

УДК 669.712

Ю.П. Насекан <sup>(1)</sup>, професор, к.т.н.

П.В. Жмурков <sup>(2)</sup>, провідний інженер

В.М. Очинський <sup>(1)</sup>, ст. викладач

## ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВОПОТОКОВОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ГЛИНОЗЕМУ

<sup>(1)</sup> Запорізька державна інженерна академія,

<sup>(2)</sup> ВАТ «Миколаївський глиноземний завод»

Исследовано влияние затравочного отношения на процессы агломерации на начальных стадиях разложения алюминатного раствора. Получены зависимости для определения оптимального затравочного отношения, расчетной части производственного этапа, а также производительности декомпозиции.

Ключевые слова: декомпозиция, двухпоточковая схема, затравочное отношение, степень разложения, производительность

Досліджено вплив затравочного відношення на процеси агломерації на початкових стадіях розкладання алюмінатного розчину. Одержано залежності для визначення оптимального затравочного відношення, розрахункової частки продукційного етапу, а також продуктивності декомпозиції.

Ключові слова: декомпозиція, двопотокова схема, затравочне відношення, ступінь розкладання, продуктивність

Influence of initializing relation on the processes of agglomeration on the initial stages of decomposition of aluminate solution is investigated. Dependences for determination of optimal initializing relation, calculation part of the productional stage, and also productivity of decomposing are got.

Keywords: decomposing, twostream scheme, initializing relation, degree of decomposition, productivity

*Вступ.* Декомпозиція алюмінатних розчинів є однією з визначальних технологічних операцій виробництва глинозему, що забезпечує формування якісних характеристик гідроксиду алюмінію  $Al(OH)_3$  та значною мірою впливає на продуктивність всього циклу одержання глинозему.

Всі відомі технології декомпозиції алюмінатних розчинів передбачають розбавлення пересичених за оксидом алюмінію лужно-алюмінатних розчинів, введення затравочного  $Al(OH)_3$  та охолодження приготованої пульпи. Основними вимогами до декомпозиції є забезпечення високого ступеня розкладання лужно-алюмінатних розчинів, збільшення питомого виходу  $Al(OH)_3$  та одержання крупнозернистого продукту з мінімальним вмістом домішок, так званого глинозему піщаного типу. Ці показники залежать від каустичного модуля алюмінатного та маточного розчинів, температурного режиму декомпозиції, кількості, виду та якості затравки, тривалості розкладання розчину, кількості та видів домішок, що є присутніми в алюмінатному розчині, а також самої технології декомпозиції. За сучасних умов до дисперсних характеристик  $Al(OH)_3$  пред'являють особливі вимоги.

*Стан питання.* До гідроксиду алюмінію піщаного типу відносять матеріал, де

вміст фракцій  $-45$  мкм не перевищує 25 %. Одержання  $Al(OH)_3$  такого дисперсного складу можливо тільки під час використання режиму агломерації, що полягає в утворенні з високодисперсних часток затравочного  $Al(OH)_3$  агломератів з розмірами, які у декілька разів перевищують розміри часток затравки.

Відомо [1], що режим агломерації може бути забезпеченим за рахунок підвищення температури декомпозиції до  $95$  °С, значного зниження концентрації алюмінатного розчину та зменшення затравочного відношення в алюмінатній пульпі. Разом з тим, підвищення температури декомпозиції та зменшення затравочного відношення в алюмінатній пульпі призводять до різкого зниження глибини розкладання лужно-алюмінатного розчину та зменшення питомого виходу  $Al(OH)_3$ . Напроти, зниження температури декомпозиції та підвищення затравочного відношення в алюмінатній пульпі дозволяють збільшити глибину розкладання алюмінатного розчину до 50...55 % та стабілізувати дисперсний склад  $Al(OH)_3$ , але не забезпечують одержання глинозему піщаного типу. В світовій практиці виробництва глинозему використовують переважно технології декомпозиції із затравочним відношенням від 2,0 до 4,5; температурою розкладення розчинів у діапазоні  $75...50$  °С; поетапним введенням затравки з класифікацією твердої фази пульпи та використанням як продукційного  $Al(OH)_3$  тільки найбільш великих часток твердої фази [2].

Нами було запропоновано технологію двопотокової, або роздільної декомпозиції [3]. Її сутність полягає в тому, що затравочний  $Al(OH)_3$  вводять у два потоки. На I потоці або I етапі, який здійснюють за підвищеної температури ( $75...95$  °С) впродовж 6... 10 годин, затравочне відношення складає менше ніж 0,5. Ступінь розкладання розчину не перевищує 25 %, але при цьому активно відбуваються процеси агломерації затравочного  $Al(OH)_3$ . Ступінь агломерації становить 50...90 %. Тверду фазу відділяють і використовують як продукційний  $Al(OH)_3$ . До маточного розчину після відділення твердої фази (II потік) вводять обіговий затравочний  $Al(OH)_3$  із затравочним відношенням 2...4 і розкладають за температури  $40...50$  °С впродовж не менше 40 годин до каустичного модулю вище ніж 3,0. Після відділення твердої фази частину її використовують як обіговий затравочний  $Al(OH)_3$ , а маточний розчин подають на випарювання.

В роботі [4] розглянуто деякі показники декомпозиції та дисперсні характеристики одержаного  $Al(OH)_3$  і показана можливість одержання  $Al(OH)_3$  піщаного типу із збереженням високої глибини розкладання розчинів.

В роботах [5,6] досліджено показники розкладання алюмінатних розчинів за затравочних відношень від 0,1 до 0,5, дисперсні характеристики одержаної твердої фази, вплив температури та затравочного відношення на процеси агломерації. Показано, що основні залежності зберігаються і в циклових дослідах, а продукційний  $Al(OH)_3$  відповідає дисперсним показникам піщаного глинозему [3]. Виникла можливість і необхідність на основі одержаних результатів спрогнозувати технологічні показники, які спроможна забезпечити двопотокова схема виробництва глинозему.

*Постановка завдання.* На підставі результатів лабораторних досліджень провести розрахунки матеріального балансу співвідношення матеріальних потоків пульпи та спрогнозувати показники декомпозиції під час використання двопотокової роздільної схеми виробництва глинозему.

*Основна частина.* На відміну від загальноприйнятого способу декомпозиції, де вихід продукційного гідроксиду алюмінію  $Q$  (кг/м<sup>3</sup>·год.) визначають за формулою

$$Q = \frac{A \cdot \eta}{100 \tau_{\text{заг}}}, \quad (1)$$

де  $A$  – концентрація  $Al_2O_3$  в алюмінатному розчині,  $кг/м^3$ ;  $\eta$  – ступінь розкладання зазначеного розчину, %;  $\tau_{\text{заг}}$  – загальна тривалість декомпозиції, год., – для двопотокової схеми щогодинний вихід продукційного гідроксиду алюмінію  $Q_{\text{д.с.}}$ ,  $кг/(м^3 \cdot \text{год.})$ , складається з маси введеного  $Al(OH)_3$  у вигляді затравки на I потоці  $m_3$ ,  $кг/м^3$ , і маси  $Al(OH)_3$ , що утворюється під час розкладання пульпи на I потоці  $m_1$   $кг/м^3$ :

$$Q_{\text{д.с.}} = \frac{m_3 + m_1}{\tau_1} = \frac{A \cdot (100 \zeta \cdot \hat{a} + \eta)}{100 \tau_1}, \quad (2)$$

де з.в,  $\tau_1$  – затравочне відношення та тривалість розкладання на I потоці, год., відповідно.

Використання двопотокової схеми дає змогу застосовувати малі затравочні відношення на I потоці й одержувати продукційний, піщаний  $Al(OH)_3$  за короткий термін розкладання пульпи. Загальний вихід продукційного  $Al(OH)_3$  алюмінію  $\eta_{\text{заг}}$  за результатами попередніх дослідів [3] може сягати  $\eta_{\text{заг}} = 81,2 \%$  за з.в = 0,5 і  $\eta_1 = 31,2 \%$ . Склад алюмінатних розчинів, гранулометричний склад затравочного  $Al(OH)_3$ , а також умови та результати проведення I етапу декомпозиції, наведено у табл. 1-3.

**Таблиця 1** – Склад алюмінатного розчину,  $кг/м^3$

Найменування розчину	$Al_2O_3$	$Na_2O_{\text{заг}}$	$Na_2O_{\text{к}}$	$\alpha_{\text{к}}$ , од.	$SiO_2$	$Fe_2O_3$
1	158,1	156,6	140,2	1,46	0,78	0,021
2	154,0	156,5	141,5	1,51	0,78	0,021

Примітка:  $Al_2O_3$ ;  $SiO_2$ ;  $Fe_2O_3$  - вміст оксидів алюмінію, кремнію й оксиду заліза (III) в алюмінатному розчині відповідно;  $Na_2O_{\text{заг}}$ ,  $Na_2O_{\text{к}}$  - вміст  $Na_2O$  в алюмінатному розчині до та після обробки;  $\alpha_{\text{к}}$  - каустичний модуль

**Таблиця 2** – Гранулометричний склад затравочного  $Al(OH)_3$

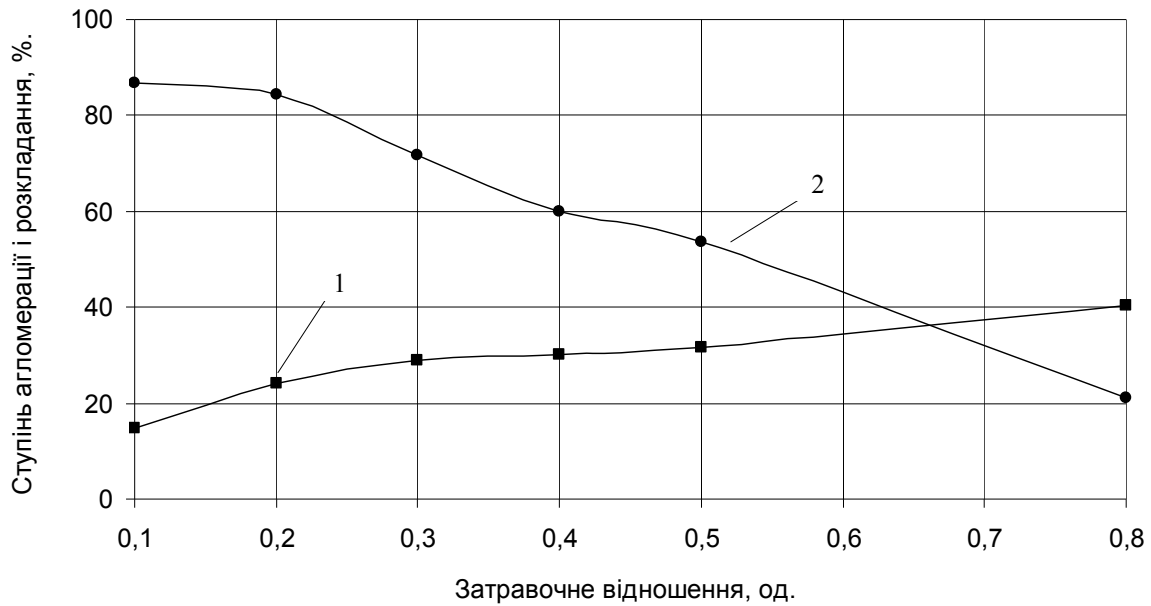
Розмір часток, мкм	-5	+5	+10	+15	+20	+30	+40	+45	+60	+80	+100	+125
Вміст, %	3,2	1,5	1,9	3,0	9,1	6,2	6,4	13,9	17,8	16,0	15,0	6,0

Наведені результати та показники розкладання алюмінатних розчинів за температури 73 °С свідчать, що використання двопотокової схеми дозволяє у широкому діапазоні регулювати як ступінь розкладання алюмінатних розчинів, так і ступінь агломерації  $Al(OH)_3$  (рис. 1).

З підвищенням з.в від 0,1 до 0,8 зростає загальна ступінь розкладання розчинів I потоку від 14,8 до 40,4 %, а ступінь агломерації  $Al(OH)_3$  знижується з 86,7 до 21,1 %. Як свідчать наведені результати, найбільшу ступінь агломерації спостерігають за з.в = 0,1...0,2 в інтервалі температур 70...90 °С упродовж 8...15 годин (крива 2, рис.1). Із зростанням тривалості I потоку (більше 15 год.) годинний вихід твердої фази знижується, що пов'язано з поступовим гальмуванням швидкості розкладання алюмінатної пульпи.

Приймаючи до уваги, що за промислових умов декомпозиції вихід продукційного  $Al(OH)_3$  зазвичай не перевищує 2  $кг/(м^3 \cdot \text{год.})$  використання двопотокової схеми

розкладання алюмінатних розчинів дає змогу підвищити питому продуктивність декомпозиції у декілька разів (табл. 3).



**Рисунок 1** – Залежності ступеню агломерації гідроксиду алюмінію та ступеню розкладання алюмінатного розчину на I етапі від затравочного відношення,  $t = 73\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 15\text{ год.}$ ,  $\alpha_a = 1,49 \dots 1,58$

**Таблиця 3** – Умови проведення та результати першого етапу декомпозиції

Умови проведення дослідів					Ступінь розкладання, %	Відсоток часток із розмірами, мкм		Ступінь агломерації, %	Загальний вихід $Al(OH)_3$ , ( $\eta_{заг}$ ), %	Вихід $Al(OH)_3$ , ( $Q_{д.с}$ ), кг/(м <sup>3</sup> ·год.)
номер розчину	номер затравочного $Al(OH)_3$	з.в	$t$ , °C	$\tau$ , год.		-45	+100			
1	1	0,1	72	15	14,8	4,6	11,3	86,7	24,8	2,61
1	1	0,2	90	20	12,4	1,4	7,9	96,1	32,4	2,56
1	1	0,5	72	15	31,2	11,5	0,4	67,3	81,2	8,56
1	1	0,8	72	8	27,6	20,4	–	41,6	107,6	8,10
1	2	0,1	75	10	22,0	8,9	13,4	90,1	32,0	5,06
2	2	0,2	75	10	24,4	10,8	7,6	87,9	44,4	6,84
2	2	0,2	70	10	28,6	20,3	8,1	77,3	48,6	7,48
2	2	0,5	60	8	33,1	64,8	–	27,6	83,1	16,00

Вибір затравочного відношення на I етапі залежить від запланованого ступеню агломерації, продуктивності декомпозиції та визначається ступенем і терміном розкладання алюмінатного розчину на II етапі. Повинен зберігатися годинний баланс кількості  $Al_2O_3$ , що буде одержано на II етапі та погодинної витрати затравочного  $Al(OH)_3$  на I етапі. В свою чергу, ступінь розкладання розчину на II етапі залежить від температури декомпозиції, затравочного відношення на ньому, а також терміну розкладання, каустичного модуля та складу маточного розчину на виході I етапу.

Кількість  $Al_2O_3$ , що виділиться на I етапі, становить

$$Al_2O_{3(1)} = \frac{A \cdot (\alpha_{i1} - \alpha_a)}{\alpha_{i1}}, \quad (3)$$

де  $Al_2O_{3(1)}$  – кількість  $Al_2O_3$ , що виділиться на I етапі, кг/м<sup>3</sup>;  $A$  – вміст  $Al_2O_3$  в алюмінієвому розчині, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_a$  – каустичний модуль алюмінієвого розчину;  $\alpha_{m1}$  – каустичний модуль маточного розчину на виході I етапу.

Загальна кількість  $Al_2O_3$ , що виділиться на двох етапах разом, становить:

$$Al_2O_{3(2)} = \frac{A \cdot (\alpha_{i2} - \alpha_a)}{\alpha_{i2}}, \quad (4)$$

де  $Al_2O_{3(2)}$  – загальна кількість  $Al_2O_3$ , що виділиться на двох етапах разом, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_{m2}$  – каустичний модуль маточного розчину на виході II етапу.

Тоді кількість  $Al_2O_3$ , що виділиться на II етапі, складає:

$$Al_2O_{3(2)} = Al_2O_{3(2)} - Al_2O_{3(1)} = \frac{A \cdot (\alpha_a \cdot \alpha_{i2} - \alpha_a \cdot \alpha_{i1})}{\alpha_{i1} \cdot \alpha_{i2}}. \quad (5)$$

Враховуючи, що тривалість декомпозиції I та II етапів є різною, повинно виконуватися рівняння:

$$\frac{Al_2O_{3(2)}}{\tau_1} = \frac{Al_2O_{3(2)}}{\tau_2}, \quad (6)$$

де  $Al_2O_{3(2)}$  – кількість оксиду алюмінію у затравці, що вноситься на I етапі, кг/м<sup>3</sup>;  $Al_2O_{3(2)}$  – кількість оксиду алюмінію, що виділиться на II етапі, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau_1, \tau_2$  – тривалість розкладання на I та II етапах, год., відповідно.

Із формули (6) можна обчислити кількість  $Al_2O_3$ , що вноситься кожної години на I етапі як затравку, тобто затравочне відношення на I етапі (з.в):

$$z.v = \frac{Al_2O_{3(2)}}{A} = \frac{Al_2O_{3(2)} \cdot \tau_1}{A \cdot \tau_2}, \quad (7)$$

Після підставлення значення  $Al_2O_{3(2)}$  з формули (5) до формули (7) отримують формулу для розрахунків затравочного відношення для різних умов декомпозиції:

$$z.v = \frac{Al_2O_{3(2)} \cdot \tau_1}{A \cdot \tau_2} = \frac{(\alpha_a \cdot \alpha_{i2} - \alpha_a \cdot \alpha_{i1}) \cdot \tau_1}{\alpha_{i1} \cdot \alpha_{i2} \cdot \tau_2}. \quad (8)$$

Графік залежності оптимального затравочного відношення від глибини розкладання алюмінієвих розчинів на I етапі за початкових каустичних модулів  $\alpha_a = 1,4$  та  $1,5$  наведено на рис. 2 (глибина розкладання розчину на II етапі –  $\alpha_{m2} = 3,5$ ).

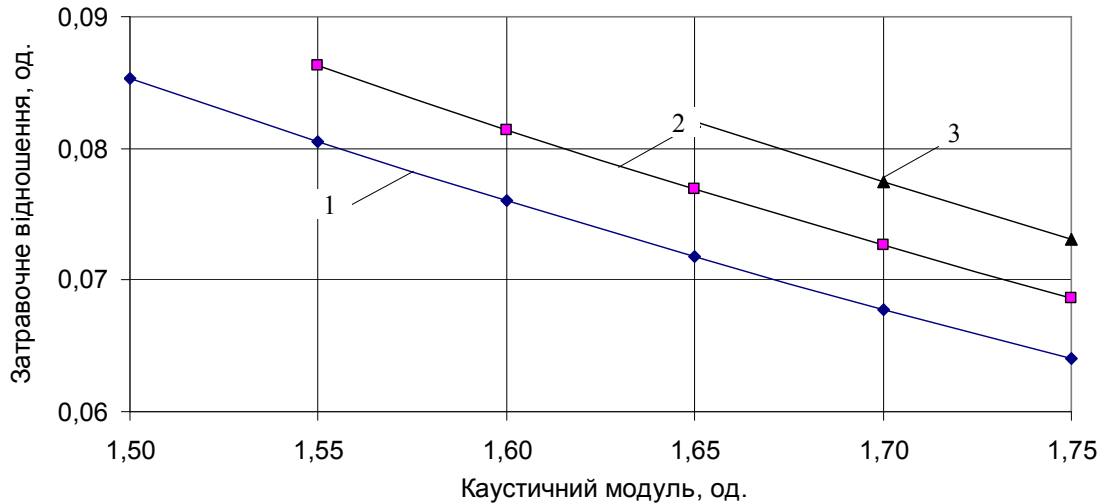
Результати розрахунків вказують, що значення з.в на I етапі декомпозиції знижується під час зростання ступеню розкладання алюмінієвого розчину та сягає свого мінімального значення 0,064 за його розкладанням до  $\alpha_{m1} = 1,75$  і початковим значенням  $\alpha_a = 1,4$  (рис. 2, крива 1).

Як свідчить аналіз формули (8), значення з.в на I етапі може бути підвищеним із зростанням  $\tau_1$ . Сприяє його підвищенню і збільшення  $\alpha_{m1}$  на I етапі.

Враховуючи, що рекомендований термін розкладання на I етапі складає 8...15 год., а максимальний каустичний модуль маточного розчину на II етапі 3,5...4,0 за тривалості 50...60 год., затравочне відношення на I етапі не перевищує значення 0,15.

Добову продуктивність  $Q$ ,  $\text{кг/м}^3 \cdot \text{доба}$ , двопотокової декомпозиції можна розрахувати за формулою (9)

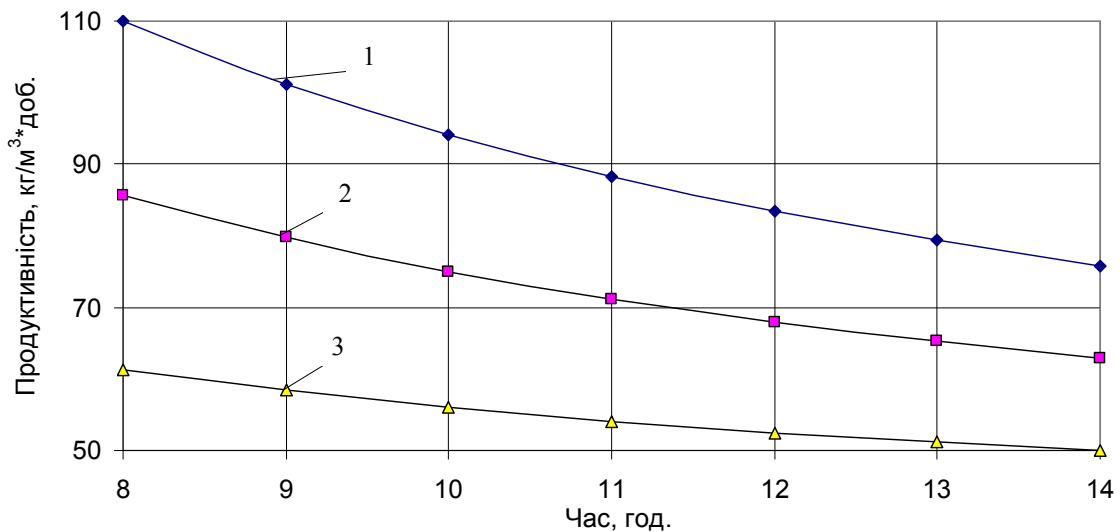
$$Q = \frac{24A \cdot (\alpha_{i1} - \alpha_a)}{\alpha_{i1}} \cdot \frac{(\alpha_a \cdot \alpha_{i2} - \alpha_a \cdot \alpha_{i1}) \cdot \tau_1}{\alpha_{i1} \cdot \alpha_{i2} \cdot \tau_2}, \quad (9)$$



1 - 1,4; 2 - 1,5; 3 - 1,6

**Рисунок 2** – Залежність затраточного відношення від ступеню розкладання на I етапі для алюмінатних розчинів з початковим каустичним модулем  $\alpha_a = 1,4; 1,5$  та  $1,6$  ( $A = 150 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ кг/м}^3$ ;  $\alpha_{m1} = 1,5 \dots 1,75$ ;  $\tau_1 = 8$ ;  $\tau_2 = 50$ ;  $\alpha_{m2} = 3,5$ )

Як приклад, на рис 3 наведено графік залежності продуктивності двопотокової схеми декомпозиції від тривалості проведення розкладання на I етапі.



Каустичний модуль  $\alpha_a$ : 1 - 1,4; 2 - 1,5; 3 - 1,6

**Рисунок 3** – Залежність продуктивності двопотокової схеми декомпозиції від часу розкладання на I етапі для алюмінатного розчину з  $\alpha_a = 1,4; 1,5; 1,6$  ( $A = 150 \text{ кг/м}^3 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ;  $\alpha_{m1} = 1,7$ ;  $\alpha_{m2} = 3,5$ ;  $\tau_2 = 50$ )

Таким чином, продуктивність двопотокової схеми декомпозиції зростає під час зменшення початкового каустичного модуля алюмінатного розчину та сягає  $110 \text{ кг/м}^3$

на добу за  $\alpha_a = 1,4$  і  $\tau_1 = 8$  (крива 1). Із зростанням часу розкладання на I етапі продуктивність схеми знижується для всіх модулів розчину.

Враховуючи, що розкладення пульпи з низьким затравочним відношенням пов'язано із низькими показниками розкладення первинного алюмінатного розчину та необхідністю виділення твердої фази  $Al(OH)_3$  з великих потоків розчинів, має сенс направляти на продукційний етап тільки частину загального потоку алюмінатного розчину.

Якщо позначити весь потік первинного алюмінатного розчину через 1, а потік продукційного етапу (I етапу) через  $x$ , то потік II етапу становить  $(1-x)$ . У такому разі до II етапу передається маточний розчин I етапу кількістю  $(x)$  та первинний алюмінатний розчин  $(1-x)$ .

За двопотокової схеми декомпозиції продукційний  $Al(OH)_3$  одержують тільки на I етапі.  $Al(OH)_3$ , що утворюється під час розкладання на другому II етапі використовують як затравку на I етапу процесу.

З огляду на це, маса затравки, яку вводять до I етапу, повинна дорівнювати масі  $Al(OH)_3$ , що утворюється на II етапі декомпозиції:

$$x \cdot m_1 = (1-x) \cdot m_2, \quad (10)$$

де  $m_1$  – маса затравки, що вводять на I етапі, кг/год.,  $m_1 = A \cdot a_1 / \tau_1$ ;  $m_2$  – маса  $Al(OH)_3$ , що вводять на II етапі, кг/год.,  $m_2 = A \cdot \eta_2 / \tau_2$ ;  $x$  – частка I потоку;  $(1-x)$  – частка II потоку;  $a_1$  – затравочне відношення на I етапі;  $\eta_2$  – вихід  $Al_2O_3$  на II етапі (ступінь розкладання розчину);  $\tau_1, \tau_2$  – час розкладання на I та II етапах, год., відповідно.

З урахуванням співвідношень (11) і (12) рівняння (10) має вигляд:

$$\frac{x \cdot A \cdot a_1}{\tau_1} = (1-x) \cdot \frac{A \cdot \eta_2}{\tau_2}. \quad (13)$$

Вирішуючи рівняння відносно  $x$ , можна записати

$$x = \frac{\eta_2 \cdot \tau_1}{a_1 \cdot \tau_2 + \eta_2 \cdot \tau_1}. \quad (14)$$

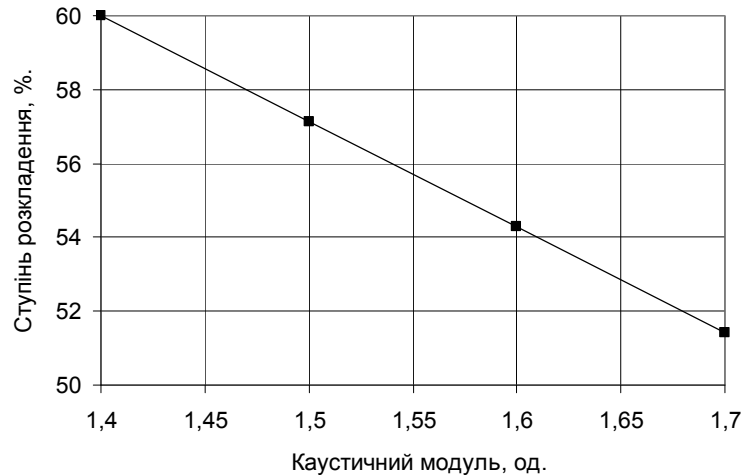
Формула (14) за заданих параметрів декомпозиції на I та II етапах дозволяє визначити розрахункову частку продукційного етапу. Величини  $\tau_1$  і  $\tau_2$  для розрахунків можна прийняти 8 і 50 годин відповідно.

Ступінь розкладення на II етапі  $\eta_2$  залежить від значення модуля алюмінатного розчину  $\alpha_a$ , (в нашому разі  $\alpha_{m1}$ ), і під час його зменшення, за постійної  $\alpha_{m2}$  ступінь розкладення зростає (рис. 4).

Як показують результати розрахунків, чим більше значення з.в. і каустичного модуля на I етапі, тим меншу частку становить цей етап від загального потоку. Так, під час зменшення з.в. від 0,5 до 0,1 частка I етапу знижується з 0,49 до 0,161 за каустичним модулем  $\alpha_{m1} = 1,4$  та від 0,451 до 0,141 за  $\alpha_{m1} = 1,7$ .

За параметрами технологічного режиму, що використовують у теперішній час на ВАТ «Миколаївський глиноземний завод», каустичний модуль алюмінатного розчину дорівнює  $\alpha_a = 1,5$ , концентрація алюмінатного розчину (за  $Al_2O_3$ )  $A = 150 \text{ кг/м}^3$ .

Відповідно до рекомендованих параметрів, за обраним оптимальним затравочним відношенням (з.в. = 0,2) частка потоку I етапу буде дорівнювати ( $x = 0,314$ ) або 31,4 % від усього алюмінатного розчину.



**Рисунок 4** – Залежність ступеню розкладення на II етапі від каустичного модуля алюмінатного розчину  $\alpha_{м1}$ , що надходить на II етап ( $\alpha_{м2} = 3,5$ )

*Висновки.* Запропоновано головні залежності, які дозволяють на основі фактичних показників глибини розкладання алюмінатного розчину на I і II етапах двопотокової схеми декомпозиції визначити оптимальне затравочне відношення на I етапі, частку загального потоку алюмінатного розчину, яку слід використовувати на I етапі, а також продуктивність декомпозиції.

#### ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Романов, Л. Г. Разложение алюминатных растворов [Текст] / Л. Г. Романов. – Алма-Ата : Наука, 1981. – 216 с. – Библиогр. : с. 205.
2. Иванов, А. И. Технология производства глинозема [Текст] / А. И. Иванов, Ю. П. Насекан, Л. П. Иванова. – Запорожье : РИО ЗГИА, 2005. – 262 с. – Библиогр. : с. 218.
3. Жмурков, П. В. Исследование раздельной схемы разложения алюминатных растворов с получением крупнозернистого гидроксида алюминия [Текст] / П. В. Жмурков, Ю. П. Насекан, Т. В. Кагирова // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2013. – Вип. 1(29). – С. 22-28.
4. Насекан, Ю. П. Дослідження механізму агломерації кристалів гідроксиду алюмінію в умовах високотемпературної декомпозиції [Текст] / Ю. П. Насекан, П. В. Жмурков, В. М. Очинський // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2012. – Вип. 2(27). – С. 42-48.
5. Особливості декомпозиції з малим затравочним відношенням [Текст] / Ю. П. Насекан, Є. О. Зайцев, В. М. Очинський, Т. В. Яригіна // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2009. – Вип. 20. – С. 44-50.
6. Дослідження процесів агломерації у глиноземному виробництві із застосуванням дисперсної затравки [Текст] / Ю. П. Насекан, Є. О. Зайцев, В. М. Очинський, Т. В. Яригіна // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2010. – Вип. 21. – С. 25-32.

Стаття надійшла до редакції 10.06.2014 р.  
Рецензент, проф. Г.О. Колобов