

УДК 532.528

Т. М. ВІТЕНЬКО, д-р техн. наук, проф.

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, м. Тернопіль

О. Р. ГАЩИН, канд. техн. наук, доцент

Тернопільський інститут соціальних та інформаційних технологій, м. Тернопіль

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ПРИБОРІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

*На прикладі технології калійних добрив обґрунтовано доцільність застосування кавітаційної активації рідких середовищ у пристроях гідродинамічного типу з точки зору ресурсозбереження. Виконання даної технології забезпечить збільшення виходу добрива на 8–11 % за умови використання однакової кількості лангбейнітної руди.*

*На примере технологии калийных удобрений обосновано целесообразность использования кавитационной активации жидких сред в устройствах гидродинамического типа с точки зрения ресурсозбережения. Осуществление данной технологии обеспечит увеличение выхода удобрений на 8–11 % при использовании одинакового количества лангбейнитной руды.*

### Вступ

Удосконалення застарілих енерго-, ресурсомістких технологічних процесів і обладнання та підвищення їхньої ефективності є одним із перспективних напрямків досліджень. Слід зазначити, що розвиток ресурсозберігаючих технологій ґрунтується на проведенні комплексних наукових досліджень, які пов'язані з розробленням концепцій щодо використання уже відомих і принципово нових фізичних явищ.

Авторами статті, на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, сформульовано концепцію кавітаційної активації рідких середовищ, що є новим підходом до інтенсифікації процесів у гетерогенних системах [1]. На прикладі удосконалення технології калійних добрив у роботі обґрунтовано доцільність запропонованої концепції з точки зору ресурсозбереження.

Безхлорні калійні добрива на сьогоднішній день є основним екологічним засобом підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва. Для забезпечення необхідних умов землекористування річна потреба сільського господарства України в калійних добривах становить 1,2–1,5 млн тонн діючої речовини ( $K_2O$ ). Вітчизняне виробництво забезпечує дані потреби лише на 60%. Єдиний потужний виробник калійних добрив в Україні – завод калійних добрив ВАТ “Оріана” ( м. Калуш, Івано-Франківської обл.).

Технологічний процес виготовлення калійних добрив досить довготривалий і енергомісткий. Тому, актуальним залишається вирішення питань щодо модернізації промислового виробництва, запровадження інноваційних ресурсозберігаючих та енергозберігаючих технологій.

Авторами [2] запропонована технологія перероблення калійної руди з конверсією важкорозчинних мінералів з карналітом і карналітовим розчином у легкорозчинний каїніт. Під час розчинення руди утворюється насичений за калійно-магнієвими солями розчин. Конверсія важкорозчинного лангбейніту руди в каїніт з використанням як джерела  $MgCl_2$  карналіту, який утворюється при випарюванні залишкового шенітового розчину, сприяє здійсненню процесу у зволоженій сипкій суміші в териконах. Основою процесу конверсії є хімічна реакція:



Автор [2] припускає, що реакція конверсії відбувається на поверхні лангбейніту, а молекули води карналітового розчину сприяють розчиненню лангбейніту, який знаходиться

в нерівноважних умовах, та переходу його у розчин. Відзначимо, що конверсія лангбейніту у каїніт відбувається повільно. Даний процес триває 480 годин, при цьому досягається ступінь конверсії 65–80 %.

Одним із перспективних методів інтенсифікації даного процесу є зміна фізико-хімічних властивостей розчинника. Автором [1, 3–4] було встановлено, що застосування попереднього оброблення карналітового розчину у кавітаційному пристрої дає змогу прискорити процес конверсії, і тим самим збільшити вихід добрива. Підвищення розчинності лангбейніту відбувається за рахунок утворення мономерних молекул води, їхньої активації вільними радикалами та продуктами рекомбінації. Водночас, необхідно зазначити, що доцільність запропонованого методу інтенсифікації технологічного процесу повинна підтверджуватись і техніко-економічними показниками

Тому, метою даної роботи є обґрунтування ефективності ресурсозберігаючих технологічних рішень щодо використання кавітаційної активації рідких середовищ у технології безхлорних калійних добрив.

### Основна частина

У базовому варіанті, подрібнену полімінеральну калійну руду розчиняють у воді. В результаті утворюється ненасичений за йонами  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  розчин і нерозчинений залишок. Нерозчинений залишок відділяють від ненасиченого розчину і подають на конверсію зі зворотним карналітом і карналітовим розчином. Відповідно до запропонованої автором [3–4] технології, на конверсію подають розчин активований у кавітаційному модулі (рис. 1).

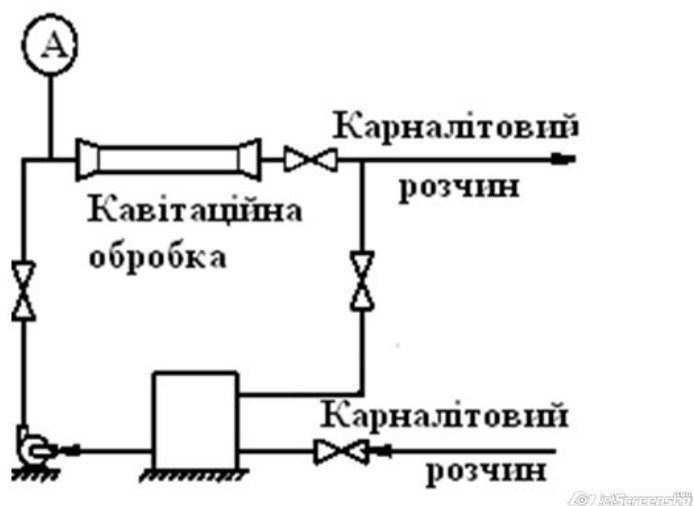


Рис. 1. Циркуляційний контур активації карналітового розчину

Оскільки процес конверсії лангбейніту у каїніт може протікати в діапазоні температур від  $15^{\circ}C$  до  $55^{\circ}C$ , тому досліджували декілька режимних параметрів активації карналітового розчину. Результати порівняння експериментальних досліджень щодо конверсії лангбейніту у каїніт з використанням активованого у кавітаційному пристрої розчинника і базової технології подано у таблиці 1.

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що попереднє оброблення карналітового розчину у кавітаційному пристрої прискорює процес конверсії лангбейніту у каїніт за всіх температурних режимів. Найменша ступінь конверсії спостерігається за температур  $15^{\circ}C$  і  $25^{\circ}C$  через те, що за низьких температур відсутнє поле кристалізації каїніту на діаграмі розчинності [2]. Найбільші значення ступеня конверсії спостерігаються в діапазоні температур  $35^{\circ}C \leq t \leq 45^{\circ}C$  – з підвищенням температури інтенсивність процесу конверсії зростає. За умов подальшого підвищення температури до  $55^{\circ}C$  спостерігається зменшення швидкості процесу, що пов'язано зі збільшенням поля кристалізації лангбейніту, який є стабільною фазою в системі  $K^+$ ,  $Mg^{2+} \parallel Cl^-, SO_4^{2-} (H_2O)$ . За таких умов загальна швидкість реакції конверсії сповільнюється [5].

## Результати експериментальних досліджень

№/п	Температура, t, °C	Ступінь конверсії за 480 годин, % (базова технологія)	Ступінь конверсії за 480 годин, % (застосування кавітаційної активації)
1	15	21,8	27,2
2	25	44,8	55,1
3	35	78,5	93,6
4	45	89,4	95,5
5	55	77,8	81,4

Параметри кавітаційного контуру і час активації розчину розраховували з врахуванням вимог технологічного процесу, енергетичних показників і експериментальних даних [6]. На основі результатів експериментальних досліджень було встановлено, що оптимальна активація карналітового розчину досягається за 6-ти кратної циркуляції через робочу ділянку кавітаційного модуля ( $n=6$ ). Алгоритм розрахунку кавітаційного модуля наведено на рис. 2.

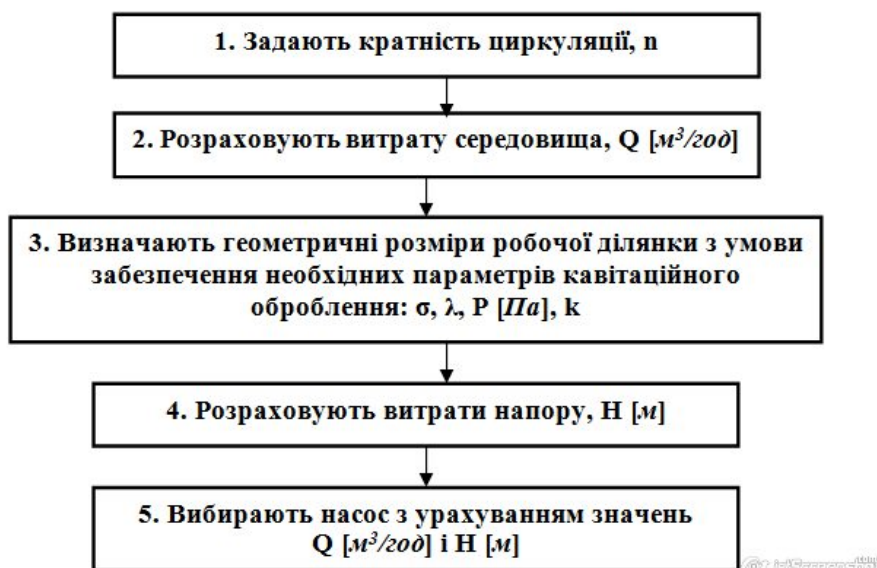


Рис. 2. Послідовність розрахунку кавітаційного модуля

Ефективність даної технології з точки зору ресурсозбереження оцінювали за результатами досліджень (табл. 1). Розраховували вихід добрива за різних температур процесу. Базою для розрахунку слугував усереднений вміст полімінеральної калійної руди, яку видобували для заводу калійних добрив концерну “Оріана” за 1985–1990 р.р. Вміст полімінеральної калійної руди такий: силвін – 3,6 %, каїніт – 20,1 %, лангбейніт – 11,5 %, галіт – 35,6 %, глина – 14,5 %.

Наведемо приклад розрахунку на 100 т руди за температури  $t = 55$  °C. Враховуючи ступінь розчинності лангбейніту (22 %), вихід добрива за різних ступеней конверсії становить:

- розчинилося  $11,5 \text{ т} \times 0,22 = 2,53 \text{ т}$  лангбейніту;
- конвертовано за  $55$  °C  $(11,5 - 2,53) \times 0,778 = 6,38 \text{ т}$  (неактивований процес),  
 $(11,5 - 2,53) \times 0,814 = 7,30 \text{ т}$  (активований процес).

Перерахунок на вміст  $\text{K}^+$  і  $\text{K}_2\text{O}$  у розчиненому і конвертованому лангбейніті:

неактивований процес

$(6,38 + 2,53) \times 0,1884 = 1,67 \text{ т}(\text{K}^+)$ , де 0,1884 – вміст  $\text{K}^+$  у лангбейніті;

$1,67 \text{ т} \times 1,204 = 2,01 \text{ т}(\text{K}_2\text{O})$ .

У калімагнезії за ТУ 6-05743160.002-94 вміст  $K_2O=30\%$ , тоді  $(2,01 \times 100) / 30 = 6,7$ т добрива:

активований процес

$$(7,30 + 2,53) \times 0,1884 = 1,85\text{т} (K^+),$$

$$1,85\text{т} \times 1,204 = 2,24\text{т} (K_2O),$$

$$(2,24 \times 100) / 30 = 7,47\text{т} \text{ добрива (калімагнезії) з вмістом } 30 \% K_2O.$$

Теоретичний вихід добрива із вказаного складу руди:

$$K^+ \text{ в лангбейніті} - 11,5 \text{ т} \times 0,1884 = 2,17\text{т};$$

$$K_2O \text{ в лангбейніті} - 2,17 \times 1,204 = 2,61\text{т};$$

$$\text{добрива із вмістом } 30 \% K_2O (2,61 \times 100) / 30 = 8,70\text{т}.$$

Отже, вихід добрива:

неактивований процес  $(6,7/8,7) \times 100 = 77,01\%$ ;

активований процес  $(7,47/8,7) \times 100 = 85,40\%$ .

Розрахунки виходу добрива виконували і для інших температур, оскільки ступінь конверсії залежить від цього параметру (табл. 1). Результати наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку виходу добрива

№	Температура, t, °C	Вихід добрива, % (неактивований процес)	Вихід добрива, % (застосування кавітаційної активзації)
1	15	17,01	21,15
2	25	56,93	64,94
3	35	83,10	95,06
4	45	91,95	96,55
5	55	77,01	85,40

Як видно із таблиці, в усіх досліджуваних температурних режимах за умови застосування активованого карналітового розчину вихід добрива збільшується на 8–11 %, у порівнянні до базової технології. Це підтверджує ресурсозберігаючий фактор запропонованого методу обробки карналітового розчину.

Розглянемо економічні показники запропонованої технології. Для здійснення модернізації необхідні капітальні вкладення у розмірі  $KB=80640$ грн, що містять вартість обладнання 62030грн і витрати на монтаж і транспортування 18610грн. Підприємство отримуватиме додатковий річний прибуток, за рахунок збільшення обсягів виробництва калійних добрив:

$$\Delta PP = (P_{np} - P_0) \cdot (C_0 - CB_0) \cdot E \cdot t, \quad (1)$$

де  $\Delta PP$  – додатковий річний прибуток підприємства, грн;

$P_{np}$  – обсяг виробництва калійних добрив за проектом,  $P_{np} = 854000$  т;

$P_0$  – обсяг виробництва калійних добрив за фактичними даними підприємства,  $P_0 = 770100$  т;

$C_0$  – ціна реалізації 1т калійних добрив,  $C_0 = 2500$  грн;

$CB_0$  – базова собівартість 1т калійного добрива  $CB_0 = 1089$  грн;

$E$  – додаткові витрати електроенергії (за рік) на циркуляцію води через гідродинамічний кавітаційний пристрій,  $E = 60000$  кВт·год.;

$t$  – тариф на 1 кВт·год електроенергії для підприємств (станом на 1.12.2010р.),  $t = 0,7015$  грн. Тоді:

$$\Delta PP = (854000 - 770100) \cdot (2500 - 1089) - 60000 \cdot 0,7015 = 118,3 \text{ млн грн.}$$

Було встановлено, що капітальні вкладення окупляться після оброблення 500 т сировини. Такі економічні показники підтверджують доцільність запровадження запропонованої технології. Окрім очевидного економічного ефекту, ресурсозберігаючі

технологічні рішення позитивно впливатимуть на екологічну ситуацію, оскільки технологія попередньої активації карналітового розчину дає змогу ефективніше використовувати руду та зменшити кількість відходів виробництва.

Подібного результату можна досягнути шляхом нагрівання карналітового розчину і постійного підтримання температури. У таблиці 3 наведено порівняння коефіцієнтів швидкості розчинення лангбейніту та енергії на активацію розчинника, за умови активації карналітового розчину у кавітаційному пристрої і його нагрівання.

Таблиця 3

## Порівняння розрахованих коефіцієнтів та енергії

	Метод впливу на розчинник	
	Кавітаційне оброблення	Нагрівання [7]
Збільшення $k$ , м/с	1,5 – 7 разів	1,1 – 3 рази
Енергія $E$ , МДж/м <sup>3</sup>	5 – 12	42 – 126

Аналіз поданих даних засвідчує, що попереднє кавітаційне оброблення карналітового розчину здійснює більший вплив на інтенсифікацію технологічного процесу, при цьому даний метод ефективніший з точки зору використання енергії та руди.

**Висновки**

Обґрунтовано технологічну ефективність та економічну доцільність застосування кавітаційної активації рідкої фази на прикладі технології виготовлення безхлорних калійних добрив. Встановлено, що попередня активація карналітового розчину у гідродинамічному кавітаційному пристрої дозволить збільшити вихід добрива на 8-11%, що у вартісному вираженні становить 118,3млн.грн. додаткового річного прибутку.

**Література**

1. Вітенько Т. М. Активація води в кавітаційному пристрої. Дослідження впливу на інтенсивність розчинення лангбейніту / Вітенько Т. М. // Хімічна промисловість України.– 2005.– № 3. – С. 18–21.
2. Хацевич О. М. Технологія перероблення полімінеральної калійної руди з конверсією важкорозчинних мінералів у каїніт: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів, 2007. – 20 с.
3. Вітенько Т. М. Механізм та кінетичні закономірності інтенсифікуючої дії гідродинамічної кавітації у хіміко-технологічних процесах: автореф. дис. ... докт. техн. наук; 05.17.08 – Львів, 2010. – 36 с.
4. Вітенько Т. М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних хімічних і біологічних процесах. Монографія / Вітенько Т. М. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ ім. І Пулюя, 2009. – 224 с.
5. Майструк І. М. Інтенсифікація процесів розчинення у трьохфазній системі при вакуумуванні: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук. – Львів, 2000. – 19 с.
6. Патент на корисну модель 40786 Україна, МПК<sup>7</sup> C01D 5/00. Спосіб перероблення полімінеральної калійної руди / Вітенько Т. М.; заявник і власник патенту ТДТУ ім. І. Пулюя.; опубл. 27.04.09 Бюл. № 8.
7. Каражанов Н. А. Основы кинетики растворения солей. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 192с.

**RESOURCE PROTECTION ASPECTS OF USING CAVITATIONAL DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES**

T. N. Viten'ko, D-r Scie. Tech., O. R. Gashchyn, Cand. Tech. Scie

On the example of potash fertilizers technology it has been justified the usage of cavity activation of liquids in hydrodynamic devices in the aspect of resource protection. Implementation of this technology will provide increased release of fertilizer up to 8-11 % when using the same quantity of langbeinite ore.

Поступила в редакцию 27.04 2011 г.