

УДК 691.215.1:691.5

**Д.М. Кузьменков, В.С. Францкевич, Е.А. Яценко**

**ФОСФОГИПС – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОЙ СВЯЗКИ  
ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В статье приведены результаты по влиянию основных технологических параметров на формирование вещественного состава полиминерального гипсового вяжущего из фосфогипса. Основными технологическими параметрами, влияющими на физико-механические свойства целевого продукта, являются концентрационные параметры фосфогипса, серной кислоты и карбоната кальция. Отмечено, что наряду с разработкой нового композиционного материала решается важная экологическая проблема утилизации техногенного отхода.

**Ключевые слова:** фосфогипс, мел, апатитовый концентрат, полиминеральное гипсовое вяжущее, серная кислота, эксергия, химическая дегидратация.

**D.M. Kuzmenkov, V.S. Frantskevich, E.A. Yatsenko**

**PHOSPHOGYPSUM IS A PROMISING RAW MATERIAL  
FOR THE PRODUCTION OF POLYMINERAL LIGAMENTS  
FOR COMPOSITE MATERIALS**

The article presents the results on the influence of the main technological parameters on the formation of the material composition of a polymineral gypsum binder from phosphogypsum. The main technological parameters affecting the physical and mechanical properties of the target product are the concentration parameters of phosphogypsum, sulfuric acid and calcium carbonate. It is noted that along with the development of a new composite material, an important environmental problem of man-made waste disposal is being solved.

**Keywords:** phosphogypsum, chalk, apatite concentrate, polymineral gypsum binder, sulfuric acid, exergy, chemical dehydration.

Одной из важнейших проблем, стоящих в области материаловедения является изыскание новых видов связующих, являющихся основным компонентом в составе композиционных материалов. Значительную долю среди связующих составляют минеральные вяжущие, которые входят в состав композиционных материалов не только строительного, но и технического назначения.

Важнейшим видом минеральных вяжущих, используемых для вышеуказанных целей, являются гипсовые вяжущие, использование которых в технике и строительстве известно более 5000 лет. Столь высокое долгожительство обусловлено комплексом уникальных свойств, присущих гипсовым вяжущим: малая энергоёмкость их производства, быстрый темп набора прочности, и в ряде случаев, высокие прочностные свойства.

Традиционно сырьем для их производства использовался и продолжает применяться природный гипсовый камень, который помимо основного вещества – двуводного сульфата кальция, содержит, как правило, различный набор минеральных примесей – карбоната кальция, глинистых минералов, сульфидов, а также соединений редкоземельных элементов. Благодаря достаточно широкому распространению в природе гипсового камня, гипсовые вяжущие по-прежнему в общем балансе минеральных вяжущих занимают несколько десятков процентов.

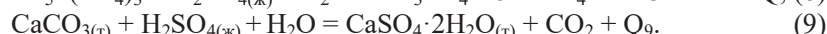
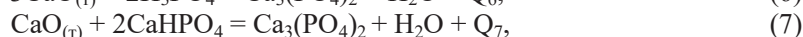
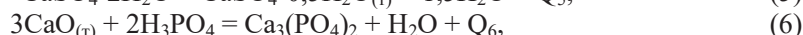
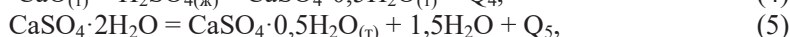
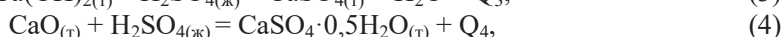
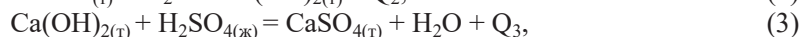
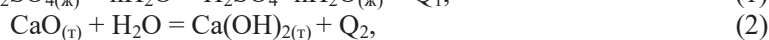
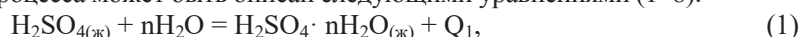
Отсутствие в Республике Беларусь разведанных запасов природного гипса не позволяет гипсовым вяжущим занять достойное место в спектре строительных материалов. Исходя из этого, перспективным и целесообразным является вовлечение в качестве сырья больших запасов фосфогипса, являющегося отходом при производстве экстракционной фосфорной кислоты из апатитового концентрата [1, 2]. Накопившийся в отвалах ОАО «Гомельский химический завод» фосфогипс в количестве около 30 млн т продолжает пополняться новыми порциями.

Многотоннажных технологий переработки отвального фосфогипса по-прежнему нет, и это становится серьезной проблемой экологического характера. Она не решена не только в Гомельском регионе, но и во всех аналогичных местах бывшего СССР. Тем не менее во всем мире не прекращаются исследовательские работы, направленные на решение данной проблемы. Сложность ее обусловлена влиянием вышеуказанных примесей, присутствующих в фосфогипсе хотя и в небольшом количестве, но оказывающих очень большое влияние на эксплуатационные свойства гипсового вяжущего, получаемого из него.

Выполненные на базе Белорусского государственного технологического университета поисково-исследовательские работы по переработке фосфогипса на гипсовые вяжущие откры-

вают возможность не только расширить спектр гипсовых вяжущих, но и решить важную экологическую задачу.

Были проведены системные исследования по получению полиминеральной связки на основе фосфогипса. Метод основан на использовании эксергии, заключенной в концентрированной серной кислоте, являющейся сильным водоотнимающим агентом. Химизм процесса может быть описан следующими уравнениями (1–8):



Установлено, что основными технологическими параметрами, влияющими на физико-механические свойства целевого продукта, являются концентрационные параметры фосфогипса, серной кислоты и карбоната кальция, входящих в состав сырьевой смеси (таблица). Определены их оптимальные соотношения в составе смеси в соотношении фосфогипс : серная кислота : мел равным 1 : 0,5 : 0,7.

Зависимость прочности полиминеральной связки от количества серной кислоты и нейтрализующего агента

| Вид нейтрализующего агента | Соотношение фосфогипс – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> нейтрализующий агент | Прочность на сжатие полиминеральной связки (МПа), в возрасте |       |       |       |        |
|----------------------------|--|--|-------|-------|-------|--------|
|                            |  | 2 ч  | 1 сут | 3 сут | 7 сут | 28 сут |
| Мел                        | 1 : 1 : 1,2  | 1,3  | 4,5   | 9,1   | 11,2  | 13,5   |
|                            | 1 : 0,7 : 0,9  | 1,4  | 4,6   | 10,1  | 12,4  | 14,2   |
|                            | 1 : 0,6 : 0,8  | 1,6  | 5,1   | 10,3  | 12,2  | 14,7   |
|                            | 1 : 0,5 : 0,7  | 1,8  | 5,6   | 11,4  | 13,1  | 15,5   |
|                            | 1 : 0,4 : 0,6  | 1,4  | 6,1   | 8,7   | 9,2   | 11,6   |

## Окончание таблицы

| Вид нейтрализующего агента | Соотношение фосфогипс – $H_2SO_4^-$ нейтрализующий агент | Прочность на сжатие полиминеральной связки (МПа), в возрасте |       |       |       |        |
|----------------------------|--|--|-------|-------|-------|--------|
|                            |  | 2 ч  | 1 сут | 3 сут | 7 сут | 28 сут |
| Известь                    | 1 : 1 : 0,8  | 0,3  | 0,5   | 2,5   | 2,6   | 2,7    |
|                            | 1 : 0,7 : 0,5  | 0,4  | 0,6   | 2,5   | 3,0   | 3,8    |
|                            | 1 : 0,6 : 0,4  | 0,5  | 0,7   | 3,4   | 3,5   | 4,5    |
|                            | 1 : 0,5 : 0,3  | 0,7  | 0,9   | 4,6   | 4,9   | 5,2    |
|                            | 1 : 0,4 : 0,2  | 0,5  | 0,8   | 3,2   | 3,4   | 3,9    |

Исследована кинетика взаимодействия компонентов в сырьевой смеси, обеспечивающая формирование следующего вещественного состава целевого продукта: 29–40 %  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , 19–26 %  $\beta$ - $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ , 30–32 %  $CaSO_4$ , 7–17 %  $CaCO_3$ . Показано, что набор прочности и твердения вяжущей композиции протекает по реакциям, приводящим к образованию дигидрата сульфата кальция.

Наличие в полиминеральной связке дигидрата сульфата кальция связано с переходом в целевой продукт реликтового гипса и вторичного гипса, образующегося на стадии нейтрализации остаточной серной кислоты мелом.

Получение новых экспериментальных данных по синтезу полиминеральной гипсовой связки, пригодной для создания на ее основе композиционных материалов содержит научную новизну. Сочетание термогравиметрического и рентгенофазового методов анализа позволяет количественно оценивать вещественный состав полиминеральной связки [3].

Практическая значимость: высокие физико-механические свойства (до 15 МПа) полиминеральной гипсовой связки дают основание рекомендовать ее для использования в составе композиционных материалов как технического, так и строительного назначения.

### Список литературы

1. Локшин Э.П., Тареева О.А., Елизарова И.Р. О комплексной переработке фосфогипса // Журнал прикладной химии. – 2013. – Т. 86, № 4. – С. 497–502.
2. Голова Т.А., Давтян А.Р. Исследование фосфогипса как эффективного вяжущего для строительных композитов // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: сб. статей победителей VIII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч., Пенза, 30 марта 2017 г. Ч. 1. – Пенза: Наука и Просвещение 2017. – С. 63–65.
3. Некрасова Г.Н., Кузьменков Д.М. Исследование термохимических превращений доломита месторождения «Руба» // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – Минск: БГТУ, 2018. – № 2 (211). – С. 10–15.

### Об авторах

**Кузьменков Дмитрий Михайлович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: 310\_chtvm@mail.ru

**Францкевич Виталий Станиславович** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических и силикатных производств», доцент, Белорусский государственный технологический университет, e-mail: fvs2@tut.by

**Яценко Елена Альфредовна** – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Общая химия и технология силикатов», профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, e-mail: e\_yatsenko@mail.ru