

Как видим, размер кристаллов составляет менее 5 нм, что свидетельствует об очень быстром процессе кристаллизации,  $Al_2(SO_4)_3$  и  $Fe_2(SO_4)_3$  кристаллизовались совместно.

Полученный модифицированный гипсовый камень оказывает положительное влияние на физико-механические свойства цемента, снижает высолообразование, а также снижает водопоглощение бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брыков, А.С. Гидратация портландцемента /А.С. Брыков. – Санкт-Петербург, 2008 – 32с.
2. Влияние комплексных добавок на морозостойкость портландцемента / И.В. Корчунов [и др.]. //Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. – 2016. – С. 50–52.
3. Исследование процесса нейтрализации некондиционного клинкера серной кислотой // А.Ф. Минаковский, А.А. Линкевич, М.В. Попова, Р.И. Ермакович, А.А. Ланец, В.В. Михневич. // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции «Кимё технология, кимё ва озик-овқат саноатидаги муаммолар ҳамда уларни бартараф этиш йўллари» мавзусидаги халқаро илмий-амалий анжуман. Наманганский инженерно-технологический институт 18–19 ноября 2022 г. Т 1 – Наманган : НамИТИ. – 2022. – С. 326–328.

УДК 666.923

М.И. Кузьменков, проф., д-р техн. наук;  
А.А. Сакович, доц., канд. техн. наук;  
Е.В. Лукаш, доц., канд. техн. наук;  
Н.М. Шалухо, доц., канд. техн. наук;  
Д.М. Кузьменков, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОГИПСА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА НА ЕГО ОСНОВЕ**

Проблема использования различных технологических отходов в качестве источников сырья и энергии на современном этапе развития науки и техники является одной из актуальных задач.

Одно из наиболее перспективных направлений утилизации промышленных отходов – это использование их в производстве строительных материалов, что позволяет до 40 % снизить расходы материальных ресурсов, используемых в их производстве.

В последнее время проблема крупномасштабного использования фосфогипса становится все более актуальной, что связано с рядом причин:

– хранение фосфогипса в отвалах связано с большими капитальными вложениями и эксплуатационными затратами;

– экологический аспект хранения фосфогипса, обусловленный тем, что при сухом его складировании без предварительной нейтрализации в газовую фазу выделяется в среднем 10 г фтора из 1 т фосфогипса. Примерно 10 % фтора вымывается атмосферными осадками.

Имеющийся отечественный и зарубежный опыт применения фосфогипса позволил выделить следующие основные направления его использования:

– применение фосфогипса в сельском хозяйстве в качестве источника серы наряду с азотом, фосфором и калием. Это направление обладало высокой привлекательностью, когда фосфорные удобрения производились в виде простого суперфосфата путем разложения апатитового концентрата серной кислотой с получением экстракционной фосфорной кислоты и фосфогипса [1];

– как регулятор сроков схватывания и твердения портландцемента (вместо природного гипсового камня) [2]. Такие исследования были выполнены на ЗАО «Балаковские минеральные удобрения» с получением окускованного нейтрализованного фосфогипса в виде дигидрата сульфата кальция, который в промышленных условиях прошел испытания на Ульяновском и Вольском цементных заводах. Испытания цементов на указанных заводах показали, что их качество соответствует требованиям действующих стандартов;

– для устройства оснований автомобильных дорог;

– как наполнитель в лакокрасочной промышленности и при производстве пластмасс;

– переработка фосфогипса с получением крупнотоннажных продуктов – серной кислоты, портландцементного клинкера, извести [3]. Наибольшую перспективу для крупномасштабного использования фосфогипса представляет его переработка с получением двух крупнотоннажных продуктов – серной кислоты и портландцементного клинкера. Однако в доступной литературе сведений относительно экономического обоснования целесообразности развития данного направления нет. По-видимому, экологический аспект является основным мотиватором к возобновлению данного направления.

Процесс термического разложения природного гипса и ангидрита с получением серной кислоты и цементного клинкера известен давно. Еще во время первой мировой войны в г. Леверкузене (Германия) работала небольшая промышленная установка по разложению сульфата кальция [4]. Процесс переработки фосфогипса в серную кислоту и цемент практически аналогичен процессу переработки в эти продукты

природного ангидрита, осуществленному впервые на заводе фирмы I. G. Farbenindustrie в г. Леверкузен в 1916 г., а затем на ряде других предприятий.

В связи с падением мировых цен на элементную серу в 70-е гг. были ликвидированы производства серной кислоты и цемента из природного ангидрита в Англии и небольшое производство во Франции. В настоящее время в мире производство серной кислоты из фосфогипса осуществляется в Австрии, ЮАР. Частично фосфогипс используют наряду с природным ангидритом в Польше.

Хотя процесс производства серной кислоты и цемента из фосфогипса, как указано ранее, аналогичен процессу переработки в эти продукты природного ангидрита, он имеет следующие существенные отличия:

- фосфогипс содержит помимо кристаллизационной до 30 % свободной влаги, поэтому требуется его предварительная сушка и кальцинация (до содержания не более 6 % общей влаги), что обуславливает большой расход топлива;

- содержание в фосфогипсе примесей – соединений фтора и фосфатов вызывает необходимость более тщательной его промывки и выполнения дополнительных мероприятий по удалению или их связыванию;

- фосфогипс из-за более высокой удельной поверхности быстрее движется по обжиговой печи и требует иного распределения в ней температур. По классической технологии на 1 т 100 %-й серной кислоты и 1 т портландцемента расходуется 2,05 т фосфогипса (в пересчете на сухой дигидрат) [5]. Указанная технология разработана в США фирмой «Деву Мак Ки» (DMC), Германии фирмой «Кнауф» и в Китае фирмой Shandong. Отмечается, что при совместном производстве серной кислоты и цемента или извести основными статьями, удорожающими производство, являются расход топлива и большие капитальные вложения в производство. Таким образом, разработка физико-химических основ технологического процесса получения цементного клинкера с использованием в качестве его основного компонента фосфогипса является привлекательным прежде всего с точки зрения ресурсосбережения. Традиционно в качестве сырьевого компонента, обеспечивающего образование CaO, участвующего в формировании клинкерных минералов, используется карбонат кальция (известняк, мел, мергель и др.). Однако теплотехнический анализ печных агрегатов, работающих на «классической» сырьевой смеси показывает, что примерно 96% теплоты, образующейся от сжигания топлива в печном агрегате, расходу-

ется на процесс декарбонизации карбоната кальция. В связи с этим, использование крупнотоннажных техногенных продуктов вместо «классического» сырья является перспективным с точки зрения ресурсосбережения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков, М.И. Перспективные направления использования фосфогипса в производстве минеральных вяжущих / М. И. Кузьменков [и др.] // Сотрудничество – катализатор инновационного роста: сб. материалов 4-го Белорусско-Прибалтийского форума. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 49–50.
2. Кузьменков, М.И. Современные направления переработки фосфогипса / М.И. Кузьменков, А.А. Сакович, Д.М. Кузьменков // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – Т. 4. – С. 203–207.
3. Иваницкий, В.В. Фосфогипс и его использование / В.В. Иваницкий, П.В. Классен, А.А. Новиков, С.Н. Стонис, С.Д. Эвенчик, М.Е. Яковлева. – М.: Химия, 1990. – 222 с.
4. Амелин, А.Г. Технология серной кислоты / А.Г. Амелин. – М.: Химия, 1983. – 360 с.
5. Ильин, А.П. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов / А.П. Ильин [и др.] // Экология и строительство – 2016. – № 4. – С. 21–29.

УДК 622.362.37(476)

Ю.Г. Павлюкевич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
С.П. Гречуха (ОАО «Гомельстекло», г. Гомель);  
Л.Ф. Папко, доц., канд. техн. наук;  
Е.Е. Трусова, доц., канд. техн. наук;  
А.П. Кравчук, доц., канд. техн. наук;  
Л.Н. Корнелюк, студ. (БГТУ, г. Минск)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Проблема обеспечения стекольной промышленности Республики Беларусь качественными сырьевыми материалами требует разработки новых месторождений кварцевых песков. К ним относятся месторождения «Лениндар» (Гомельская область) и «Городное» (Брестская область).

В связи с этим актуальным является комплексное исследование технологических свойств кварцевых песков новых месторождений. К