

УДК 66.047

І.О. Гузьова, Г.В. Кебало, Х.А. Крамар
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної інженерії

КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ФОСФОГІПСУ

© Гузьова І.О., Кебало Г.В., Крамар Х.А., 2014

Вирішено проблеми утилізації та використання фосфогіпсу. Обрано найоптимальніший та економічно обґрунтований метод сушіння фосфогіпсу, а саме: фільтраційний метод сушіння. Проведені експериментальні дослідження з кінетики сушіння фосфогіпсу.

Ключові слова: фосфогіпс, кінетика, сушіння, тепловий агент.

This article is devoted to solving problems of disposal and use of phosphogypsum. Chosen as the most optimal and economically feasible method of drying phosphogypsum, namely filtration drying method. Experimental study on drying kinetics of phosphogypsum.

Key words: phosphogypsum, kinetics, drying, thermal agent.

Виробництво і застосування фосфорних добрив продукує значні обсяги відвалів фосфогіпсу – твердих відходів, до складу яких зараховано важкі метали, такі як кадмій та свинець. Основну масу фосфогіпсу, що утворюється, сьогодні скидають у відвали. Транспортування фосфогіпсу у відвали і його збереження пов’язані з великими капітальними й експлуатаційними витратами, що сягають від 40 % від вартості спорудження й експлуатації основного виробництва, і ускладнюють роботу заводів [3].

Незважаючи на гідроізоляцію днищ відвалів, тривалий термін зберігання твердих відходів виробництва, зокрема фосфогіпсу, призводить до проникнення токсичних речовин у ґрунт і їх фільтрацію, формуючи з часом ареали забруднень.

Сьогодні фактично відсутні методи прогнозування можливих забруднень навколишнього середовища та моделювання процесів міграції подібних елементів важких металів у ґрунтах.

У зв'язку з цим перспективним і актуальним напрямком досліджень для України є розроблення заходів захисту ґрунтів від негативного впливу токсичних сполук, що містяться у відвалах.

Постановка проблеми. Фосфогіпс доцільно застосовувати у виробництві гіпсових в'язучих і виробів на їх основі, а також у цементній промисловості. Для отримання в'язучих на його основі необхідна дегідратація до напівгідрату сульфату кальцію або ангідриту, яку проводять переважно за температури 110–200 °С.

Крім перерахованих особливостей, фосфогіпс містить водорозчинні домішки, що ускладнює схему переробки відходів (промивання, нейтралізацію тощо) порівняно з переробкою природного гіпсового каменю. У свіжому фосфогіпсі після промивання на фільтрах цеху екстракційної фосфорної кислоти (ЕФК) залишається від 0,5 до 1,5 % водорозчинного P_2O_5 , приблизно 0,3–0,4 % P_2O_5 у вигляді гідрофосфат-іона (HPO_4^{2-}) знаходиться у співосадженому вигляді – у структурі дигідрату. Це вимагає сушіння та кондиціонування фосфогіпсу перед застосуванням.

Застосування фосфогіпсу як мінералізатора сприяє поліпшенню процесу випалу, зниженню витрати палива, підвищенню продуктивності печей і якості клінкеру, збільшенню терміну служби футерування цементних печей. Відомо, що присутні у фосфогіпсі сліди вільних фосфорної і сірчаної кислот, розчинних солей, а також надлишок вологи, сповільнюють тверднення і знижують міцність в'язучих.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Утилізація фосфогіпсу можлива у цементній промисловості (як мінералізатор під час випалу і добавки до цементного клінкеру), для хімічної меліорації солонцевих ґрунтів, для одержання сульфату амонію, цементу і сірчаної кислоти, елементної сірки, вапна, гіпсових в'язучих матеріалів і виробів з них та за іншими напрямками [1 – 3].

Для використання у цементному виробництві фосфогіпс гранулюють і підсушують у барабанних сушарках до вмісту гігроскопічної вологи близько 5 %. Аналіз наявних літературних джерел показав, що здебільшого на процеси сушіння у барабанних сушарках використовується у 2,5–3 рази більше енергії від необхідної для перетворення вологи у пару, що свідчить про недосконалість технології сушіння таким методом [4 – 6]. Крім того, барабанні сушарки є громіздким обладнанням з недосконалою ізоляцією. На основі наведеного можна стверджувати, що дослідження, скеровані на вивчення питань, пов'язаних з вибором прогресивних методів сушіння, є актуальними, мають велике економічне і народногосподарське значення.

Формулювання мети роботи. Аналізуючи літературні джерела, необхідно дослідити кінетику сушіння фосфогіпсу шляхом профільтрування теплового агента у напрямку “вологий фосфогіпс – перфорована перегородка контейнера”.

Виклад основного матеріалу. Фосфогіпс – дрібнодисперсний вологий порошок. Після підсушування стає сипким, має схильність до утворення грудок. В умовах тривалого зберігання злежується. Це створює великі труднощі під час відвантаження відвального фосфогіпсу та його дозування у процесі перероблення. Фосфогіпс проявляє тиксотропні властивості, тобто здатний розріджуватися під час механічних впливів (вібрації, перемішування, струшування).

Дослідження кінетики фільтраційного сушіння фосфогіпсу проводили так: за сухим матеріалом встановлювали необхідну швидкість фільтрування теплового агента. Включали вентилятор і калорифер і після досягнення заданої температури, яка вимірювалась і підтримувалась за допомогою пристрою ЦР-7260 з точністю до $\pm 0,4^0C$, включали вакуум-насос і контейнер з вологим матеріалом встановлювали на ресивер. Отже, сушіння відбувалося профільтруванням теплового агента у напрямку “вологий матеріал – перфорована перегородка контейнера”. Через задані проміжки часу фіксували зміну ваги контейнера за допомогою ваги ВЛКТ–500-М з точністю до 0,01 г. Якщо вага контейнера протягом 120 – 180 с залишалась незмінною, дослід припиняли.

Вивчення кінетики фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів є одним з головних етапів визначення швидкості перебігу процесу, відповідно його кінцевого часу та оптимальних режимів

сушіння. Необхідно знайти такий режим, щоб за мінімальної тривалості сушіння та найменшої витрати тепла отримати найкращі властивості матеріалу. Саме тому під час узагальнення результатів дослідження кінетики фільтраційного сушіння необхідно вивчити вплив параметрів процесу (температури та швидкості руху теплового агента), а також геометричних розмірів об'єкта на характер зміни вологості досліджуваних матеріалів в часі. Характер кінетичних кривих буде насамперед визначатися структурними особливостями досліджуваного матеріалу, тепло- та вологообміном як між поверхнею тіла та навколишнім середовищем, так і перенесенням вологи у середині тіла. На механізм перенесення тепла та маси у середині тіла і на технологію сушіння впливатиме форма зв'язку вологи з матеріалом. Усі наведені чинники і будуть обґрунтовувати перебіг фільтраційного тепломасообміну під час сушіння фосфогіпсу.

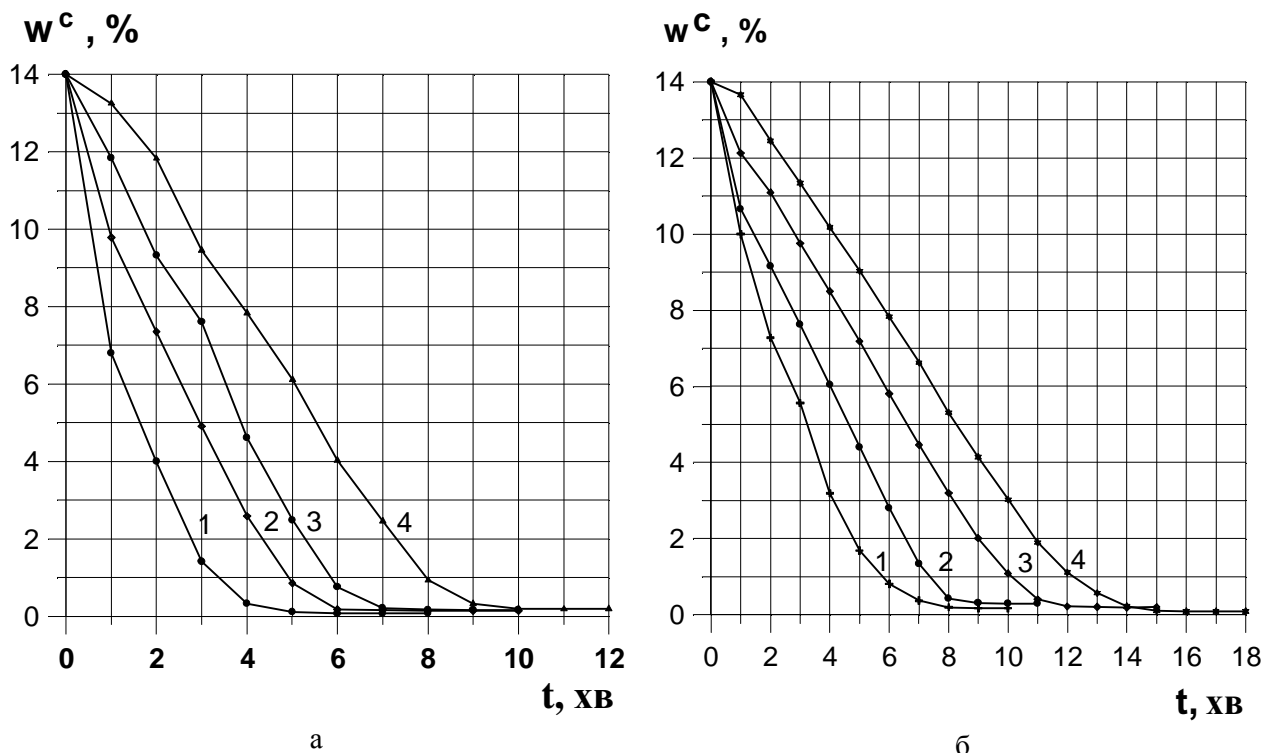


Рис. 1. Зміна вологості у часі для різних висот шару фосфогіпсу $H, \text{ м}$:
 а – швидкість руху теплового агента $\omega = 3 \text{ м/с}$; б – швидкість руху теплового агента $\omega = 1.2 \text{ м/с}$

$$T=50 \text{ }^{\circ}\text{C}; 1 - 30 \cdot 10^{-3}; 2 - 45 \cdot 10^{-3}; 3 - 60 \cdot 10^{-3}; 4 - 75 \cdot 10^{-3}$$

Були проведені дослідження з вивчення зміни вологості фосфогіпсу у часі за різних швидкостей руху теплового агента та за різних висот вологого матеріалу. Результати досліджень зображено на рис. 1. Дослідження проводились згідно з методикою, описаною вище.

На рис. 1. показано результати досліджень зміни вологості фосфогіпсу у часі за швидкостей $\omega = 1,2 \text{ м/с}$; $\omega = 3 \text{ м/с}$, температури теплоносія $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ для різних висот.

Температура та діапазон швидкостей були вибрані згідно з технологічними умовами щодо сушіння фосфогіпсу у промислових умовах [4 – 6].

З рис. 1, а бачимо, що зі збільшенням висоти шару вологого матеріалу час сушіння зростає. Якщо вологий матеріал заввишки 30 мм досягає кінцевої вологості за 4 хв, то шар заввишки 75 мм – за 8 хв. Тобто із збільшенням висоти приблизно в 2.5 рази час сушіння зростає у 2 рази.

Також порівнявши два графіки (рис. 1, а та б) бачимо, збільшення швидкості руху теплового агента позитивно впливає на швидкість процесу сушіння і відповідно зменшує його час. Так, для висоти шару 60 мм зі збільшенням швидкості від 1.2 до 3 м/с час сушіння зменшується майже у 2 рази.

Аналізуючи кінетичні криві фільтраційного сушіння фосфогіпсу, можна зробити такі висновки.

Як бачимо із графічних залежностей (рис. 1), за різних параметрів процесу сушіння кінетичні криві характеризуються чітко вираженим першим і другим періодами.

Враховуючи структурну будову шару фосфогіпсу, характер зміни гідродинамічних параметрів у часі, а також кінетичні криві, можна зробити висновок, що на швидкість перебігу процесу сушіння має вплив як молярна, так і молекулярна дифузія, тому що до наскрізних каналів волога дифундує із зон (зсередини зернини матеріалу), через які не проходить тепловий агент.

На рис. 2. показана залежність швидкості сушіння від середнього вологовмісту вологого матеріалу. Як бачимо, у першому періоді швидкість сушіння є величиною сталою.

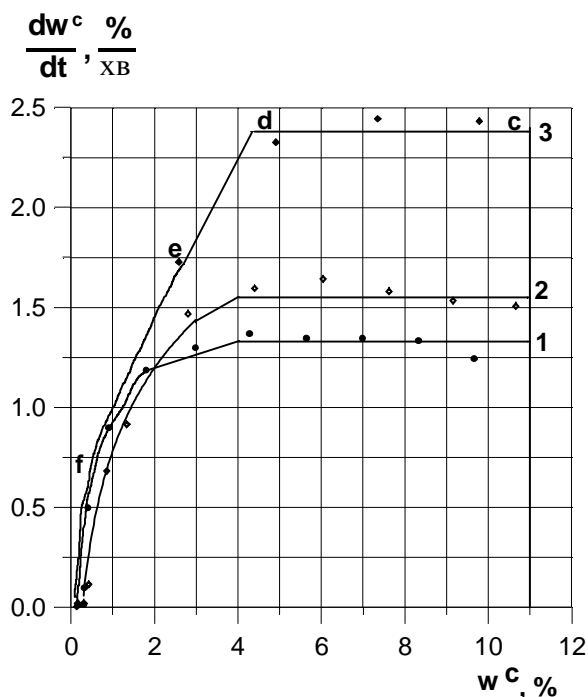


Рис. 2. Швидкість фільтраційного сушіння шару фосфогіпсу

заввишки 45 мм за швидкостей:

1 – $\omega = 1.2 \text{ м/с}$; 2 – $\omega = 1.8 \text{ м/с}$; 3 – $\omega = 3 \text{ м/с}$

Однак внаслідок досягнення зоною масообміну перфорованої перегородки висота першого періоду зменшується і відповідно сповільнюється інтенсивність сушіння, що відображено на графіку рис. 2.

У момент, коли фронт I періоду сушіння досягнув перфорованої перегородки, відбувається сушіння лише у II періоді, що також показано на цьому графіку [8].

Бачимо існування двох основних етапів видалення вологи (лінії c-d і e-f), між якими існує проміжний етап, позначений на рис. 2 лінією d-e, що відповідає досягненню фронтом масообміну перфорованої перегородки і зменшення зони сушіння у першому періоді дисперсного матеріалу до нуля. Такі явища підтверджують гіпотезу про зональний характер фільтраційного сушіння та умови існування першого періоду на кінетичній кривій фільтраційного сушіння.

Висновки. На основі огляду літературних джерел для сушіння фосфогіпсу вибраний найоптимальніший та економічно обґрунтований метод – фільтраційний метод сушіння. Проведені дослідження з вивчення кінетики сушіння фосфогіпсу.

1. Новиков А. А., Эвенчик С. Д. Использование фосфогипса: состояние, перспективы, задачи // Тр. НИУИФа. – 1983. – № 243. – С. 7–18. 2. Прокошева М. А., Торина Н. А., Щугаров Ю. А., Баранова Г. Н. Влияние хранения и применения фосфогипса на окружающую среду и рекультивацию нарушенных

земель // *Тр. НИУИФа.* – 1981. – № 239. – С. 59–64. 3. Копылев Б.А., *Технология экстракционной фосфорной кислоты.* – Л.: Химия, 1981. 4. Мазяр Г.О., Гузьова І.О. Фільтраційне сушіння фосфогіпсу: Зб. матер. 2-го Міжнар. конгресу. “Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”. – Львів, 2012. – С. 101. 5. Гузьова І.О., Мазяр Г.О. Фільтраційне сушіння фосфогіпсу: Зб. наук. пр. XIII наук. конф. “Львівські хімічні читання – 2011”. – Львів, 2011. – С. У94. 6. Мазяр Г.О., Гузьова І.О., Ханік Я.М. Вивчення гідродинаміки при фільтрації теплоносія крізь сухий шар фосфогіпсу // *Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідраліка і пневматика”.* – 2010. – № 1 (27). – С. 13 – 15. 7. Arun S. *Mijumdar Research and Development in Drying: Recent Trends and Future Prospects // Drying Technology; December 2004; Volume 22.* – No. 1. – P. 1 – 26. 8. Атаманюк В.М. Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: дисертація д-ра техн. наук. – Львів 2007.