

УДК 502/504 : 691.1 : 691.5

МЕТОДЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЯЖУЩИХ

Поступила 17.04.2017 г.

© **Кочетков Сергей Павлович¹, Брыль Сергей Валерьевич¹, Смирнов Николай Николаевич², Рухлина Наталья Ивановна¹, Рухлин Георгий Владимирович¹**

¹ Коломенский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново, Россия

CONDITIONING TECHNIQUES TECHNOGENIC RAW MATERIALS USED FOR BINDERS

Received on April 17, 2017

© **Kochetkov Sergei Pavlovich¹, Bryl Sergei Valerevich¹, Smirnov Nikolai Nikolaevich², Rukhlina Natalia Ivanovna¹, Rukhlin Georgii Vladimirovich^{1,2}**

¹ Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia

² Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology», Ivanovo, Russia

Для производства вяжущих строительных материалов в РФ, а так же во всем мире, используется различное кальцийсодержащее природное сырье: карбонаты кальция, арагонит (CaCO_3); сульфаты-природный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4); оксиды и гидроксиды (глиноземсодержащие бокситы); фторфосфаты-апатиты и фосфориты ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). В статье рассматривается вопрос о необходимости кондиционирования фосфогипса для того, чтобы он был пригоден без ограничения для переработки на высококачественные гипсовые вяжущие.

Ключевые слова: фосфогипс, техногенное сырье, производство строительных материалов, вяжущие.

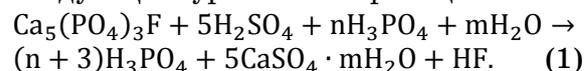
Введение. Сырье для производства вяжущих материалов. Для производства вяжущих строительных материалов в РФ, а так же во всем мире, используется различное кальцийсодержащее природное сырье: карбонаты кальция, арагонит (CaCO_3); сульфаты-природный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4); оксиды и гидроксиды (глиноземсодержащие бокситы); фторфосфаты-апатиты и фосфориты ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). Физические и химические свойства, распространенность и запасы в земной коре, а также химизм переработки указанных минералов, приведены в источниках [1, 2].

Среди указанных сырьевых компонентов, уникальным по запасам и добы-

For production of binding building materials in Russia and worldwide, used a variety of calcium-containing natural raw material: calcium carbonates, aragonite (CaCO_3); sulfates-gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4); oxides and hydroxides (bauxite glinozemservice); perforate-apatites and phosphates ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). The article discusses the need for air-conditioning of phosphogypsum to ensure that he was suitable without restrictions for processing into high-quality gypsum binders.

Keywords: phosphogypsum, industrial materials, construction materials, adhesives.

че, является апатит-нефелиновые руды Хибинского месторождения (апатит-источник P_2O_5 , CaO , F_2 , $\text{P}_3\text{Э}$). Наиболее перспективной, с эколого-экономической точки зрения, выглядит комплексная переработка природных фосфатов методом кислотного разложения. Первичная обработка апатитового концентрата серной кислотой в общем виде описывается следующим уравнением реакции:



Основным продуктом по этой реакции, является экстракционная фосфорная кислота (ЭФК), мировое производство которой в настоящее время оценивается в 180...190 млн т в год, при этом 80% полученной кислоты идет на

производство удобрений [3]. Вторичным продуктом, получаемым по реакции 1, является фосфогипс (ФГ, полугидрат (ПСК) или дигидрат (ДСК), которого в зависимости от соотношения в исходном апатите $\text{Ca}/\text{P}_2\text{O}_5$, на 1 т последнего получается от 4 до 6 т, а при мировом производстве ЭФК примерно 35...37 млн т/год образуется ~180 млн т [3, 4]. Это и есть техногенное сырье, которое преимущественно используется для производства гипсовых вяжущих: строительного гипса (штукатурки), ангидритового цемента, эстрих-гипса, гипсокартоновых изделий и др. [5]. Однако для переработки ФГ в указанные материалы существует большая проблема, вытекающая из химического состава апатита. Среди примесей (в структуре фосфатов и попутных), о влиянии которых на технологию было описано в сообщении [4], наиболее существенный вклад здесь вносит фтор, содержание которого достигает в апатите до 3,5% [3]. При кислотной переработке по реакции [1], большинство примесей переходят преимущественно в фосфогипс, ухудшая его качество. Наиболее негативное действие на переработку ФГ в вяжущие оказывают фтористые соединения и фосфорная кислота, которых в ПФГ и в ДФГ содержится соответственно 0,7...0,5% и 1,0...1,5% [6]. Наличие в фосфогипсе водорастворимых фосфор- и фторсодержащих примесей усложняет переработку его по сравнению с природным гипсовым камнем, вызывает необходимость промывки, нейтрализации и др. и обуславливает, соответственно, более высокие энергозатраты.

Объем, гипсосодержащих вторичных продуктов, приведенный в [3, 4], превышает объем добываемого для производства вяжущих гипсового камня, разведанные запасы которого в РФ оцениваются в 3316,1 млн т [1].

Образующийся при производстве ЭФК ФГ в свежем виде на 75% складировается в виде полугидрата, по крайней мере в РФ.

При обычной технологии гипсовые вяжущие, на основе ФГ – низкокачественны. Если водопотребность обычного строительного гипса составляет 50...70%, то для получения теста нормальной густоты из ФГ, без дополнительной обработки, эта величина составляет 120...130% [3].

Основной причиной ухудшения вяжущих свойств, при этом является образование ангидрита при обжиге под влиянием кислых фосфатов и фторидов. При этом с ростом нерастворимого ангидрита выше 30%, прочность вяжущих приближается к нулю.

Примеси, в ФГ свободных фосфорной и серной кислот и их солей замедляют твердение получаемых вяжущих, а из-за повышенной кислотности происходит коррозия оборудования [4]. Осложняет технологию также выделение токсичных фтористых газов (II класс опасности), что предполагает тщательную их очистку (абсорбцию) до санитарных норм.

Негативное влияние указанных примесей на строительные свойства ФГ можно несколько снизить домолом последнего и формованием изделий методом виброукладки, а это уже переход к механохимической обработке [3, 7]. В этом случае качество вяжущего улучшается, но остается ниже чем при использовании природного гипса.

Таким образом, анализ приведенных данных свидетельствует о необходимости кондиционирования ФГ для того, чтобы последний был пригоден без ограничения для переработки на высококачественные гипсовые вяжущие.

Кондиционирование заключается в очистке от нежелательных примесей, отмывки и нейтрализации ФГ, и придании ему благоприятных параметров, обеспечивающих улучшение строительных характеристик получаемых вяжущих материалов.

Традиционные методы подготовки фосфогипса в производстве вяжущих. Ведущие место в разработке и применении, непосредственно в производстве гипсовых вяжущих из свежего ФГ, принадлежат: Японии, Франции, Германии.

Основные традиционные методы при этом подразделяются на 4 группы:

1. Промывка ФГ водой;
2. Промывка в сочетании с нейтрализацией и осаждением примесей;
3. Термическое разложение примесей;
4. Введение нейтрализующих и регулирующих кристаллизацию добавок при обжиге.

Указанные методы связаны с определенными негативными моментами и проблемами. Промывка и нейтрализация связаны с образованием большого

количества стоков и необходимостью дальнейшей его гидратации до полугидрата, использование указанных добавок ограничивается их дефицитом и высокой стоимостью, к тому же они не обеспечивают постоянства свойств вяжущего.

Ряд авторов рекомендуют естественную отмывку и нейтрализацию ФГ, при открытом складировании и хранении его на специально-оборудованных полигонах.

При этом доведение его до кондиции очень длительно (несколько лет) и сопровождается негативным экологическим воздействием на окружающую среду. В процессе отмывки ФГ получается дигидрат, в то время как процесс получения вяжущего заключается в дегидратации гипса до полугидрата. В то же время в процессе изготовления изделий необходимо обратное: гидратация полугидрата до гипса большим избытком воды.

Таким образом наблюдается алогичность и парадоксальность.

В научном направлении в настоящее время основные работы по кондиционированию фосфополугидрата для получения вяжущих ведутся в трех направлениях:

- гидратация до дигидрата с получением сырья для вяжущих;
- активация сушкой;
- обжиг до ангидрита с введением активирующих добавок.

На активирующее действие различных добавок, специально вводимых в технологии вяжущих, либо входящих в состав первичного фосфатного сырья для получения ФГ, указано в работах [4, 6–8].

При этом снижение пассивирующего действия кислых примесей на полугидрат достигается механической обработкой с одновременной нейтрализацией, а повышение его прочности – тонким активирующим измельчением в присутствии активаторов твердения [7].

Указанные приемы обеспечивают переход на нанотехнологии в производстве вяжущих. Именно нанотехнология позволяет осуществлять управление отдельными атомами и молекулами с целью получения требуемой наноструктуры и материала с заданными свойствами.

Легирование цементных, гипсовых вяжущих материалов химическими и

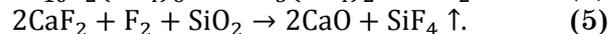
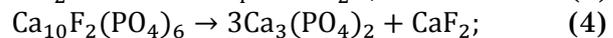
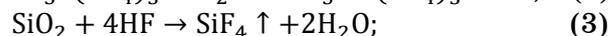
органоминеральными добавками, механохимическая активация (МХА) в различных аппаратах, приемы активации воды и ее активирующее действие, свидетельствует о практическом использовании нанотехнологии.

Механохимические методы кондиционирования исходного фосфатного сырья. Еще в 70-е годы прошлого века С. П. Кочетковым было указано на следующие эффекты при «мокрой» МХА в водной среде природных фосфатов (апатитов и фосфоритов) различных месторождений:

- повышение растворимости основного вещества и примесных соединений;
- механохимическое дефторирование фосфатов;
- переход в водную дисперсионную среду значительной части примесных соединений и повышение содержания основного компонента после разделения фаз [9–11].

В данных работах отмечена многогранная роль примесей в составе фосфатов. Установлена корреляция коэффициентов обесфторирования с электроотрицательностью примесных оксидов, а увеличения растворимости с работой выхода электрона. Это в свою очередь относит МХ-реакции к разряду каталитических, осуществляемым по различным механизмам.

Примеси могут внедряться в кристаллическую решетку апатита, ускорять его разложение, стабилизировать полученную структуру, а так же участвовать в МХ-реакциях дефторирования (например SiO_2):



Среди примесей, естественно входящих в состав различного фосфатного сырья, отмечается иницирующая роль Si^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , а также CO_3^{2-} . Сами по себе, примесные компоненты, приобретающие при МХА избыточную энергию (ΔH), частично растворяются в процессе активации в воде. Это послужило предпосылкой для развития нового нанотехнологического направления в переработки фосфатов-механохимического обогащения.

Наглядным примером МХА-эффектов служит изменение состава чилийского фосфорита, в результате из-

мельчения в вибромельнице в присутствии воды с последующим разделением

фаз, предоставленное в таблице по работе [8].

Состав образцов фосфата, %	P ₂ O ₅	CaO	MgO	НО(осн. SiO ₂)	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	F
До активации	17,9	32,6	0,93	39,9	1,82	1,9	3,12
После активации и разделения фаз	26,2	27,6	нет	30,8	0,63	2,95	0,35

Увеличение содержания железа объясняется «намолом» этого компонента из мелющих тел. При активации примеси переходят в жидкую фазу из аморфизированных слоев в отличие от кварца. Это подтверждено увеличением растворимости кварца в результате МХА автором [7, 12, 13].

По данным Усова [7] на поверхности диоксида кремния рвутся связи Si-O и возникают свободные радикалы, а гетерогенные МХ-реакции, начавшись на поверхности, могут развиваться в глубину материала и происходит растворение кремния в воде по схеме:



Роль жидкой фазы и, прежде всего воды, как растворителя в МХА-процессах сводится [8]:

к вспомогательному действию при измельчении (предохранению от агломерации и релаксации);

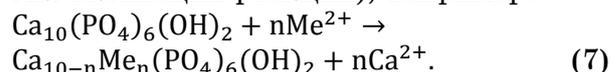
к участию в протекании МХ-реакций как компонента;

к укреплению структуры растворителя жидкой фазы с активированной твердой фазой, что затрудняет дегидратацию продуктов реакции, возможность протекания которых при МХА подтверждается так же Чайкиной [14].

Кроме того, при активации в водной среде происходит диссоциация на ионы как самой воды (в меньшей степени), так и перешедших в жидкую фазу примесных соединений Fe, Al, а так же РЗМ.

При проведении указанных процессов в суспензии, на поверхности твердых частиц, заряженных обычно отрицательно, адсорбируются из водно-солевого раствора молекулы воды и катионы металлов. Кроме того поверхностью частиц апатита могут притягиваться катионы $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$ и другие. В результате механического нарушения структуры на атомном и ионном уровнях, повышаются растворимость фосфатов и скорость растворения примесей, облегчаются реакции с молекулами сре-

ды, указанные выше (снижается энергия активации реакций), например:



Указанные химические изменения, происходящие при МХА апатитов в воде, касаются и редкоземельных металлов (РЗМ), в частности частичного растворения последних в воде. Кондиционирование техногенного сырья, анонсированное в настоящем сообщении, по большей мере заключается в извлечении РЗЭ из исходного природного фосфата и их утилизации, а также дефторировании последнего. В свою очередь, получение концентратов РЗЭ из жидкой фазы после ее отделения от твердой рекомендовано осуществлять сорбционным методом, а в качестве адсорбентов использовать механически активированные угольные материалы [15, 16].

Что касается предварительного дефторирования фосфатного сырья на стадии обогащения с помощью МХА, то это операция облегчает повышение качества кислотной переработки и получение первичной и вторичной продукции с низким содержанием примесей [17].

Таким образом, механохимические методы, лежащие в основе нанотехнологий, с успехом могут быть рекомендованы в качестве первой стадии комплексной переработки апатитов с получением удобрений, очищенной фосфорной кислоты, концентратов РЗМ и кондиционного фосфогипса, как сырья для производства вяжущих материалов.

Нанотехнологии на базе МХА для кондиционирования фосфогипса. Описанные выше механохимические эффекты могут быть с успехом использованы для кондиционирования фосфогипса, как специальной стадии указанной комплексной переработки апатитов, одной из направлений, которой является возможность получения высококачественных вяжущих.

При этом желательны решаемые задачи: дефторирование, извлечение РЗЭ

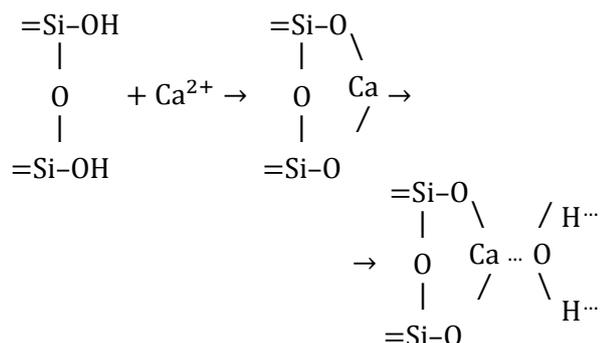
и нейтрализация [15,18]. Но они не являются главным при использовании МХ-процессов. Превалируют здесь улучшение физикохимических и эксплуатационных характеристик будущих продуктов, а так же снижение энергозатрат и упрощение технологии.

МХ-превращения обусловлены переходом вещества в метастабильное химически-активное состояние в результате поглощения механической энергии и облегчения массопереноса. Активность тел при разрушении или деформировании вызвана возникновением напряженных разорванных межато-мных связей, в том числе свободных радикалов, структурных дефектов. Энергетический выход (ΔH) равен числу молей активного вещества, возникших при поглощении 1 МДж механической энергии (моль/МДж). Это инициирует разложение веществ, полиморфные превращения и другие реакции твердой и жидкой фаз в результате снижения энергии активации в разы снижаются температуры твердофазного синтеза, термического разложения, спекания и т.д.

Например, МХА влажных оксидов (в суспензии) придает им вязущие свойства и является основной безобжиговой технологии жаропрочных материалов [7, 8].

Диспергирование фосфогипса рекомендуют проводить в виде суспензий, для приготовления которой используется природная вода, содержащая ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- и другие, которые входят в состав и самого ФГ.

При этом в процессе МХ-обработки формируются адгезионно когезионные контакты при хемосорбции на образующих поверхностях ионов, перешедших в раствор при гидратации цементных материалов, например Ca^{2+} , по типу:



Вязущие свойства твердых веществ зависят от особенностей химической связи и структуры, а также от степени ненасыщенности, что придает им способность к образованию кристаллогидратов (кристаллосольватов) – главных продуктов твердения.

Важнейшим условием проявления композициями вязущих свойств, является комплексообразование в гидратационных вязущих системах.

Для расширения комплексообразования при МХА и, соответственно расширения диффузной оболочки мицелл и разрыхления структуры, в суспензию вводят добавки электролитов, повышающие электрокинетический потенциал при росте рН среды до 10...11. При введении добавок (Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , $NaPO_3$) в суспензии происходят ионообменные процессы, в результате которых выпадают нерастворимые в воде осадки: CaF_2 , $Ca_3(PO_4)_2$.

Таким образом, происходит и нейтрализация и очистка фосфогипса [7]. В результате возрастают силы отталкивания и возрастает пластичность суспензии.

Упомянутые здесь фтористые соединения, помимо указанного выше негативного действия, вносят также определенный позитив в процесс получения вязущих.

Исследованиями Бушуева [19] установлено, что фтор не включается ни в дигидратную, ни в полугидратную структуры сульфата кальция. Часть фтора, в виде флюорита (CaF_2), служит стимулирующей затравкой при кристаллизации фторидов, фосфатов кальция, а также фторидов TR-элементов (РЗМ). Кроме того, примесные фториды, не входящие в структуру апатита, образуют труднорастворимые двойные фториды TR и тем самым, ограничивает проявление изоморфизма последних в структуре ПСК. Установлено так же, что в структуре ДСК изоморфные замещения отсутствуют, что имеет принципиальное значение для выделения РЗЭ из ДСК в виде фосфатов методом направленной кристаллизации. И, наконец, фторид ионы (F^-) оказывают также позитивное пластифицирующее действие [7]. Для передачи веществу механической энергии пластические суспензии обрабатывают на вальцах, экструдерах и т. д.

Заключение

Таким образом с помощью нанотехнологий реализующие МХА, возможно направленно регулировать процессы гидратации-дегидратации при кристаллизации и перекристаллизации ФГ в системе ДСК-ПСК-ангидрид.

Примерами использования нанотехнологий в переработке фосфогипса являются следующие.

1. Применение ФГ как регулятора срока схватывания цемента [20]. Оптимальное количество ФГ, вводимого при помощи помола, зависит от состава клинкера, режима охлаждения, тонины помола и температуры цемента, выходящего из мельницы и количества других добавок. При этом, фосфогипс оказывает более сильное замедляющее действие по сравнению с природным гипсом. При этом основными кристаллическими фазами нейтрализованного ФО фосфогипсового камня из ФПГ являются:

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - 95 \div 98\%$;

$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} - 1 - 2\%$;

$\text{CaSO}_4(\text{растворимый гидрид}) < 1\%$.

2. Применение ФГ в дорожном строительстве [21]. Разработана технология в основе которой ежит МХА, исходный ФГ переводится в «псевдожидкость» в условиях вышеописанного перераспределения энергии участвующих агрегатов. После МХА полученный материал разливается в формы изделий. После распалубки покрытие не надо сушить, а держать в воде или увлажнять как гидравлическое вяжущее. Данная технология была опробована в производственном масштабе на малом предприятии в Егорьевском районе, Московской области.

3. Конверсия ФГ с получением сульфата аммония и карбоната кальция [22]. МХА включается в технологическую схему при подготовке сырья. Нейтрализация ФГ производится раствором $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.

4. Термическое разложение ФГ с целью получения серной кислоты и цемента [23]. Данная технология была использована ОАО «Ассоциация Волховгипс», где МХА применялась при подготовке сырья для снижения влажности ФГ, что обеспечивало сравнительно невысокие затраты по сравнению с сушкой. Рекомендуется данная технология для регионов, где отсутствует природный гипсовый камень.

Библиографический список

1. Андреева Н. А. Химия цемента и вяжущих веществ: учебное пособие. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 67 с.
2. Косенко Н. Ф. Химическая технология вяжущих материалов и изделий на их основе. Воздушно-вяжущие вещества: учебное пособие. – Иваново: ИГХТУ, 2015. – 219с.
3. Кочетков С. П., Брыль С. В. Основные экологические аспекты комплексной переработки природного фосфатного сырья // Экология и строительство. – 2016. – № 2. – С. 9–17
4. Кочетков С. П., Брыль С. В., Ильин А. П., Рухлин Г. В. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов // Экология и строительство. – 2016. – № 4. – С. 20–28.
5. Чернышова Р. А. Переработка фосфогипса в высококачественные вяжущие материалы // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 4–6.
6. Кочетков С. П., Смирнов Н. Н., Ильин А. П. Комплексная механохимическая переработка фосфатов: фосфатное сырье: производство и переработка: сб. мат. междунауч. научн.-практ. конф. – М.: НИУНФ – 2012. – С. 98–102.
7. Усов Б. А. Химия и технология цемента: Учебное пособие. – М.: ИНФРА, 2015. – 158 с.
8. Кочетков С. П. Научные основы новых высокоэффективных процессов комплексной переработки фосфорсодержащего сырья: дис. д-ра, техн. наук. – Иваново: ИГХТУ, 2004.
9. Кочетков С. П., Хрящев С. В., Кочеткова В. В. и др. Обесфторирование апатитов при мокром измельчении // ЖПХ. – 1978. – Т. 51. – № 12. – С. 2661–2664.
10. Кочетков С. П., Хрящев С. В., Филин В. Н. и др. О влиянии оксидопримесей на механохимические процессы, протекающие при измельчении апатита // ЖПХ. – 1978. – Т. 51. – № 12. – С. 2664–2668.
11. Кочетков С. П., Лембриков В. М. О перспективах использования механохимических методов для переработки апатитов // Изв. СОАН СССР, сер. хим. наук. – 1979. – Вып. 3. – № 7. – С. 24–29.
12. Аввакумов Е. Г. Механохимические методы активации химических

процессов. – Новосибирск: Наука, СО, 1979. – 223с.

13. *Гришина Т. Д., Бояркин В. В., Черняк А. С.* Исследование физико-химических характеристик систем // Водный раствор: сер. хим. наук. – 1983. – № 12. – С. 67–71.

14. *Чайкина М. В.* Механохимия природных и синтетических апатитов. – Новосибирск: изд. СО РАН, Филиал ГЕО, 2002. – 223 с.

15. *Кочетков С. П., Баринов А. Н., Малявин А. С.* Сорбционные процессы и нанотехнологии комплексной переработки апатитов // Труды НИУИФ 1919–2014. 2014. – С. 335–360.

16. *Фирсов А. В., Артамонов А. В., Смирнова Д. Н., Ильин А. П., Кочетков С. П.* Сорбция редкоземельных металлов из неупаренной ЭФК на сильнокислотном макропористом катионите // Изв. ВУЗов: Химия и хим. технология. – 2016. – № 4.

17. *Смирнов Н. Н., Ильин А. П., Смирнова Д. Н., Олейник О. В.* Механохимическое дефторирование фосфатного сырья // Фосфатное сырье: производство и переработка; мат. междуна. научно-практ. конф. – М.: НИУИФ – 2012. – С. 107–109.

18. *Кочетков С. П., Баринов А. Н., Ильин А. П., Смирнов Н. Н.* Нанотехнологии в фосфорной промышленности, производстве катализаторов и сорбентов // Нанотехнологии. Наука и производство. – 2011. – № 4 (13). – С. 40–53.

19. *Бушув Н. Н.* Физико-химические особенности кристаллизации TR- и F-содержащих соединений в процессе переработки, фосфатного сырья на минеральные удобрения: Переработка и утилизация попутных фтористых соединений и извлечения РЗМ в производстве минеральных удобрений: сб. мат. междуна. научно-практ. семинара – М.: НИУИФ, 2011. – С. 211–216.

20. *Трошин М. А.* Фосфогипсовый камень – регулятор срока схватывания цемента: Фосфогипс: хранение и направления использования как крупнотоннажного сырья: мат. междуна. конф. – М., 2010. – С. 104–114.

21. *Кочеткова Р. Г.* Усиление вяжущих свойств гипсосодержащих техногенных грунтов // Jbid. – С. 97–103.

22. *Долгов В. В.* Комплексная переработка фосфогипса в сульфат аммония,

концентрат РЗМ и карбонат кальция // Jbid. – С. 118–122.

23. *Федоров С. В.* Снижение приведенных затрат топлива, энергии и себестоимости гипсового вяжущего из фосфогипса // Jbid. – С. 114–117.

Сведения об авторах

Кочетков Сергей Павлович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры строительного производства; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408.

Брыль Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408; e-mail: stroy@polytech-kolomna.ru.

Смирнов Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры Технологии неорганических веществ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.

Рухлина Наталья Ивановна, старший преподаватель кафедры строительного производства; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408.

Рухлин Георгий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408.

References

1. *Andreeva N. A.* Himija cementa i vjazhushhih veshhestv: uchebnoe posobie. – SPb.: SPbGASU, 2011. – 67 s.
2. *Kosenko N. F.* Himicheskaja tehnologija vjazhushhih materialov i izdelij na ih osnove. Vozdushno-vjazhushhie veshhe-stva: uchebnoe posobie. – Ivanovo: IG-HTU, 2015. – 219s.
3. *Kochetkov S. P., Bryl' S. V.* Osnovnye jekologicheskie aspekty kompleksnoj pererabotki prirodnoho fosfatnoho syr'ja // Jekologija i stroitel'stvo. – 2016. – № 2. – S. 9–17
4. *Kochetkov S. P., Bryl' S. V., Il'in A. P., Ruhlin G. V.* Problemy i perspektivy ispol'zovanija vtorichnyh produktov pererabotki prirodnyh fosfatov dlja poluchenija stroitel'nyh materialov // Jekologija i stroitel'stvo. – 2016. – № 4. – S. 20–28.
5. *Chernyshova R. A.* Pererabotka fosfogipsa v vysokokachestvennye vjazhushhie materialy // Stroitel'nye materialy. – 2008. – № 8. – S. 4–6.
6. *Kochetkov S. P., Smirnov N. N., Il'in A. P.* Kompleksnaja mehanohimicheskaja pererabotka fosfatov: fosfatnoe syr'e: proizvodstvo i pe-rerabotka: sb. mat. mezhdun. nauchn.-prakt. konf. – M.: NIUNF – 2012. – S. 98–102.
7. *Usov B. A.* Himija i tehnologija cementa: Uchebnoe posobie. – M.: INFRA, 2015. – 158 s.
8. *Kochetkov S. P.* Nauchnye osnovy novyh vysokojeffektivnyh processov kompleksnoj pererabotki fosforsoderzhashhego syr'ja: dis. d-ra, tehn. nauk. – Ivanovo: IGHTU, 2004.
9. *Kochetkov S. P., Hryashhev S. V., Kochetkova V. V. i dr.* Obesftorirovanie apatitov pri mokrom izmel'chenii // ZhPH. – 1978. – T. 51. – № 12. – S. 2661–2664.
10. *Kochetkov S. P., Hryashhev S. V., Filin V. N. i dr.* O vlijanii oksido primesej na mehanohimicheskie procesy, protekajushhie pri izmel'chenii apatita // ZhPH. – 1978. – T. 51. – № 12. – S. 2664–2668.
11. *Kochetkov S. P., Lembrikov V. M.* O perspektivah ispol'zovanija mehanohimicheskikh metodov dlja pererabotki apatitov // Izv. SOAN SSSR, ser. him. nauk. – 1979. – Vyp. 3. – № 7. – S. 24–29.
12. *Avvakumov E. G.* Mehanohimicheskie metody aktivacii himicheskikh processov. – Novosibirsk: Nauka, SO, 1979. – 223s.
13. *Grishina T. D., Bojarkin V. V., Chernjak A. S.* Issledovanie fiziko-himicheskikh karakteristik sistem // Vodnyj rastvor: ser. him. nauk. – 1983. – № 12. – S. 67–71.
14. *Chajkina M. V.* Mehanohimija prirodnyh i sinteticheskikh apatitov. – Novosibirsk: izd. SO RAN, Filial GEO, 2002. – 223 s.
15. *Kochetkov S. P., Barinov A. N., Maljavin A. S.* Sorbcionnye processy i nanotehnologii kompleksnoj pererabotki apatitov // Trudy NIUIF 1919–2014. 2014. – S. 335–360.
16. *Firsov A. V., Artamonov A. V., Smirnova D. N., Il'in A. P., Kochetkov S. P.* Sorbcija redkozemel'nyh metallov iz neuparennoj JeFK na sil'nokislotnom makroporistom ka-tionite // Izv. VUZov: Himija i him. tehnologija. – 2016. – № 4.
17. *Smirnov N. N., Il'in A. P., Smirnova D. N., Olejnik O. V.* Mehanohimicheskoe deftorirovanie fosfatnoho syr'ja // Fosfatnoe syr'e: proizvodstvo i pererabotka; mat. mezhdun. nauchno-prakt. konf. – M.: NIUIF – 2012. – S. 107–109.
18. *Kochetkov S. P., Barinov A. N., Il'in A. P., Smirnov N. N.* Nanotehnologii v fosfornoj promyshlennosti, proizvodstve katalizatorov i sorbentov // Nanotehnologii. Nauka i proizvodstvo. – 2011. – № 4 (13). – S. 40–53.
19. *Bushuev N. N.* Fiziko-himicheskie osobennosti kristallizacii TR- i F-soderzhashhih soedinenij v processe pererabotki, fosfatnoho syr'ja na mineral'nye udobrenija: Pererabotka i utilizacija poputnyh ftoristyh soedinenij i izvlechenija RZM v proizvodstve mineral'nyh udobrenij: sb. mat. mezhdun. nauchno-prakt. seminar – M.: NIUNF, 2011. – S. 211–216.
20. *Troshin M. A.* Fosfogipsovyj kamen' – reguljator sroka shvatyvanija cementa: Fosfogips: hranenie i napravlenija ispol'zovanija kak krupnotonnazhnogo syr'ja: mat. mezhdun. konf. – M., 2010. – S. 104–114.
21. *Kochetkova R. G.* Usilenie vjazhushhih svojstv gipsosoderzhashhih tehnogennyh gruntov // Jbid. – S. 97–103.
22. *Dolgov V. V.* Kompleksnaja pererabotka fosfogipsa v sul'fat ammonija,

koncentrat RZM i karbonat kal'cija // Jbid. – S. 118–122.

23. Fedorov S. V. Snizhenie prive-dennyh zatrat topliva, jenergii i sebes-toimosti gipsovogo vjzhushhego iz fosfogipsa // Jbid. – S. 114–117.

Information about the authors

Kochetkov Sergei Pavlovich, doctor of technical sciences, senior researcher, professor of the construction production department; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrjskoy revolutsii, 408.

Bryl Sergey Valerjevich, candidate of technical sciences, head of the construction production department; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrjskoy revolutsii, 408; e-mail: stroy@polytech-kolomna.ru.

Smirnov Nikolai Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor of the Technology of inorganic substances department; Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»; 7, Sheremetievskiy Avenue, Ivanovo, 153000, Russia; e-mail: ilyin@isuct.ru.

Rukhlina Natalia Ivanovna, senior lecturer of the construction production department; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrjskoy revolutsii, 408.

Rukhlin Georgii Vladimirovich, candidate of technical sciences, senior lecturer of the construction production department; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrjskoy revolutsii, 408.

Для цитирования: Кочетков С. П., Брыль С. В., Смирнов Н. Н., Рухлина Н. И., Рухлин Г.В. Методы кондиционирования техногенного сырья, используемого для получения вяжущих // Экология и строительство. – 2017. – № 2. – С. 16–24.

For citations: Kochetkov S.P., Bryl S.V., Smirnov N.N., Rukhlina N.I., Rukhlin G.V. Conditioning techniques technogenic raw materials used for binders // Ekologiya & Stroitelstvo. – 2017. – № 2. – P. 16–24.