УДК 504.75+691.311

Т.Г. Иващенко, канд. техн. наук
И.Д. Индже, канд. техн. наук
Государственная экологическая академия последипломного образования и управления Министерства экологии и природных ресурсов Украины, г. Киев, Украина

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ФОСФОГИПСА

Т.Г. Іващенко, канд. техн. наук
І.Д. Індже, канд. техн. наук
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України, м. Київ, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОГІПСУ

Taras Ivashchenko, PhD in Technical Sciences
Irina Ince, PhD in Technical Sciences
State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Kiev, Ukraine

ECOLOGICAL ASPECTS OF PHOSPHOGYPSUM UTILIZATION TECHNOLOGIES

Представлены результаты анализа влияния на окружающую среду существующих технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные смеси в сравнении с предложенной технологией. Показано, что широко используемые в мире технологии утилизации фосфогипса очень энергозатратны, а затраты на очистку сточных вод в 2,5 раза превышают затраты производства единицы продукции. Также процесс сопровождается значительными выбросами парниковых газов. Наведены экологические и энергетические преимущества разработанной технологии, а именно отсутствие образования сточных вод, а также снижение выбросов парниковых газов до 28 раз.

Ключевые слова: *утилизация, фосфогипс, экологическая безопасность, энергоемкость, сточные воды, парниковообразующие газы, технологии переработки.*

Представлено результати аналізу впливу на навколишнє середовище наявних технологій утилізації фосфогіпсу при переробці його в будівельні суміші в порівнянні із запропонованою технологією. Показано, що широковикористовувані у світі технології утилізації фосфогіпсу дуже енергозатратні, а витрати на очистку стічних вод у 2,5 рази перевищують витрати виробництва одиниці продукції. Також процес супроводжується значними викидами парникових газів. Наведені екологічні й енергетичні переваги розробленої технології, а саме відсутність утворення стічних вод, а також зниження викидів парникових газів до 28 разів.

Ключові слова: *утилізація, фосфогіпс, екологічна безпека, енергоємність, стічні води, парниковоутворюючі гази, технології переробки.*

Results of analysis of environmental impact of existing phosphogypsum utilization technologies during the processing it in construction mixes compared with the proposed technology are presented in the paper. It is shown that widely used technologies for phosphogypsum utilization in the world are very energy-intensive, and the cost of wastewater treatment is 2,5 times greater than the costs of one unit production. Also, the process is accompanied by significant emissions of greenhouse gases. Environmental and energy advantages of the technology, namely the lack of wastewater, as well as GHG emissions reduction to 28 times are presented.

Key words: *recycling, phosphogypsum, ecological safety, energy consumption, wastewater, greenhouse gas, processing technology.*

Постановка проблемы. Экологическая опасность технологического процесса утилизации фосфогипса при переработке его в строительные материалы характеризуется высоким уровнем использования топливно-энергетических ресурсов, образованием твердых или жидких отходов, значительными выбросами газообразных загрязняющих веществ в атмосферу, а также наличием различного вида вредных излучений.

Уровень использования топливно-энергетических ресурсов на реализацию какого-либо процесса оценивается удельными затратами первичной энергии на единицу валового внутреннего продукта страны (энергоемкость ВВП) [1].

Энергоемкость ВВП Украины в 2,6 раза превышает средний уровень энергоемкости ВВП стран мира (рис. 1).

Одной из причин высокой энергоемкости в Украине есть высокое потребление энергетических ресурсов в конкретных технологиях на производство единицы продукции, а также причиной высокой энергоемкости является технологическое отставание в большинстве отраслей промышленного производства.

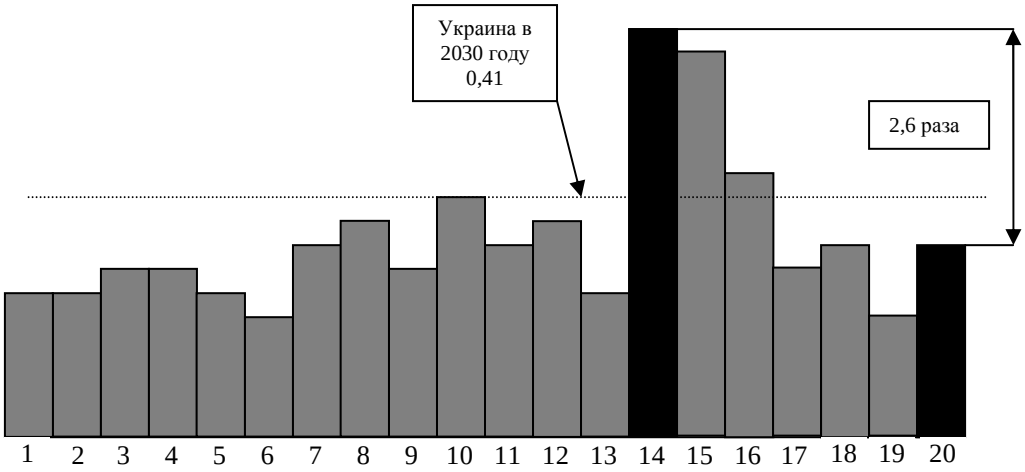

Рис. 1. Энергоемкость ВВП стран мира, кг у.т./$ США:
1 – Австрия; 2 – Дания; 3 – Франция; 4 – Германия; 5 – Испания; 6 – Великобритания; 7 – Швеция; 8 – Финляндия; 9 – Польша; 10 – Чехия; 11 – Венгрия; 12 – Литва; 13 – Турция; 14 – Украина; 15 – Россия; 16 – Белорусь; 17 – Австралия; 18 – Китай; 19 – Япония; 20 – в мире

Одной из стратегических целей, сформулированных в Энергетической стратегии Украины до 2030 года [1], является создание малоэнергоемкой и малоресурсоемкой экономики путем внедрения новых технологий на основе сохранения безопасности жизненного пространства человека. Опережение темпов экономического роста по сравнению с темпами потребления энергоресурсов должно обеспечить до 2030 года достижение среднего мирового уровня показателей энергетической эффективности.

Таким образом, в Энергетической стратегии Украины сформулирован основной критерий оценки эффективности – расход условного топлива на единицу ВВП. Что касается технологического процесса, то здесь в качестве такого критерия выступает расход условного топлива на единицу готовой продукции. Технологический процесс представляет собой совокупность необходимых технологических операций, выполняемых последовательно во времени с целью получения готового продукта.

Анализ последних исследований и публикаций. В технологиях утилизации фосфогипса путем превращения его в строительные материалы и изделия применяют несколько вариантов последовательности технологических операций. Первый вариант: репульпация, механическое удаление влаги в фильтрах, сушка, обжиг в гипсоварочных котлах или других тепловых агрегатах, помол [2]. Второй вариант: репульпация, тепловая обработка в автоклаве, механическое удаление влаги в фильтрах (вакуум-фильтры, пресс-фильтры), сушка, помол [3]. Третий вариант: репульпация, механическое удаление влаги в фильтрах, тепловая обработка в автоклаве, механическое удаление влаги в фильтрах, сушка, помол [3].

Затраты тепловой энергии в технологическом процессе с использованием топлива определяются технологическим коэффициентом полезного действия агрегата, в котором осуществляются реакции превращения исходных компонентов в готовый продукт.

Фактические затраты на тепловую обработку гипсового камня, по среднестатистическим данным в отрасли, представленным В.В. Иваницким [4], килограмм условного топлива на тонну вяжущего:

– гипсоварочные котлы 43,3 (= 0,46);
– сушильные барабаны 55,0 (= 0,36);
– автоклавы 123,7 (=0,032).

Тепловой процесс считается экономичным, если технологический коэффициент полезного действия превышает 0,5. Как следует из приведенных выше данных, его величина в технологии производства гипсовых вяжущих оставляет желать лучшего. Использование автоклава в качестве теплового агрегата является наименее выгодным

решением с точки зрения экономии топлива, но именно автоклав наиболее распространен в технологиях утилизации фосфогипса. Основным недостатком известных технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные материалы и изделия является значительный расход тепловых ресурсов на единицу готовой продукции.

Второй недостаток большинства эксплуатируемых в мире технологий переработки фосфогипса в вяжущие и изделия – обязательный процесс добавления воды для отмывки фосфогипса от водорастворимых примесей. Часть воды, добавленной к фосфогипсу, механически удаляют. После удаления из фосфогипса эта вода превращается в сточные воды.

Для механического удаления воды применяют вакуум- и пресс-фильтры. Фильтры потребляют значительное количество электрической энергии, а вода, отжатая из материала, подлежит обеззараживанию. В связи с чем создается новая проблема: обезвреживание сточных вод [5–7]. Оставшуюся после механического удаления воду из фосфогипса, как правило, испаряют при помощи тепловой обработки.

Отмывка водой приводит к значительному увеличению энергетических затрат, поскольку воду сначала механически отжимают в фильтрах (увеличивается расход электроэнергии), затем ее испаряют в сушилках (расходуется топливо – повышается расход тепловой энергии).

Образование в технологическом цикле сточных вод имеет побочное негативное влияние на окружающую среду и требует дополнительно строительства очистных сооружений.

Третий недостаток существующих технологий утилизации фосфогипса – наличие значительного количества газообразных выбросов в окружающую среду. Повышение расхода сжигаемого топлива сопровождается увеличением выбросов парниковообразующих газов, таких как углекислый газ и пары воды.

По сравнению с производством вяжущих из природного сырья такие технологические линии оборудованы большим количеством машин, что увеличивает металлоемкость технологии, а значит, капитальные и эксплуатационные затраты.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Таким образом, массовое использование фосфогипса взамен природного гипсового камня сдерживается отсутствием экономически выгодных и экологически чистых технологических процессов переработки этих отходов [5–6]. Технологические линии составлены из громоздких, металлоемких и энергоемких машин.

Наиболее приемлемым направлением повышения экологической безопасности и экономической целесообразности превращения фосфогипса в вяжущие является нейтрализация примесей в фосфогипсе без добавления воды [4–7] и создание безавтоклавной технологии утилизации фосфогипса.

Цель статьи – проанализировать влияние на окружающую среду существующих технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные смеси и показать экологические и энергетические преимущества предложенной технологи.

Изложение основного материала. На основании проведенных нами исследований предложена технология [8] изготовления строительных изделий из свежего фосфогипса, основанная на том, что излишнюю влагу химически связывают с помощью полугидрата сульфата кальция. Полугидрат сульфата кальция получают путем обжига во взвешенном состоянии отвального фосфогипса.

Смесь фосфогипса свежего и полугидрата сульфата кальция (ПСК), полученного из фосфогипса отвального, активируют на протяжении 1–4 минут. Затем смесь направляют в пресс, где формуют изделия путем прессования (рис. 2).

Предложенная технология позволяет получить строительные изделия стандартного качества, по упрощенной технологии, без загрязнения окружающей среды сточными водами, с меньшим выбросом газообразных загрязняющих веществ в атмосферу и сниженным расходом энергетических ресурсов.

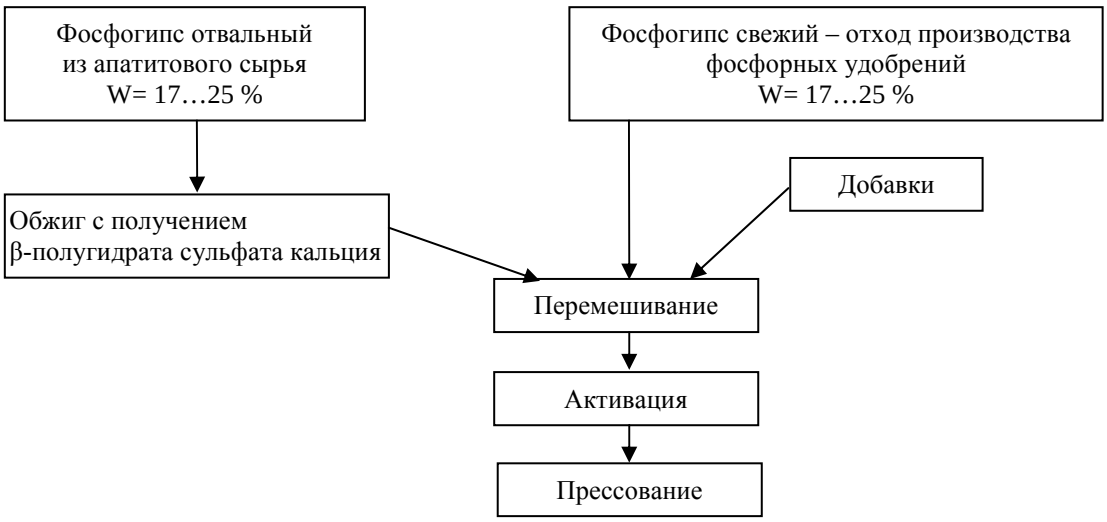

Рис. 2. Технология совместной утилизации свежего и отвального фосфогипса

Также при реализации предложенной технологии снижается расход топлива. В качестве аналога для сравнения приняты показатели работы технологической линии, установленной в г. Воскресенске Московской области Российской Федерации (ПО «Минудобрения») по разработкам фирм КНАУФ («Джиулини») по данным [7].

Ниже приведены сравнительные показатели по расходу топлива на тепловую обработку фосфогипса (табл. 1). При составлении табл. 1 были приняты следующие допущения: начальная влажность свежего фосфогипса – 35 %, механическим способом удалено по технологии «Джиулини» – 15 % влаги, по предлагаемой технологии такое же количество влаги удалено химическим способом.

Таблица 1

Показатели потребления топлива на утилизацию фосфогипса

Технология утилизации	Расход топлива на сушку фосфогипса, кг у. т/т ПСК	Расход топлива на образование ПСК, кг у. т/т ПСК	Суммарный расход топлива, кг у. т/т ПСК	Количество ПСК в 1 т продукта, %	Расход топлива на 1 т продукта, кг у. т/т продукта
«Джиулини»	50,0	123,7	173,7	100,0	173,7
Предлагаемая	50,0	30,0	80,0	10,0	8,0

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, предложенная технология отличается низкими затратами топливных ресурсов. Так, общий расход условного топлива на тонну готовой продукции по известной технологии составляет 173,7 кг, а предлагаемая технология характеризуется расходом условного топлива 8,0 кг, что в 21 раз ниже.

Также предложенная технология способствует избеганию образования сточных вод. По данным Т.М. Матвеевой, Т.И. Карху, Н.Б. Антоничевой, В.А.Терехова [7], затраты на утилизацию 1 тонны стоков технологической линии по переработке фосфогипса в вяжущие на Воскресенском ПО «Минудобрения» составляют в денежном выражении сумму, примерно равную стоимости производства 1 тонны вяжущего. Количество сточных вод на 1 тонну вяжущего – около 2,5 т. Иными словами, затраты на утилизацию сточных вод по технологии фирмы «Джиулини» превышают в 2,5 раза затраты на производство вяжущего.

В предлагаемой нами технологии утилизации фосфогипса сточные воды отсутствуют, поскольку в технологической линии нет операции механического удаления влаги из фосфогипса.

Газообразные выбросы. В связи с ужесточением требований к защите окружающей среды появилась настоятельная необходимость снижения образования этих выбросов в химических технологиях.

Сравнительная характеристика выхода газов в тоннах на 1 тонну готовой продукции по известной и предлагаемой технологии представлена в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные показатели выхода газов при переработке фосфогипса

Наименование технологии	Удельный выход, т/т продукта			
	Сточные воды	Отходящие газы		
		всего	в т. ч.	
			CO_2	H_2O
КНАУФ («Джиулини»)	2,5	4,65	0,24	0,810
Предлагаемая	0	0,208	0,01	0,028

Годовой выброс газов при производительности технологической линии 200 000 т/год: технология КНАУФ («Джиулини»):

всего газов – 4,65 · 200000=930 000 т;

в том числе:

– углекислого газа – 48 000 т;

– водяных паров – 162 000 т;

предлагаемая технология:

– всего газов – 0,208 · 200 000=41 600 т;

в том числе:

– углекислого газа – 2000 т;

– водяных паров – 5600 т.

Сравнение параметров выбросов газов показывает, что общее количество газов, выбрасываемых в атмосферу, снижается более чем в 20 раз, уменьшение парниковообразующих газов составляет: углекислый газ – в 24 раза, пары воды – в 28 раз.

Выводы. Проанализированы основные недостатки известных технологий утилизации фосфогипса при переработке его в строительные материалы и изделия: значительная энергоемкость, образование сточных вод и парниковых газов. Показано, что предлагаемая технология является энергосберегающей, поскольку расход тепловой энергии на единицу готовой продукции снижается ориентировочно более чем в 20 раз, по сравнению с технологией фирм КНАУФ («Джиулини»), которая внедрена в г. Воскресенске Московской области. Также показано, что предлагаемая технология является экологически чистой, т. к. выбросы загрязняющих газообразных веществ в атмосферу снижаются более чем в 20 раз. Предложенная технология характеризуется полным отсутствием сточных вод.

Список использованных источников

1. *Энергетическая* стратегия Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN38530.html.

2. *Технологические* основы изготовления гипсовых изделий по энергосберегающей «мокрой» технологии : сб. трудов ВНИИстром / [В. В. Иваницкий, Л. Я. Клыкова, И. Н. Белков, Н. Б. Сорокин]. – 1989. – Вып. 67(95). – 134 с.

3. *Воробьев Х. С.* Гипсовые вяжущие и изделия / Х. С. Воробьев // Технологические основы изготовления гипсовых изделий по энергосберегающей «мокрой» технологии / [В. В. Иваницкий, Л. Я. Клыкова, И. Н. Белков, Н. Б. Сорокин]. – М. : Стройиздат, 1983. – 230 с.

4. *Иваницкий В. В.* Номенклатура, технология и оборудование для изготовления эффективных гипсовых материалов и изделий / В. В. Иваницкий // Сб. трудов ВНИИстром. – 1982. – Вып. 48(76). – 551 с.

5. *Ахмедов М. А.* Фосфогипс. Исследование и применение / М. А. Ахмедов, Т. А. Атакузиев. – Ташкент : ФАН, 1980. – 171 с.

6. *Гипсовые* вяжущие повышенной прочности и водостойкости из фосфогипса / В. В. Иваницкий, Л. Я. Клыкова, Ж. П. Байканов, В. П. Плетнев // Строительные материалы. – 1983. – № 9. – С. 12–14.

7. *Исследование* вторичных вод производства высокопрочного вяжущего из фосфогипса : сб. трудов ВНИИстром / [Т. М. Матвеева, Т. И. Карху, Н. Б. Антоничева, В. А. Терехов]. – 1984. – Вып. 52 (80). – 142 с.

8. *Іващенко Т. Г.* Екологічно безпечні процеси утилізації фосфогіпсу і конверторного шлаку : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Т. Г. Іващенко. – К., 2010. – 24 с.