

В. М. Атаманюк, Д. М. Симак, О. М. Данилюк
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра хімічної інженерії

РОЗЧИНЕННЯ ПОЛІДИСПЕРСНОЇ ТВЕРДОЇ ФАЗИ У ГАЗОРІДИННОМУ ПОТОЦІ

© Атаманюк В. М., Симак Д. М., Данилюк О. М., 2016

Досліджено процес розчинення полідисперсної твердої фази у газорідинному потоці. Зокрема досліджено розчинення одинарних частинок K_2SO_4 у зваженому стані і визначено коефіцієнт масовіддачі β . Наведено схему експериментальної установки. Побудовано графічну залежність розподілу частинок за їх діаметром. Підтверджено незалежність коефіцієнта масовіддачі від діаметра частинок під час розчинення у газорідинному потоці. Виконано теоретичний розрахунок розчинення полідисперсної фази на основі кінетичної моделі процесу та порівняно з експериментальними даними.

Ключові слова: розчинення, масовіддача, газорідинний потік, полідисперсна фаза, галургія.

V. M. Atamanyuk, D. M. Symak, O. M. Danyliuk

DISSOLUTION OF POLYDISPERSE SOLID PHASE IN THE GAS-LIQUID FLOW

© Atamanyuk V. M., Symak D. M., Danyliuk O. M., 2016

The article investigates dissolution polydisperse solid phase to gas-liquid flow. In particular, a study of single particle dissolution of K_2SO_4 in a suspension and determined mass transfer coefficient β was conducted. The scheme of the experimental setup is given. Built tracker distribution of particle diameter was built. Independence of mass transfer factor from the diameter of the particles during dissolution in the gas-liquid flow was confirmed. Theoretical calculation dissolution of polydisperse phase based on the kinetic process model was performed and compared with experimental data.

Key words: dissolution, mass transfer, gas-liquid flow, polydisperse phase, halurhiya.

Постановка проблеми. Розчинення – це процес переходу твердої фази до розчину і може супроводжуватися повним зникненням твердої фази. Розчинення є складним процесом, що може перебігати у дифузійній, кінетичній чи змішаній області. Розчинником може бути вода чи водні розчини кислот, лугів та солей. Поширене розчинення у галургії під час перероблення природних солей [1].

Наведені у літературних джерелах дані щодо розчинення стосуються окремих твердих частинок або ансамблю монодисперсної твердої фази. Природні солі – це полідисперсні суміші, які підлягають розчиненню.

Розрахунок апаратів-розчинників у випадку полідисперсної суміші є значно складнішим порівняно з монодисперсною сумішшю, тому цій проблемі у літературі приділено недостатньо уваги. Крім цього, представляє інтерес розчинення у газорідинному потоці, в якому інертна газова фаза виконує роль інтенсифікатора масообмінного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рівновага та кінетичні закономірності розчинення наведено у [2]. Основну увагу у літературних джерелах звернено на конкретні технологічні процеси, де основною стадією є розчинення. Переважно розглядають процеси одержання калійних

добрих [3–5]. Масообміну у системах з твердою фазою присвячена робота [6], а математичне моделювання цих процесів розглянуто у [7]. Процес розчинення належить до нестационарних процесів, тому що у часі змінюються поверхні розчинення і концентрація речовини у рідині [8].

Метою роботи є дослідження кінетики розчинення полідисперсної твердої фази у газорідинному потоці на прикладі розчинення калію сульфату.

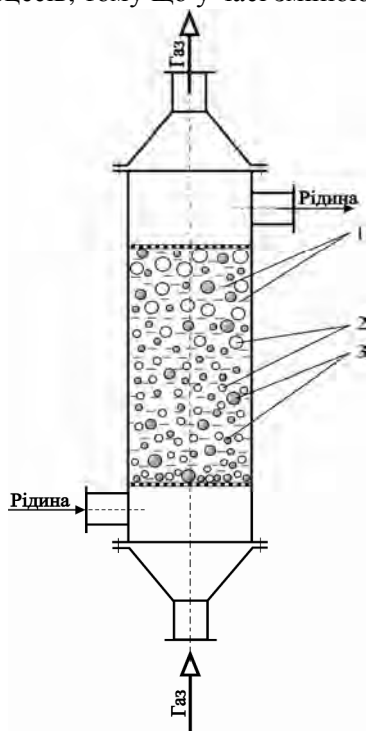


Рис. 1. Схема експериментальної установки для дослідження розчинення полідисперсної суміші у газорідинному потоці:
1 – рідина (суцільна фаза);
2 – бульбашки повітря;
3 – тверді частинки (дисперсна фаза)

Експериментальне дослідження та його аналіз.

Експериментально досліджено розчинення полідисперсної твердої фази на експериментальній установці, схема якої зображено на рис.1. Розчинник являє собою вертикальну колону, у нижній частині якої газорозподільна решітка. Рідину вводили згори решітки і догори колони піднімалась газорідинна суміш, розділення якої відбувалось у верхній частині колони. В апарат подавалась наважка полідисперсної суміші, яка знаходилась у газорідинному потоці у зваженому стані.

Нами проаналізовано процес за таких параметрів: наважка твердої фази становила 0,1 кг; витрата рідини $W_c = 3,3 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{с}$; витрати газової фази $V_{гс} = 1,04 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{с}$; температура середовища $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Через певні проміжки часу відбирали рідину та аналізувалась на вміст калію сульфату. Розсіюванням твердої фази встановлювали гранулометричний склад, функцію розподілу якого наведено на рис. 2.

В основу розрахунку розчинення покладено два рівняння: матеріального балансу та кінетики:

$$M_0 - M = W_c \bar{C}_1 \tau; \quad (1)$$

$$-\frac{dM}{dt} = \beta F (c_s - \bar{c}_1), \quad (2)$$

де M_0 – початкова маса твердої фази, кг; M – поточне значення маси, кг; \bar{C}_1 – середня концентрація солі у

відібраній пробі, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – час, с; β – коефіцієнт масовіддачі під час розчинення, $\text{м}/\text{с}$; F – поверхня частинок, м^2 ; C_s – концентрація насичення, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Рівняння матеріального балансу (1) використано для визначення концентрації солі у розчині, що відбирався через 100 с. Для кожної проби знаходили своє \bar{C}_1 , яке наведено на рис. 3. За цими значеннями ідентифікують концентрацію солі під час теоретичного розрахунку, який може бути проведений на основі кінетичного рівняння (2). Рівняння (2) можна подати у вигляді

$$-\frac{d(d)}{d\tau} = \frac{2\beta}{\rho_s} C_s, \quad (3)$$

де d – діаметр частинки, м; ρ_s – густина твердої фази, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Така форма запису можлива, коли виконуються певні умови. Приймається, що частинки мають кулясту форму, концентрація розчиненої речовини є значно меншою за концентрацію насичення C_s і коефіцієнт масовіддачі β не залежить від гідродинаміки у зваженому стані [2]. Концентрація насичення за температури 20°C $117 \text{ т}/\text{м}^3$, а $\rho_s = 2660 \text{ кг}/\text{м}^3$ [1].

Ми дослідили розчинення одинарних частинок K_2SO_4 у зваженому стані і визначено коефіцієнт масовіддачі β . Його значення дорівнюють $0,77 \cdot 10^{-4} \text{ м}/\text{с}$, що добре корелюється із критеріальною залежністю

$$\text{Sh} = 0,28 \sqrt[3]{(\text{Ar} \cdot \text{Sc})^2}, \quad (4)$$

де Sh , Ar , Sc – числа Шервуда, Архімеда та Шмідта, та експериментальним даним, що наведено у [1].

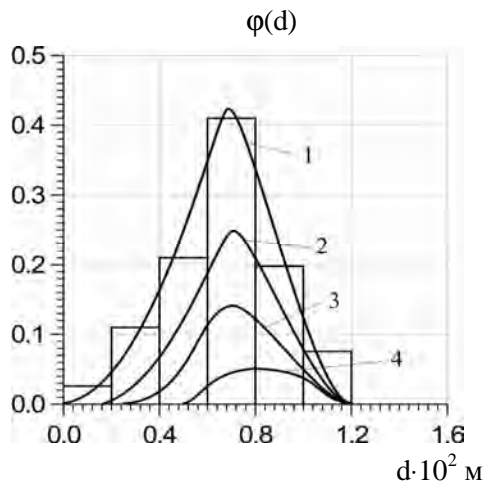


Рис. 2. Функція розподілу частинок за їх діаметром:
1 – початковий розмір, 2 – $D = 4 \times 10^{-3}$ м;
3 – $D = 2 \times 10^{-3}$ м; 4 – $D = 4 \times 10^{-3}$ м

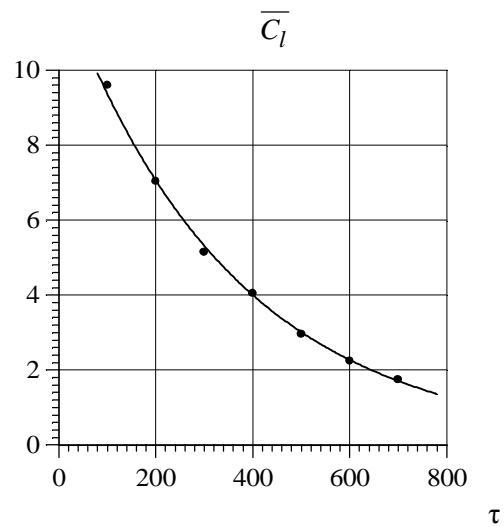


Рис. 3. Залежність концентрації солі C_1
у розчині від часу τ (● – експериментальні дані,
◆ – розрахункові значення)

Інтегрування рівняння (3) у границях від d_0 до d дає результат

$$d_0 - d = \frac{2 \cdot \beta}{\rho_s} C_s \cdot \Delta \tau, \quad (5)$$

причому розчинення відбувається однаково для частинок різних фракцій.

Функція $\varphi(d) = f(d)$ дає масовий розподіл частинок за фракціями відносно діаметра.

Враховуючи, що маса частинки пропорційна кубу її діаметра

$$M \sim d^3,$$

то діаметр частинок у певний момент часу зменшиться на величину $\Delta = d_0 - d$, а відносна маса частинок зменшиться на величину $\lambda = \left(\frac{d_0 - d}{d_0}\right)^3$. Щоб визначити функцію розподілу у момент часу τ необхідно ординату кривої початкового розподілу 1 помножити на величину λ .

Такий розрахунок для $\Delta = 1, 2, 4$ мм наведено на рис. 2 у вигляді функції розподілу для частинок за діаметром, одержаним після розчинення.

Площі під функціями розподілу 2, 3, 4 визначають масові частки фракцій, що залишились після розчинення. Різниця між початковою масою та масою, що залишилась, відповідає масі частинок, що розчинились. Залежність (5) дає змогу визначити час розчинення τ_i зі зменшенням розмірів частинок на величину Δ_i .

Концентрацію солі у розчині для трьох значень Δ визначали так

$$C_i = \frac{m_i}{W_c \cdot \tau}. \quad (6)$$

Визначені за теоретичними розрахунками значення C_i для трьох величин Δ , що відповідають часу розчинення 148, 296, 592с, наведено на рис. 3 у вигляді окремих точок. Задовільний збіг розрахункових та експериментальних значень свідчить про можливість теоретичного розрахунку розчинення полідисперсних систем за умови постійного коефіцієнта масовіддачі.

Висновки

1. Підтверджено незалежність коефіцієнта масовіддачі від діаметра частинок під час розчинення у газорідному потоці.

2. Виконано теоретичний розрахунок розчинення полідисперсної фази на основі кінетичної моделі процесу. Порівняння теоретичних результатів з експериментальними даними показало їх задовільний збіг.

1. Здановский А. Б. Галургия. – Л.: Химия, 1972. – 528 с. 2. Аксельруд Г. А., Молчанов А. Д. Растворение твердых веществ. – М.: Химия, 1977. – 272 с. 3. Моргенштерн Л. А. Процесс по-