

КІНЕТИКА ЕКСТРАГУВАННЯ ЦІЛЬОВОГО КОМПОНЕНТА З ПООДИНОКОГО КАПІЛЯРА В УМОВАХ ВАКУУМУВАННЯ СИСТЕМИ

© Юрим М.Ф., Венгер Л.О., Гумницький Я.М., 2004

Експериментально досліджено кінетику екстрагування з поодинокого капіляра та порівняно результати дослідів в умовах вакуумування системи та механічного перемішування. Визначено кінетичні коефіцієнти для цього процесу.

The kinetics of abstraction from a solid phase is studied at vacuum operation of a system.

Постановка проблеми. Капілярно-пористі тіла складаються з твердого скелету, у порах якого знаходиться компонент, що підлягає екстрагуванню. Зрозуміти та вивчити механізм і кінетику цього процесу найкраще на поодинокому капілярі. У практиці з цією метою використовують модельні скляні капіляри, що дають змогу візуально досліджувати границю переміщення зони екстракції. Ця модель може розглядатись як тіло з ізотропною структурою, а екстрагування відбувається лише в одному напрямку, що спрощує математичний опис процесу.

Залежно від діаметра капіляра можливе виникнення руху рідини біля отвору капіляра.

На рис. 1 наведено схему розподілу концентрації в момент часу t . Тверда речовина A розчинилась на довжину L , що є границею розділу фаз. На границі встановлюється концентрація насичення C_s . У зоні B передача маси здійснюється молекулярною дифузією, у зоні B' – конвективною дифузією внаслідок руху рідини. У зоні B приймаємо прямолінійний розподіл концентрації з C_s до C' . У зоні B' концентрація змінюється до C_n . У подальшому компонент приходить у розчин, об'єм якого є досить великим, щоб прийняти концентрацію компонента в ньому незмінною.

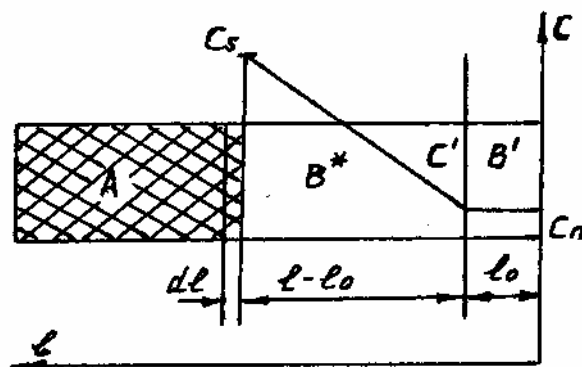


Рис. 1. Схема розподілу концентрацій у поодинокому капілярі:

A – тверда речовина, що підлягає екстрагуванню;

B – зона молекулярної дифузії; B' – зона конвективної дифузії

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В [1] наведено математичну модель і одержано точні та наближені розв'язки. Показано, що наближені розв'язки є більш зручними у користуванні, а відхилення від точного розв'язку не перевищує 6–8 %. Ці розв'язки стосуються гетерогенних реакцій у капілярі.

Нами одержано розв'язок задачі для умов розчинення при допущенні, що розподіл концентрацій має прямолінійний характер. Для зони конвективного масопереносу B' залежність між значенням L та часом t має вигляд:

$$L = \sqrt{\frac{2D_k}{\rho_s}} (C_s - C_n) \sqrt{t}, \quad (1)$$

де ρ_s – густина твердої фази, кг/м³; D_k – коефіцієнт масопереносу, м²/с. Відмітимо, що D_k визначається не лише фізичними властивостями, але і гідродинамікою.

Для зони молекулярної дифузії В кінетична залежність записується

$$L = L_0 + \sqrt{\frac{2 D (C_s - C_n)}{\rho_s}} \sqrt{t - t_0}, \quad (2)$$

де L_0 – довжина зони конвекції, м; t_0 – час екстрагування компонента в зоні В', с; D – коефіцієнт молекулярної дифузії, м²/с.

Експериментальні дослідження. Методика проведення експерименту полягала у такому. Виготовлені із скла лінійні капіляри завдовжки 30 мм і діаметром капіляра 0,8 мм заповнювались порошком КСІ і закріплювались в реакторі експериментальної установки у горизонтальному положенні. Реактор заповнювався до певного об'єму екстрагентом. У цьому випадку ним слугувала вода. Реактор нагрівався до температури кипіння. Після чого вмикався вакуум-насос і в реакторі створювався необхідний вакуум, який відповідав температурі кипіння екстрагента.

При досягненні сталого кипіння екстрагента до нього поміщався капіляр, заповнений порошком КСІ, і одночасно фіксувався час вивільнення капіляра від КСІ. Через певні проміжки часу візуально фіксувались розміри звільненого від КСІ об'єму капіляри у верхній його частині за допомогою мірної лінійки. Досліди проводились до повного звільнення капіляра від порошку КСІ.

Для порівняння ефективності запропонованого методу паралельно були проведені досліди за аналогічних умов, але без вакуумування системи. В обох випадках проведення експериментів, екстрагент перемішувався за допомогою магнітної мішалки при постійній кількості її обертів. На рис. 2 наведено результати експериментальних досліджень екстрагування КСІ з поодинокого капіляра, який розташовувався у реакторі в горизонтальному положенні. З графіка видно, що чітко відрізняються дві області: конвективної та молекулярної дифузії. В умовах без вакуумування границя між цими областями розмита і лежить на віддалі від вхідного отвору 4–4,4 мм. У системі з вакуумуванням ця границя пересувається значно далше і становить 12 мм. Це свідчить про значну інтенсифікацію процесу екстрагування. Практично за цей же час 120 с швидкість екстрагування зросла приблизно втричі, причому порівнюються області конвективної дифузії. Це означає, що для екстрагування потрібно провести подрібнення не до 3–4 мм, а до значно більших розмірів, зменшивши при цьому суттєво енергетичні затрати. Візуальні спостереження за процесом з вакуумуванням показали, що всередині капілярів у шарі рідини утворюється парова фаза, яка покидає капіляр, після чого у нього заходить свіжа рідина з великою швидкістю, що інтенсифікує розчинення і екстрагування.

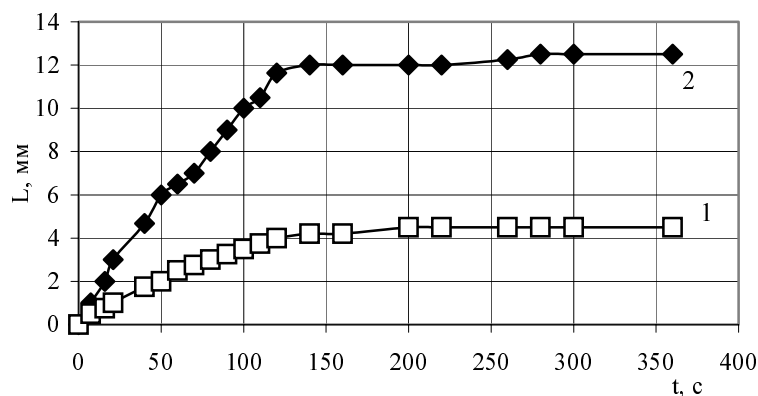


Рис. 2. Залежність швидкості пересування границі екстрагування L від часу t :
1 – механічне перемішування; 2 – механічне перемішування із застосуванням вакууму

Нами визначено за результатами експериментальних досліджень значення коефіцієнта внутрішньої дифузії D (область В на рис. 1). Для обох випадків ця величина дорівнює $2,8 \pm 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$. Для порівняння вкажемо значення коефіцієнта дифузії KCl у водному розчині при температурі досліду 70°C $D = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ [2]. Як видно, ці величини збігаються, що зв'язано з прямолінійністю капіляра та його значними розмірами. В той самий час у області В' для випадку без вакуумування значення коефіцієнта $D_k = 0,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, то для випадку вакуумування системи ця величина становить $3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, тобто наявний степінь інтенсифікації, що дорівнює приблизно 10.

Висновки. 1. Підтверджено можливість інтенсифікації процесів екстрагування при вакуумуванні системи.

2. Складено математичну модель процесу та визначено кінетичні коефіцієнти.

1. Аксельруд Г.А., Альтиулер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию. – М.: Химия, 1983. – 264 с. 2. Справочник химика. Т.3. – М.: Госхимиздат, 1966. – 1056 с.

УДК 661.183

Ю.О. Малик, І.М. Петрушка, Н.Ю. Бугакова

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра екології та охорони навколишнього середовища

ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ ПЕРЕБІГУ ХІМІЧНОГО РОЗКЛАДУ ГІПСУ РОЗЧИНОМ КАРБОНАТУ АМОНІЮ

© Малик Ю.О., Петрушка І.М., Бугакова Н.Ю., 2004

Згідно з проведеними дослідженнями доведено, що зростання числового значення константи швидкості хімічної реакції із підвищенням температури має домінуючий характер порівняно з коефіцієнтом внутрішньої дифузії.

According to the obtained experimental data is lead up, that the increase of numeric value of a constant of speed of a chemical change with ascending of temperature has the predominant factor as contrasted to by factor of internal diffusion

Постановка проблеми. Визначити область перебігу процесу розчинення гіпсу в карбонаті амонію залежно від температури взаємодіючих фаз та концентрації реагенту з метою утилізації фосфогіпсу – відходу виробництва ЕФК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з останніми публікаціями визначено області перебігу процесу розчинення твердої фази з утворенням нової, яка кристалізується на твердому реагенті, та вплив на швидкість протікання реакції введеної інертної фази. При цьому питання впливу температури і концентрації реагенту на зміну механізму протікання хімічної взаємодії вивчено не достатньо.

Мета роботи. Дослідити вплив температури та концентрації реагентів на механізм розчинення гіпсу розчином карбонату амонію та скласти математичну модель процесу.

Процеси хімічного розчинення твердої речовини у більшості випадків ускладнюються утворенням твердих, рідких або газоподібних продуктів реакції, які суттєво сповільнюють швидкість масообмінних процесів поблизу границі розділу фази “тверде тіло – рідина”. До процесів, які супроводжуються утворенням пористої плівки на поверхні твердої фази, належить взаємодія між гіпсом і карбонатом амонію. У результаті утворюється твердий продукт реакції – карбонат кальцію. Тверді частинки гіпсу є центрами кристалізації карбонату кальцію.

Через пори, утворені кристалами карбонату кальцію, який покриває зразок гіпсу, здійснюється протитечійна дифузія реагенту (карбонату амонію) і продукту реакції (сульфату амонію). При