



УДК: 661.632+666.91

Т.Г. ИВАЩЕНКО, председатель правления, **В.Н. ФИЛИН**, к.т.н., старший научный сотрудник, заместитель директора ООО «Экология-Днепр 2004», г. Днепропетровск

И.П. КРАЙНОВ, д.т.н., профессор, заместитель генерального директора

ГП «Национальный центр обращения с опасными отходами» Министерства охраны окружающей природной среды Украины, г. Киев

ФОСФОРИТНЫЙ ФОСФОГИПС: СВОЙСТВА, ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ И ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Систематизирована информация о свойствах и основных направлениях переработки фосфоритного фосфогипса. Приведены данные по удельной активности природных радионуклидов и по содержанию тяжелых металлов в фосфоритном фосфогипсе.

фосфогипс, фосфорит, переработка, радионуклиды, тяжелые металлы Свойства и основные направления переработки фосфогипса

Фосфогипсом принято называть дигидрат сульфата кальция, получаемый в качестве побочного продукта при сернокислотном разложении фосфатного сырья с целью получения экстракционной фосфорной кислоты. В связи с прекращением поставок в Украину в середине 90-х годов хибинского апатитового концентрата украинские предприятия-производители экстракционной фосфорной кислоты вынуждены были перейти на использование в качестве сырья зарубежных фосфоритов (ТУ У 24.1-14005076-065-2003 «Фосфориты зарубежные»), основные физико-химические показатели которых представлены в табл. 1.

Выход фосфогипса на 1 т фосфата при переработке кольских апатитов – 1,6 т/т [1], при переработке сирийских фосфоритов (в пересчете на сухой фосфогипс) – 1,3 т/т. Ежегодный выход фосфогипса на заводах Украины составляет около 2,0 млн т; в отвалах на территории Украины накоплено более 60 млн т фосфогипса [2].

Химический состав основных компонентов фосфогипса, полученного из кольского апатита и сирийских фосфоритов, представлен в табл. 2 [1, 3, 4].

Сравнительный химический анализ образцов фосфоритного фосфогипса, выполненный в Технологическом центре HeidelbergCement (Германия), представлен в табл. 3.

Основные направления квалифицированного использования фосфогипса:

- В цементной промышленности – вместо природного гипса в качестве добавки (замедляющей срок схватывания цемента) к клинкеру, а также в качестве добавки-минерализатора к сырью для клинкера, регули-

Таблица 1 – Основные физико-химические показатели зарубежных фосфоритов

| Наименование показателей и единицы измерения | Норма для марки | | |
|---|-----------------|------|------|
| | А | Б | В |
| Массовая доля общих фосфатов в пересчете на $(P_2O_5)_{\text{общ}}$, %, не менее | 33 | 29 | 25 |
| Отношение массовой доли $(P_2O_5)_{\text{усв}}$ к массовой доле $(P_2O_5)_{\text{общ}}$, %, не менее | 60 | 60 | 60 |
| Массовая доля MgO , %, не более | 1,3 | 1,7 | 3,0 |
| Массовая доля суммы кислоторастворимых полупрозрачных окислов ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$), %, не более | 1 | 1 | 3 |
| Массовая доля сульфидной серы, %, не более | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| Массовая доля хлоридов в пересчете на Cl , %, не более | 0,1 | 0,1 | 0,25 |
| Массовая доля CO_2 , %, не более | 1,5 | 6,0 | 7,0 |
| Массовая доля воды, %, не более | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Массовая доля кадмия, мг/кг, не более | 18 | 18 | 18 |
| Массовая доля свинца, мг/кг, не более | 15 | 15 | 15 |
| Массовая доля мышьяка, мг/кг, не более | 12 | 12 | 12 |
| Гранулометрический состав (массовая доля частиц размером): | | | |
| более 5 мм, % | Отс. | Отс. | Отс. |
| более 1 мм, %, не более | 5 | 5 | 5 |
| более 0,1 мм, %, не более | 10 | 10 | 10 |
| Эффективная удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, не более | 1850 | 1850 | 1850 |

лирующей свойства клинкерного расплава при повышенной концентрации щелочей в сырьевой смеси.

- В строительной индустрии – для производства гипсовых вяжущих и изделий из них.

- В сельском хозяйстве – для химической мелиорации солонцовых почв (вместо использования природного сыромолотого гипса).

В цементном производстве фосфогипс используется или при помоле цемента (вместо природного гипсового камня) в количестве до 5 % масс, или в качестве добавки-минерализатора к клинкерной сырьевой смеси – в количестве до 1 % масс. [1, 2, 4–7]. Кроме того, фосфогипс может быть основным компонентом быстротвердеющих и высокопрочных алитосульфалюминатных цементов, прочность которых в 28-суточном возрасте в 1,3–1,4 раза выше, чем у портландцемента марки 500 [8].

Таблица 2 – Химический состав апатитового и фосфоритового фосфогипса

| Показатели | Содержание, % масс. | |
|--|----------------------|-------------------------|
| | Из кольского апатита | Из сирийских фосфоритов |
| Состав (в пересчете на сухое вещество): | | |
| CaSO ₄ ·2H ₂ O | > 90 | > 90 |
| F | 0,3–0,4 | 0,2–1,3 |
| (P ₂ O ₅) _{общ} | 1,0–1,2 | < 1,2 |
| (P ₂ O ₅) _{ввод} | 0,5–0,6 | < 0,2 |
| Гигроскопическая (сверхкристаллизационная) влага | 6–20 | 10–23 |

При среднем расходе гипса как добавки-регулятора к цементу – 37 кг/т и суммарном объеме производства цемента одиннадцатью работающими в настоящее время цементными заводами Украины – около 7 млн т в год [9] потребность в фосфогипсе для цементных заводов Украины при полной замене гипсового камня может составить около 250 тыс. т в год.

В связи с переходом украинских предприятий-производителей экстракционной фосфорной кислоты на фосфоритное сырье разработаны и зарегистрированы технические условия на фосфогипс мелкодисперсный ФГМ (ТУ У 26.5-30299063-007-2004), полученный из фосфоритного или апатитового сырья и обезвоженный до нормативных показателей естественным или искусственным путем [4]. В зависимости от назначения, фосфогипс ФГМ может выпускаться двух марок: ФГМ-1 – добавка-минерализатор к сырью для клинкера, регулирующая свойства клинкерного расплава при повышенной концентрации щелочей в сырьевой смеси, и ФГМ-2 – добавка, замедляющая срок схватывания цемента. Характеристика марок фосфогипса ФГМ-1 и ФГМ-2 приведена в табл. 4.

Опытно-промышленные испытания на ОАО «Днепроцемент» [4] показали, что полученный с использованием фосфогипса ФГМ шлакопортландцемент по своим качественным характеристикам полностью соответствует типу III марки 400, согласно требованиям ДСТУ Б.В.2.7-46-96.

Таблица 3 – Сравнительный химический анализ образцов фосфоритного фосфогипса

| Производитель фосфогипса | Содержание компонента, % масс. | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------------------|-------------------------------------|---|--------------|
| | CaO | SO ₃ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | MnO | Fe ₂ O ₃ | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ (общ) | P ₂ O ₅ (водораст.) | ппп (1050°C) |
| ЗАО «ДЗМУ» (Украина) | 31,5 | 43,5 | 3,70 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,06 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,74 | 0,08 | 20,5 |
| фирма Прауоп (Бельгия) | 31,3 | 44,1 | 0,23 | 0,08 | 0,03 | 0,01 | 0,12 | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,52 | 0,01 | 20,3 |

Таблица 4 – Характеристика марок фосфогипса ФГМ-1 и ФГМ-2.

| Наименование показателя | Норма для марок | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | ФГМ-1 | ФГМ-2 |
| Агрегатное состояние, внешний вид | Мелкодисперсный порошок серого цвета | Мелкодисперсный порошок серого цвета |
| Содержание основного вещества (CaSO ₄ ·2H ₂ O) в пересчете на осушенный дигидрат, % по массе, не менее | 90 | 90 |
| Содержание гигроскопической (сверхкристаллизационной) влаги, % по массе, не более | 23 | 23 |
| Содержание общего фосфора в осушенном продукте (в пересчете на P ₂ O ₅), % по массе, не более | 1,2 | 1,0 |
| Содержание водорастворимых фосфатов в осушенном продукте (в пересчете на P ₂ O ₅), % по массе, не более | 0,2 | 0,1 |
| Содержание иона фтора (F) в осушенном продукте, % по массе, не более * | 0,2 | Не нормируется |
| Содержание иона хлора (Cl) в осушенном продукте, % по массе, не более* | 0,2 | Не нормируется |
| Содержание оксида магния (MgO) в осушенном продукте, % по массе, не более* | 1,5 | Не нормируется |
| Содержание суммы оксидов калия и натрия (K ₂ O + Na ₂ O) в осушенном продукте, % по массе, не более* | 1,2 | Не нормируется |

Примечание: * - показатель определяется по требованию заказчика



В строительной индустрии фосфогипс используется для производства гипсовых вяжущих и изделий из них [1,10–16]. На гипсовое вяжущее из фосфогипса, применяемое для изготовления строительных изделий широкого ассортимента и при производстве строительных работ, разработан ДСТУ Б В.2.7-4-93, в соответствии с которым, в зависимости от предела прочности на сжатие, различают 8 марок вяжущего – от ГВФ-0,7 до ГВФ-7.

Остаток водорастворимого P_2O_5 в фосфогипсе после последней стадии промывки экстракционной фосфорной кислоты на вакуум-фильтрах составляет 0,5–1,5 % к массе сухого дигидрата [1], что характерно для нормального процесса производства экстракционной фосфорной кислоты. В то же время максимальное содержание водорастворимого P_2O_5 , при котором еще можно получить качественное гипсовое вяжущее, не должно превышать 0,4 % [1], поскольку избыток кислоты замедляет твердение и снижает прочность вяжущих. Поэтому, как правило, перед получением вяжущих избыточную кислоту в фосфогипсе стараются убрать преимущественно химическими методами [1].

В зависимости от условий получения, гипсовые вяжущие подразделяют на обжиговые и автоклавные.

Автоклавные гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой сырья при 120–150 °С под избыточным давлением 0,13–0,4 МПа в паровой или водной среде с выделением кристаллизационной воды из гипса в жидком состоянии; состоят они преимущественно из полугидрата сульфата кальция α -формы [10–15]. В Украине технология получения автоклавных гипсовых вяжущих из отвального апатитового фосфогипса отработана в Институте технической теплофизики (ИТТФ) НАНУ [11, 12, 14, 15]. При этом получают гипсовые вяжущие марок Г-6–Г-14. В ИТТФ разработана универсальная модульная технологическая линия нового поколения и способ получения гипсовых вяжущих как из природного гипсового камня, так и из любых твердофазных гипсосодержащих отходов.

Обжиговые гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой сырья при температуре 110–170 °С и атмосферном давлении с выделением кристаллизационной воды в парообразном состоянии. Они содержат в основном полугидрат сульфата кальция β -формы [1, 16]. Необходимо отметить, что в процессе термической обработки фосфогипса выше 120 °С происходит заметное уменьшение содержания водорастворимых форм P_2O_5 с переходом их в трехзамещенные соединения, что снижает общую кислотность вяжущего [1]. Результаты исследований выделения фтора из проб фосфогипса с различной степенью нейтрализации показали, что лишь при переводе P_2O_5 в трикальцийфосфат или гидроксилapatит практически

полностью исключаются разложение малорастворимых фтористых соединений и выделение фтора в атмосферу при термической обработке фосфогипса.

ГосНИИ минудобрений и пигментов совместно с ООО «УКРРОСГИПС» разработал и внедрил технологию получения обжигового гипсового вяжущего из лежалых отвалов апатитового фосфогипса ОАО «Сумыхимпром» [16]. На разрабатываемом участке отвала, согласно проведенным исследованиям, фосфогипс по своим показателям удовлетворяет требованиям ДСТУ Б В.2.7-2-93 «Фосфогипс кондиционный для производства вяжущего и искусственного гипсового камня». Технология включает в себя дробление на валковой зубчатой дробилке крупнокускового фосфогипса до кусков размером не более 80 мм, термообработку дигидрата в прокаточном барабане при температуре 150–170 °С и размол дегидратированного фосфогипса на шаровой мельнице до нормативных показателей. Установка производительностью 5–7 т/час позволяет получать гипсовое вяжущее марок от ГВФ-5 до ГВФ-7.

Данные о получении гипсовых вяжущих из свежего и лежалого фосфоритного фосфогипса пока в известной нам научной литературе отсутствуют.

В сельском хозяйстве фосфогипс используется в двух направлениях: в чистом виде – для гипсования солонцовых почв и в виде смесей его с пылевидными известковыми материалами – для химической мелиорации кислых почв. Внесение в солонцовую почву фосфогипса позволяет вытеснить из поглощающего комплекса почв ионы натрия в виде сульфата и заменить их ионами кальция. В табл. 5 представлены технические требования к фосфогипсу для сельского хозяйства, полученному из апатитового (ТУ 05.20.094-89) и фосфоритового (ТУ У 24.1-31980517-002-2004) сырья.

Фосфогипс можно использовать также в следующих направлениях [1]:

- Конверсия фосфогипса в мел и сульфат аммония с помощью раствора карбоната аммония и дополнительной подачи газообразных NH_3 и CO_2 . При этом, в зависимости от используемого сырья, можно дополнительно получать концентрат редкоземельных элементов.
- Использование фосфогипса в качестве добавки к щебеночным и гравийным материалам в дорожном строительстве, а также как наполнитель полимербетона на основе карбамид-формальдегидных смол. Во Франции фирма «Seten Geotecnik» разработала активатор гидравлического твердения доменных шлаков «Гипсонат», который производится на основе фосфогипса ($CaSO_4 \sim 95\%$, $P_2O_5 < 1\%$, $F < 1\%$, частиц размером 0,05 мкм $\sim 50\%$) с добавкой 7 %

Таблица 5 – Технические требования к фосфогипсу для сельского хозяйства, полученному из апатитового и фосфоритового сырья

| Показатель | Норма | | |
|---|----------------------|----------|------------------------|
| | Апатитовый фосфогипс | | Фосфоритовый фосфогипс |
| | 1-й сорт | 2-й сорт | |
| Массовая доля основного вещества (CaSO ₄ · 2H ₂ O) в пересчете на сухой дигидрат, %, не менее | 92 | 80 | 90 |
| Массовая доля гигроскопической (сверхкристаллизационной) воды, %, не более | 6 | 20 | 26 |
| Массовая доля водорастворимых фтористых соединений в пересчете на фтор, %, не более | 0,3 | 0,3 | 1,0 |
| Массовая доля общих фосфатов на сухой дигидрат, %, не более | | | 2,0 |
| Массовая доля водорастворимых фосфатов на сухой дигидрат, %, не более | | | 1,0 |
| Массовая доля кадмия, мг/кг, не более | | | 7 |
| Массовая доля свинца, мг/кг, не более | | | 12 |
| Массовая доля мышьяка, мг/кг, не более | | | 4 |
| Гранулометрический состав (размер частиц), %, не более: | | | |
| более 10 мм | 0 | - | |
| более 5 мм | 1 | - | |
| более 1 мм | 6 | - | |
| Эффективная удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, не более | | | 370 |

NaOH. «Гипсонат» в количестве 10 кг/т смеси применяют при строительстве оснований дорог (смесь различных песков и 12 % шлакового вяжущего). В Украине Харьковским национальным автодорожным университетом разработаны Рекомендации по определению экологически безопасных условий использования фосфогипса для дорожного строительства в соответствии со свойствами грунтов [17].

- Использование фосфогипса в качестве минерального наполнителя в бумажной и лакокрасочной промышленности, а также в производстве пластмасс (полиэтилен, линолеум и др.). Ввиду высокой белизны апатитового фосфогипса, его используют как белый пигмент взамен диоксида титана и микробарита.
- Использование фосфогипса в качестве сырья для производства серной кислоты (вместо элементной серы и колчедана) с попутным получением цемента или извести и силикатных материалов.

**ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ФОСФОРИТНОГО ФОСФОГИПСА**

Анализ концентрации наиболее опасных примесей в фосфогипсе ФГМ – тяжелых металлов (а также мышьяка) с учетом норм ПДК по ГСанПиН 2.2.7.029-99 представлен в табл. 6.

На основании химического состава фосфогипса, а также содержания в нем наиболее опасных составляющих – тяжелых металлов, учитывая их незначительную подвижность в буферных средах и практическую нерастворимость в воде, фосфоритный фосфогипс, в соответ-

ствии с токсикологическим заключением, отнесен к малоопасным отходам (IV класс токсичности).

Данные по удельной активности отдельных природных радионуклидов в фосфогипсе, а также по проценту перехода изотопов из фосфорита в фосфогипс в процессе получения экстракционной фосфорной кислоты в известной нам литературе представлены в совершенно недостаточном объеме [1], поэтому задача заключалась в восполнении это-

Таблица 6 – Содержание тяжелых металлов в фосфоритном фосфогипсе

| Тяжелый или токсичный металл, не-металл | Валовая концентрация, мг/кг | | ПДК в почве по ГСанПиН 2.2.7.029-99 (для валовой формы) |
|---|---|---|---|
| | Атомно-адсорбционный спектрофотометр ААС-1N | Атомно-адсорбционный спектрофотометр «Сатурн» | |
| Свинец (Pb) | < 0,1 | < 5 | 32,0 |
| Кадмий (Cd) | < 0,1 | 0,4 | – |
| Кобальт (Co) | | < 1,2 | 5,0* |
| Никель (Ni) | 8,0 (< 0,1*) | < 2 | 4,0* |
| Хром (Cr) | < 0,1 (< 0,1*) | 4,8 | 6,0* |
| Марганец (Mn) | < 0,1 | < 0,5 | 1500 |
| Ванадий (V) | | < 25 | 100 |
| Медь (Cu) | 70 (2,2*) | < 10 | 3,0* |
| Олово (Sn) | | < 70 | – |
| Таллий (Tl) | | < 5 | – |
| Ртуть (Hg) | < 0,1 | < 5 | 5,0 |
| Мышьяк (As)** | 5,24 | 3 | 10,0 |
| Цинк (Zn) | 67,8 (16,0*) | | 37,0* |

* – для подвижной (водорастворимой) формы

** – анализ выполнялся фотометрическим способом



Таблица 7 – Удельная активность природных радионуклидов в исходном фосфорите и полученном из него фосфогипсе

| | Удельная активность природных радионуклидов, Бк/кг | | | | | | | | |
|---|--|--------|------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| | Ra-226 | Th-232 | K-40 | U-234 | U-235 | U-238 | Po-210 | Pb-210 | Th-230 |
| Фосфорит сирийский | 780 ±140 | < 10 | < 60 | 650 ±115 | 31,6±8,4 | 650±115 | 463 ±93 | 720 ±120 | 792 ±110 |
| Фосфогипс ФГМ | 421 ±84 | < 8 | < 50 | 92 ±28 | 4,5 ±1,3 | 92±28 | 234 ±54 | 435 ±92 | 387 ±100 |
| Процент перехода радионуклида из фос-форита в фосфогипс | 54,0 | | | 14,2 | 14,2 | 14,2 | 50,5 | 60,4 | 48,9 |

го пробела. Определение удельной активности девяти отдельных природных радионуклидов в исходном сирийском фосфорите и полученном из него фосфогипсе проводилось специалистами ООО «Центр радиозэкологического мониторинга» (г. Желтые Воды) на гамма-бета-спектрометрическом комплексе «Прогресс-БГ», альфа-спектрометре «Прогресс-альфа» и гамма-спектрометре с полупроводниковым HPGe детектором фирмы ORTEC (США). Результаты анализов представлены в табл. 7.

Содержание тория-232 и калия-40 в фосфорите и фосфогипсе весьма незначительно и находится на пределе чувствительности методов измерений.

Эффективная удельная активность природных радионуклидов для строительных материалов и минерального сырья, рассчитанная в соответствии с Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) по формуле $A_{эф} = A_{Ra-226} + 1,31 \cdot A_{Th-232} + 0,085 \cdot A_{K-40}$ составляет для фосфорита около 790 Бк/кг, для полученного из него фосфогипса – 425 Бк/кг. Таким образом, по данным, которые требуют дальнейшего углубленного изучения, в процессе получения экстракционной фосфорной кислоты из сирийского фосфорита около 54 % природных радионуклидов, определяющих класс использования материала в строительстве (в основном, радий-226), переходит в фосфогипс. Поскольку по НРБУ-97 1-й класс строительных материалов и минерального сырья (применение в строительстве без ограничений) лимитирован величиной эффективной удельной активности природных радионуклидов 370 Бк/кг, использование фосфоритного фосфогипса в строительной индустрии целесообразно не в чистом виде, а в смеси с отвальным апатитовым фосфогипсом, в котором эффективная удельная активность природных радионуклидов составляет 50–100 Бк/кг. При этом для представленного в табл. 7 фосфоритного фосфогипса вполне допустима композиция его с отвальным апатитовым фосфогипсом в массовом соотношении 4:1 соответственно.

Эффективная удельная активность природных радионуклидов для негранулированного фосфоритного фосфогипса при использовании его в сельском хозяйстве для гипсования почв рассчитывается в соответствии с НРБУ-97 по формуле $A_{эф} = A_{Th-232} + A_{Th-230}$ и составляет

800 Бк/кг (при норме 1900 Бк/кг), т.е. около 40 % от предельно допустимого значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фосфогипс и его использование / [Иваницкий В.В., Классен П.В., Новиков А.А. и др.]. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
2. Кашурин А.Н. Использование фосфогипса в производстве цемента / А.Н. Кашурин, Р.А. Чернышева, Т.Н. Забара // Экологія промислових підприємств. Проблема утилізації відходів: міжнар. наук.-техн. конф., 13–17 вересня 2004 р., м. Ялта: зб. тр. – Київ, 2004. – С. 50–52.
3. ТУ 05.20.094-89. Кальций сернокислый (фосфогипс) для сельского хозяйства.
4. Филин В.Н. Использование в цементном производстве фосфогипса, полученного из фосфоритного сырья / В.Н. Филин, Н.Т. Нестерчук, А.А. Шевченко // Экология и промышленность. – 2005. – № 4 (5). – С. 54–57.
5. Використання непластичних мінеральних домішок для виробництва цементу / А.Б. Златковський, А.Й. Здоров, Н.Г. Олєфіренко [та ін.] // Экология и промышленность. – 2005. – № 4 (5). – С. 60–63.
6. Шубин В.И. Использование природного и химического гипсов в производстве цементов / В.И. Шубин, Б.Э. Юдович // Цемент и его применение. – 2002. – № 3. – С. 15.
7. Кравченко А.А. Использование отвального фосфогипса в качестве регулятора сроков схватывания цемента / А.А. Кравченко, О.И. Гавриленко, М.М. Салдугей // Строительные материалы, изделия и санитарная техника: науч.-техн. сб. – К.: 2001. – Вып. 16. – С. 38–41.
8. Атакузиев Э.Т. Фосфогипс – основной компонент алитосульфоалюминатных цементов по малоэнергоёмкой технологии // Химическая промышленность. – 2001. – № 4. – С. 17–20.
9. Соболев В.Н. Украинская цементная промышленность в 2002 г. // Цемент и его применение. – 2003. – № 1. – С. 37.
10. Фосфогипсовые отходы химической промышленности в производстве стеновых изделий / [Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Юнусова С.С. и др.]. – М.: Химия, 2004. – 176 с.
11. Чернышева Р.А. Новые материалы и конструкции на основе высококачественных гипсовых вяжущих из фосфогипса / Р.А. Чернышева, А.Е. Чернышев // Вітчизняний та міжнародний досвід поводження з відходами виробницт-

- ва та споживання : міжнар. наук.-техн. конф., 8–12 вересня 2003 р., м. Ялта : труди. – К. : Т-во «Знання» України, 2003. – С. 98–102.
12. Чернышева Р.А. Гипсосодержащие отходы – сырье для получения высококачественных гипсовых вяжущих / Р.А. Чернышева, Т.Н. Забара, А.Е. Чернышев // *Екологія промислових підприємств. Проблема утилізації відходів* : міжнар. наук.-техн. конф. 13–17 вересня 2004 р., м. Ялта : зб. пр. – Київ, 2004. – С. 102–105.
 13. Утилизация фосфогипса с получением материала для производства гипсовых вяжущих / А.М. Касимов, О.Е. Леснова, В.П. Миняйло [и др.] // *Экология и промышленность*. – 2007. – № 1. – С. 24–27.
 14. Производство строительных материалов и изделий из отвалного фосфогипса / Р.А. Чернышева, О.И. Гавриленко, В.Ф. Макогон [и др.] // *Экология и промышленность*. – 2005. – № 4(5). – С. 49–53.
 15. Пат. 20055 Україна. Спосіб отримання гіпсового в'язучого та установка для його здійснення / Р.О. Чернишова, О.Ю. Чернишов, Т.М. Забара, А.А. Долінський. – № 95020935 ; заявл. 28.02.95 ; опубл. 25.12.97, Бюл. № 6.
 16. Отработка промышленного варианта технологии переработки фосфогипса на гипсовое вяжущее / Э.А. Карпович, С.В. Вакал, А.Е. Золотарев [и др.] // *Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов* : XVI междунар. науч.-практ. конф., 2–6 июня 2008 г., г. Щелкино, АР Крым : сб. науч. статей. В 2-х т. Т. II. – Харьков : Сага, 2008. – С. 234–238.
 17. Р В.2.3-218-02071168-210-2004. Рекомендації з встановлення екологічно безпечних умов використання фосфогіпсу, золошлаків ТЕС та металургійних шлаків для дорожнього будівництва згідно з властивостями ґрунтів. – Харків : 2004. – 12 с.

Поступила в редакцію 29.10.2008

Систематизована інформація про властивості і основні напрями переробки фосфоритного фосфогіпсу. Приведені дані щодо питомої активності природних радіонуклідів та вмісту важких металів у фосфоритному фосфогіпсі.

The information on properties and basic directions of processing phosphoritic phosphogypsum is systematized. The data on specific activity of natural radioactive nuclides and content of heavy metals in phosphoritic phosphogypsum are resulted.