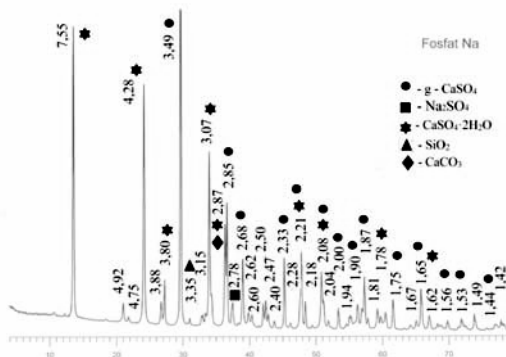
Рентгенофазовый анализ был проведен на дифрактометре общего назначения ДРОН-3 в режиме фокусировки Брегга-Брентано в монохроматизированном графитовым кристаллом-монохроматором  $\text{Co}_{\text{K}\alpha}$ -излучении. РФА фторангидрита (рис. 4), затворенного водой без активатора,

показал, что в составе продуктов гидратации превалирует двухводный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , но присутствует значительное количество негидратированного  $\text{CaSO}_4$ .

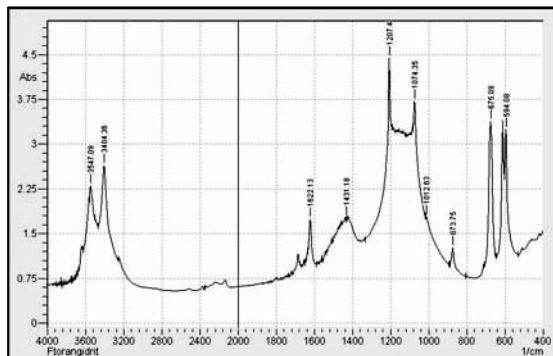


*Рис. 4. Рентгенофазовый анализ контрольного состава в возрасте 7 суток*

На рентгенограмме (рис. 5) активированной фторангидритовой композиции было установлено значительное увеличение содержания двухводного гипса (рост интенсивности линий его отражения) в сравнении с контрольным образцом. Также присутствуют в незначительном количестве оксид кремния, карбонат кальция, имеются следы сульфата натрия, который также способствует активации фторангидрита [19].



*Рис. 5. Рентгенофазовый анализ затвердевшего фторангидрита, активированного 3-% раствором фосфата натрия*



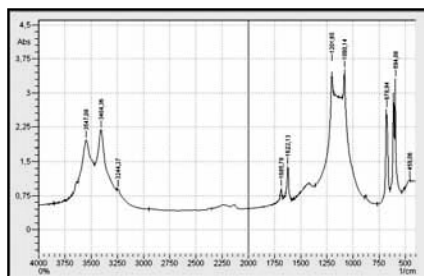
**Рис. 6.** ИК-спектральный анализ негидратированного фторангидрита

ИК-спектроскопия фторангидрита, проведенная на ИК-Фурье спектрометре IRAffinity-1 в области частот  $4000\div 400\text{ см}^{-1}$  и представленная на рисунке 6, показала наличие полос поглощения с волновыми числами, обуславливающими присутствие соответствующих группировок:

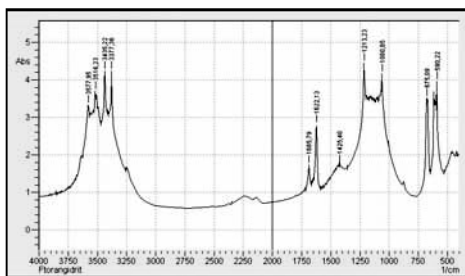
- колебания в интервале частот  $3400\text{-}3600\text{ см}^{-1}$ , связаны с симметричными и ассиметричными валентными колебаниями ОН групп;
- две полосы поглощения в интервале  $1600\text{-}1700\text{ см}^{-1}$ , вызваны деформационными колебаниями молекул воды;
- в интервале  $1130\text{-}1080$ ,  $610\text{-}680\text{ см}^{-1}$  отражено колебание группировки  $\text{SO}_4^{2-}$ ;
- полоса поглощения в области  $1200\text{ см}^{-1}$  отражает наличие группировки  $\text{-Si-O-Si-}$ ;
- полосы поглощения в интервале  $1420\text{-}1430$  и  $873,75\text{ см}^{-1}$ , обусловлены наличием группировки  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Также были проведены ИК-спектроскопия контрольного состава (рис. 7) и состава с 3% содержанием активатора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (рис. 8).

Анализ результатов инфракрасной спектроскопии подтвердил наличие в составе затвердевших композиций соединений, установленных при рентгенофазовом анализе.



**а)**



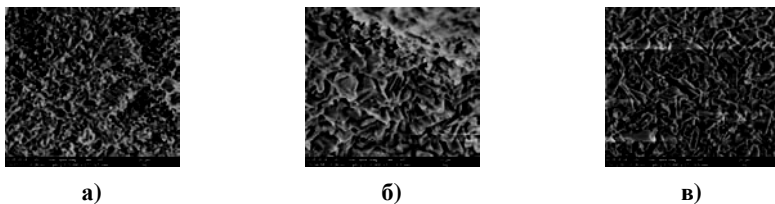
**б)**

**Рис. 7.** ИК-спектральный анализ образцов гидратированного фторангидрита: а) без активатора; б) при введении 3% водного раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

В то же время анализ ИК-спектров образцов при введении фосфата натрия в состав фторангидрита (рис. 7б) показал сдвиги частот и образование новых линий, соответствующих колебаниям  $\text{OH}^-$  групп. Отмечены сдвиги частот, соответствующих аниону  $\text{SO}_4^{2-}$ , которые объясняются тем, что добавка принимает непосредственное участие в формировании кристаллогидратов в структуре образующегося гипсового камня.

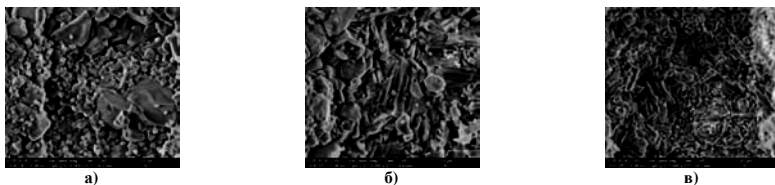
Таким образом, на основании проведенных спектральных исследований можно сделать вывод, что при активации твердения фторангидрита фосфатом натрия создаются благоприятные условия для гидратации и твердения двуводного сульфата кальция, что подтверждают результаты рентгенофазового и ИК-спектрального анализов.

Изучение микроструктуры материала на растровом электронном микроскопе INSPECTS50 фирмы "FEICOMPANY" показало, что структура затвердевшей ангидритовой композиции (рис. 8), характеризуется частицами фторангидрита, образующими рыхлую структуру, состоящую из кристаллов, имеющих слабые связи друг с другом.



**Рис. 8.** Микроструктура контрольного образца:

*а) – структура негидратированного фторангидрита при 5000-кратном увеличении; б) - структура на границах негидратированного фторангидрита и новообразований на основе двуводного гипса при 10000-кратном увеличении; в) – структура кристаллов новообразований на основе двуводного гипса на поверхности поры при 5000-кратном увеличении*



**Рис. 9.** Микроструктура образца с активатором:

*а) – структура негидратированного фторангидрита при 10000-кратном увеличении; б) - структура на границе негидратированного фторангидрита и новообразований на основе двуводного гипса при 10000-кратном увеличении; в) - структура новообразований на основе двуводного гипса на поверхности поры при 5000-кратном увеличении*

При введении активатора в состав фторангидрита формируется плотная структура (рис. 9), характеризующаяся увеличенной площадью контактов между кристаллогидратами сульфата кальция, покрытыми по поверхности аморфной массой, которая дополнительно связывает новообразования. Таким образом, морфология разработанного ангидритового материала в сравнении с контрольным составом имеет более плотную упаковку продуктов гидратации, что и обеспечивает рост прочности активированного фторангидрита.

Таблица 2

**Результаты испытаний на водостойкость**

Наименование состава	Водопоглощение, W	Коэффициент размягчения, $K_p$
Контрольный	10,37%	0,51
Активированный	5,62%	0,71

Анализ затвердевшего фторангидрита при выдержке его в воде в течении 24 часов показал (табл. 2), что коэффициент размягчения составил  $K_p=0,71$ , что выше этого показателя у двуводного гипса  $K_p=0,4$ .

Таким образом, введение активатора твердения в виде 3% водного раствора фосфата натрия обеспечивает наряду с ускорением процессов структурообразования, формирование более плотной структуры матрицы, что, в конечном итоге, позволяет получить высокопрочный материал на основе фторангидрита, характеризующийся также сокращенными сроками схватывания в сравнении с традиционными ангидритовыми вяжущими.

Приведенные ниже показатели физико-технических свойств разработанной композиции на основе сульфата кальция позволяют предположить, что она может быть заменителем строительного гипса, а учитывая низкую отпускную стоимость фторангидрита, позволяют говорить о значительной экономической эффективности при ее использовании и снижении экологической нагрузки в местах отвалов фторангидрита.

Физико-механические свойства активированной композиции на основе фторангидрита:

- время схватывания: начало – 2 ч, конец – 4 ч;
- прочность при сжатии в возрасте 28 дней – 40 МПа;
- прочность при изгибе в возрасте 28 дней – 10 МПа.
- коэффициент размягчения  $K_p=0,51$

Разработанная композиция на основе активированного фторангидрита может быть использована при производстве архитектурных и отделочных изделий методом литья в формы, как дешевый и высокопрочный заменитель гипсового вяжущего.

## Заключение

Проведенный комплекс исследований структуры, состава и свойств высокопрочной фторангидритовой композиции позволил установить влияние фосфата натрия на процессы структурообразования и обосновать увеличение физико-механических характеристик. Применение для затворения техногенного вяжущего раствора фосфата натрия интенсифицирует процессы гидратации фторангидрита, что подтверждено сокращением сроков схватывания, формированием более плотного и прочного материала. Поэтому в сравнении с традиционными гипсовыми и ангидритовыми материалами, разработанная композиция может заменять традиционные гипсовые вяжущие.

## Литература

1. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция: монография // под общей редакцией А.Ф. Бурьянова.-Москва: Изд-во Де Нова, 2012.- 196 с.

2. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства) / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников – М.: Стройиздат 1979 – 477 с.

3. Nowak, S.; Wutz, K.; Prosiegel, K.; Fischer, H.-B. 2006. Zum Einsatz von Melaminharzen in Calciumsulfat – Fließestrichen, In 16. Internationale Baustofftagung «Ibausil», 20-22 September 2006, Weimar, Germany. Band 1: 857–866.

4. Vlad, D.; Zouaoui, N.; Kambia, M.; Plank, J. 2006. Zur Wechselwirkung von Polycarboxylat – Fließmitteln mit sulfatichangeregtem REA-Anhydrit, In 16. Internationale Baustofftagung «Ibausil», 20-22 September 2006, Weimar, Germany. Band 1: 759–766.

5. Jakowlew, G.; Keriene, J. 2000. Fluoranhydritverbundwerkstoff fuer den Fliessestrich, In: 14 Internationale Baustofftagung “Ibausil”, 20-23 September 2000, Weimar, Germany. Band 2: 871-879.

6. Лушникова Е.С., Рузина Н.С., Гордина А.Ф., Полянских И.С. Композиционные материалы на основе сульфатсодержащих отходов производства // Материалы II Брянского международного инновационного форума «СТРОИТЕЛЬСТВО-2016» (Брянск, 1 декабря 2016 г.) Т.1 – Брянск, 2016. – 75-78 с.

7. Plechanova, T.A.; Keriene, J.; Gailius, A.; Yakovlev, G.I. 2007. Structural, physical and mechanical properties of modified wood-magnesia composite. *Construction and Building Materials* Vol. 21, Is. 9: 1833-1838.

8. Wtorov B.; Fischer H.-B.; Stark J. Zur Anregung von Naturanhydrit. Weimar, 2000. - 14. ibausil, Tagungsband 1. - S. 1069-1082.

9. Grimme H. In Mitteldeutschlandentwickelte Anhydritbinderarten. Zement-Kalk-Gips. 1962. Nr. 7.



10. Ottemann, J. 1951. Über Ergebnisse und Probleme der Anhydritforschung. *Silikat-technik*. Bd.2, 1: 5–9.
11. Altmann, H.-D. 1993. Anhydritbaustoffe. Fließestriche aus Calciumsulfat-Bindemitteln. *Estrich-Technik* 12.
12. Фишер Х.-Б.; Второв Б. Влияние активаторов твердения на свойства природного ангидрита. - II Международное совещание по химии и технологии цемента. Том 2. - г. Москва, РХТУ им. Менделеева, 2000, с.53-61.
13. Второв Б.; Фишер Х.-Б. Подбор и оптимизация состава ангидритового вяжущего. - Моделирование и оптимизация в материаловедении: Материалы к 40-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов. - Одесса, 2001, с 66-67.
14. Elhajjoui A., Murat M.: Zusammenhang zwischen Porengefüge und Festigkeit abgebundener Gipspasten. Einfluß chemischer Zusätze. *ZKG INTERNATIONAL* 42 (1989) Nr. 8, S. 419-424.
15. ТУ 5744-132-05807960-98. Нейтрализованный отход производства фтористого водорода (фторангидрит). Технические условия.
16. Сертификат качества № 921/2/124398. Фторангидрит. Компания «ГалоПолимер», Россия, г. Пермь
17. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
18. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
19. Будников, П.П. Ангидритовый цемент / П.П. Будников, П.С. Зорин. – М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам 1954. – 92 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абраменко А.А.</i> РАЗРАБОТКА БЕЗОБЖИГОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФОГИПСА С УЧЕТОМ РАННЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА.....	7
<i>Абраменко А.А., Гагулаев А.В.</i> ЗВУКО-ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩАЯ СТЯЖКА.....	18
<i>Арасланкин С.В., Кострюков С.Г., Томилин О.Б.</i> КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛУГИДРАТА СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ СМЕШАННЫХ ЭФИРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ.....	20
<i>Асаматдинов М.О., Тер-Закарян К.А., Жуков А.Д.</i> ГЛИНОГИПСОВАЯ ШТУКАТУРКА В СИСТЕМАХ ИНТЕРЬЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ.....	29
<i>Булатов Б.Г., Недосеко И.В.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО МЕЛКОШТУЧНЫХ ГИПСОВЫХ СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	35
<i>Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Фишер Х.-Б.</i> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО (ИСКУССТВЕННОГО) АНГИДРИТА В КАЧЕСТВЕ ВЯЖУЩЕГО В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	38
<i>Гаркави М.С., Бурьянов А.Ф., Фишер Х.-Б., Колкотаева Н.А.</i> ВОПРОСЫ ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	43
<i>Глухов Г.В.</i> КОМПАНИЯ LANTI PRECISION КАК ПОСТАВЩИК ЗАВОДОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ГИПСОВОЙ ОСНОВЕ.....	48
<i>Головин В.О., Сучков В.П.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШЛАМОВ ПРОИЗВОДСТВА ПВХ. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИХ ПРИМЕНЕНИЕМ.....	54

<i>Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Губская А.Г.</i> ЗАЩИТА ОТ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ ГИПСОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ.....	59
<i>Губская А.Г., Лобачевский В.И.</i> ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ НА ОСНОВЕ ФОСФОПОЛУГИДРАТА ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД» НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА.....	64
<i>Долгорев А.В., Иващенко В.Д.</i> ГИПСОКЕРАМЗИТОВЫЕ НАЛИВНЫЕ ПОЛЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРОБЛЕННОГО КЕРАМЗИТА.....	69
<i>Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В.</i> АТМОСФЕРОСТОЙКОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ.....	74
<i>Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В.</i> КОМПОЗИЦИОННЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ПОВЫШЕННОЙ ВОДОСТОЙКОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ.....	80
<i>Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловская В.Б.</i> ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ.....	86
<i>Козлов А.Ю.</i> ТЕКУЩАЯ СТРУКТУРА И ТЕНДЕНЦИИ НА РЫНКЕ ИНДУСТРИАЛЬНОГО БУМАЖНОГО МЕШКА.....	92
<i>Комаров М.А., Кузьменков М.И., Короб Н.Г., Кузьменков Д.М.</i> ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГИПСА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ И ПЕРЕРАБОТКА ЕГО НА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ.....	96
<i>Круглов С.Ю., Медведева Т.В., Баркая А.Т.</i> ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СТЕРЖНЕВОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ АНКЕРНОГО УСТРОЙСТВА.....	102

*Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю.*

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ГИПСОБЕТОННОГО ЖИЛОГО ДОМА.....109

*Межов О.Б.*

ПРЕДРАССУДКИ И СФОРМИРОВАННЫЕ ИМИ ТЕНДЕНЦИИ,  
СНИЖАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТЕЧЕСТВЕННОГО  
РЫНКА ШТУКАТУРНЫХ РАБОТ И ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ  
ЕГО РАЗВИТИЮ.....113

*Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В.*

СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА ПО ГЛУБОКОЙ  
ПЕРЕРАБОТКЕ ФОСФОГИПСА И ФОСФОПОЛУГИДРАТА С  
ИЗВЛЕЧЕНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И  
ПРОИЗВОДСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....120

*Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В.*

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА  
ХИБИНСКОГО АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА.....124

*Новиченкова Т.Б., Данякин В. А., Петропавловская В.Б.*

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БЕЗОБЖИГОВЫЕ КОМПОЗИТЫ  
НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.....128

*Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б.,*

*Бурьянов А.Ф., Петропавловский К.С., Кондрашов А. К.*

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ГИПСОВОЙ МАТРИЦЫ  
ОТ СОДЕРЖАНИЯ ДОБАВКИ СЕРНОКИСЛОГО АЛЮМИНИЯ.....133

*Петропавловская В.Б., Новиченков Г.В., Чубисов И.Е.*

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ БАЗАЛЬТОВОГО  
ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.....138

*Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Перевозчикова С. В.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ КИРПИЧНОГО  
БОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....143

*Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Завадько М.Ю.*

О ПРИМЕНЕНИИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ  
В КАЧЕСТВЕ ПРОЦЕССА, ПОВЫШАЮЩЕГО ПРОЧНОСТЬ  
ГИПСОВЫХ КОМПОЗИТОВ.....148

<i>Петропавловский К.С.</i> К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕНОНАПОЛНИТЕЛЕЙ В САМОАРМИРОВАННЫХ ГИПСОВЫХ КОМПОЗИТАХ.....	154
<i>Сучков В.П., Веселов А.В.</i> МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСА.....	164
<i>Сычугов С.В., Плеханова Т.А.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИКИ НА СВОЙСТВА АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО.....	174
<i>Токарев Ю.В., Иванов А.А., Гордина А.Ф., Полянских И.С., Бурьянов А.Ф.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО АНГИДРИТА.....	183
<i>Трифонова И.И.</i> НУЖНЫ ПРОЧНЫЕ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ЛЮБОЙ РАБОТЫ, ТЕМ БОЛЕЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	189
<i>Фридманн Л.</i> НОВЫЙ ЗАВОД БЕЛГИПС И ТЕХНОЛОГИИ CLAUDIUS PETERS ДЛЯ ГИПСОВЫХ ЗАВОДОВ.....	195
<i>Халиуллин М.И., Загидуллина Д.А.</i> БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ БЕСКЛИНКЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ.....	204
<i>Халиуллин М.И., Марданова А.Э.</i> КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ПУЦЦОЛАНОВОЙ ДОБАВКОЙ ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГЛИНЫ САРАЙ-ЧЕКУРЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	208
<i>Халиуллин М.И., Файзрахманов И.И.</i> ВЛИЯНИЕ КАРБОНАТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО С ПУЦЦОЛАНОВЫМ КОМПОНЕНТОМ – ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГЛИНОЙ.....	213

<i>Худеньких К.О.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГИПСА СОКОЛИНО-САРКАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЕГО СНИЖЕНИЕ.....	218
<i>Церр В.</i> РЕШЕНИЯ GEBR. PFEIFFER ПО ПОМОЛУ И КАЛЬЦИНАЦИИ ГИПСА.....	226
<i>Шамис Е.Е., Присяжнюк М.И., Иванов В.Д.</i> АКТИВАЦИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ (ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА).....	229
<i>Шигапов Р.И., Ивлев М.А., Пудовкин А.Н., Недосеко И.В.</i> СТРОИТЕЛЬСТВО МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ПЕНОГИПСА И ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	240
Шлёнкина С.С., Гарафиев А.А. РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ. И ИЗДЕЛИЙ.....	245
Шутак И.Д. БУМАЖНЫЙ МЕШОК МОЖЕТ БЫТЬ БЕЗУПРЕЧНЫМ.....	254
Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Тулегенова А.В., Гордина А.Ф., Баженов К.А. ВЫСОКОПРОЧНАЯ ФТОРАНГИДРИТОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ.....	260
СОДЕРЖАНИЕ.....	270