

УДК 66.021.3

М.О. Подустров, В.І. Тошинський,
О.А. Жученко, В.М. Петров

МАСОПЕРЕДАЧА В СИСТЕМІ ГАЗ–РІДИНА ПРИБ СУЛЬФАТУВАННІ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ

Вступ

Існуючі світові тенденції при сульфатуванні органічної сировини – це використання триоксиду сірки, розбавленого повітрям, як сульфатуючого агента і плівкового абсорбера на стадії сульфатування [1, 2]. Використання плівкових абсорберів дає такі переваги, як підвищена ефективність масообміну між газом і рідиною, вищі коефіцієнти теплопередачі. Для проведення технологічних розрахунків і математичного моделювання процесу необхідні дані з хемосорбції триоксиду сірки. В літературі [3, 4] є деякі відомості з хемосорбції триоксиду сірки алкилбензолами, алканами і етоксіалканами. Однак немає даних із хемосорбції сумішей органічної сировини, які останнім часом все більше використовуються, що потребує проведення додаткових досліджень.

Постановка задачі

Процес сульфатування органічної сировини (вищих спиртів фракції C_{10} – C_{18} і моноетаноламідів фракції C_{10} – C_{16} у співвідношенні 9:1) дає можливість одержати новий клас екологічно безпечних поверхневоактивних речовин, які можуть використовуватись у різних галузях народного господарства. Одним із засобів вивчення технологічних процесів є метод математичного моделювання. Але для отримання повної математичної моделі процесу сульфатування треба мати залежності коефіцієнта масопередачі і фізико-хімічних характеристик продуктів сульфатування від основних технологічних параметрів процесу. Тому мета досліджень – одержання математичних залежностей коефіцієнта масопередачі і фізико-хімічних характеристик отриманих продуктів від технологічних та гідродинамічних параметрів.

Залежність коефіцієнта масопередачі від температури, щільності зрошення і швидкості потоку

Хемосорбція триоксиду сірки органічною сировиною вивчалась на дослідній установці,

що складалась із вузлів осушення повітря, отримання триоксиду сірки та сульфатування і очищення газових викидів. Основний елемент установки – прямоточний плівковий абсорбер діаметром 0,021 м і завдовжки 2,9 м. Відбір проб реакційної маси здійснювався в кількох точках по довжині реактора після виходу процесу на стійкий режим роботи. Кількість триоксиду сірки G_a (моль/с), що абсорбується на ділянках абсорбера, визначалась методом титрування гідролізованих проб реакційної маси, на основі яких обчислювався коефіцієнт масопередачі K_r (м/с). Розрахунок проводився за рівняннями [4]

$$G_a = 12,5 G_p \left(\frac{C_k}{100 - C_k} - \frac{C_n}{100 - C_n} \right), \quad (1)$$

$$K_r = \frac{G_a}{FY}, \quad (2)$$

$$Y = \frac{Y_n + Y_k}{2}, \quad (3)$$

де $Y_n = \frac{Q_{SO_3}}{22,4 Q_r} - \frac{G_a}{V_r}$; $Y_k = Y_n - \frac{G_a}{V_r}$; G_p – масова витрата органічної сировини в рідкій фазі, кг/с; C_n, C_k – початкова і кінцева концентрації SO_3 у продуктах сульфатування, %; K_r – коефіцієнт масопередачі в газовій фазі, м/с; F – поверхня контакту фаз, m^2 ; Y_n, Y_k – рушійна сила на початку і кінці ділянки абсорбера, моль/ m^3 ; Q_{SO_3}, Q_r – об'ємна витрата триоксиду сірки і газоповітряного потоку, $m^3/с$; G_a – кількість триоксиду сірки, абсорбованого органічною сировиною, моль/с.

Як органічну сировину використовували суміш вищих спиртів фракції C_{10} – C_{18} і моноетаноламідів вищих карбонових кислот (МЕА) фракції C_{10} – C_{16} у співвідношенні 9:1. Вивчався вплив на них температури (T), щільності зрошення (Γ) і швидкості газоповітряного потоку (V_r).

На рис. 1 наведено залежність коефіцієнта масопередачі від температури в реакторі.

Як видно з рис. 1, коефіцієнт масопередачі не залежить від температури при її зміні в межах 303–353 К. Похибка апроксимації становить 5 %. Такі експериментальні дані узгоджуються з літературними даними [5] для випадку, коли при взаємодії двох фаз основний опір масопередачі зосереджений у газовій фазі.

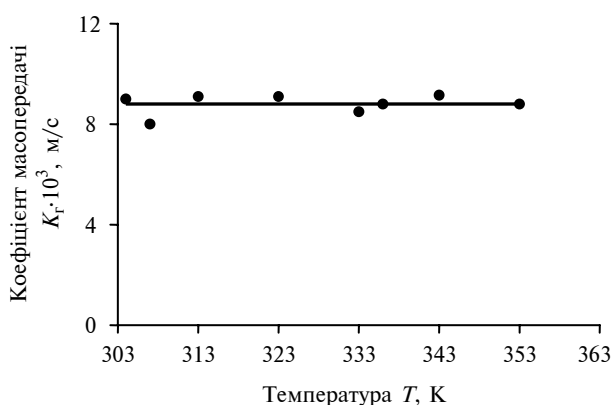


Рис. 1. Залежність коефіцієнта масопередачі від температури в реакторі при $\Gamma = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, $V_r = 16 \text{ м/с}$, $Re_r = 24000$

Дослідження впливу лінійної щільності зрошування на коефіцієнт масопередачі (рис. 2) показали, що при зміні щільності зрошування від $0,52 \cdot 10^{-2}$ до $0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ коефіцієнт масопередачі змінюється від $7,0 \cdot 10^{-3}$ до $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$, а похибка апроксимації становить 8%. При подальшому збільшенні лінійної щільності зрошування коефіцієнт масопередачі не змінюється. Це пояснюється тим, що при малих щільностях зрошування внутрішня поверхня труби не повністю покривається органічною речовиною.

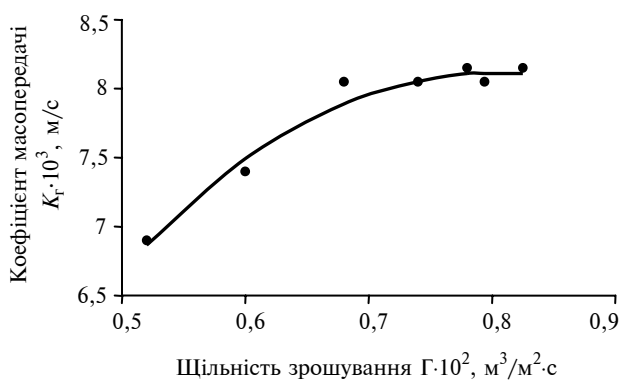


Рис. 2. Залежність коефіцієнта масопередачі від щільності зрошування при $V_r = 16 \text{ м/с}$, $Re_r = 24000$

Результати експериментальних даних (рис. 2) дозволяють розрахувати мінімальну щільність зрошування, при якій коефіцієнт масопередачі залишається відносно сталим.

Дослідження впливу швидкості газоповітряного потоку на коефіцієнт масопередачі показало, що така залежність лінійна (рис. 3).

Як видно з рис. 3, коефіцієнт масопередачі досить сильно змінюється з підвищенням

швидкості газоповітряного потоку, що узгоджується з літературними даними [4]. Так, при зміні V_r від 16 до 18 м/с він збільшується на 10%. Інтерполяційний аналіз даної залежності показав, що процес сульфатування можна вважати як миттєву реакцію або абсорбцію добре розчинного газу. Це підтверджують і дані, наведені на рис. 1.

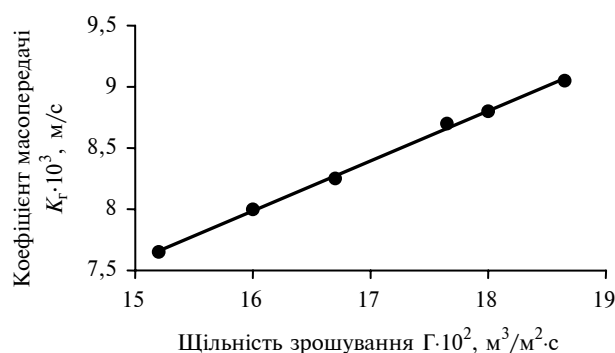


Рис. 3. Залежність коефіцієнта масопередачі від швидкості газоповітряного потоку при $\Gamma = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$

Теоретичне рівняння для визначення коефіцієнта масовіддачі при ламінарному русі має вигляд [5]

$$Nu_r = 0,5 Re_r^m Pr_r^n \frac{d}{l}, \quad (4)$$

де Re_r – критерій Рейнольдса по газовій фазі; Pr_r – критерій Прандтля по газовій фазі; d – діаметр, м; l – довжина, м; m, n – сталі.

При обробці експериментальних даних із використанням співвідношення (4) одержано таке рівняння для обчислення коефіцієнта масопередачі:

$$K_r = 0,0087 V_r^{0,8}. \quad (5)$$

Залишкове середньоквадратичне відхилення розрахованих за рівнянням (5) значень становить 10% в діапазоні $12 < V_r < 20 \text{ м/с}$.

Залежність густини і в'язкості отриманих продуктів сульфатування від ступеня сульфатування і температури

Одночасно з дослідженням процесу масопередачі визначалися фізико-хімічні характеристики продуктів сульфатування. Відомості про закономірності зміни фізико-хімічних параметрів реакційної маси в процесі сульфатування органічної сировини дають змогу уточнити оп-

тимальні умови проведення технологічного процесу методом математичного моделювання, зробити розрахунок апаратурного оформлення і вибрати контрольовані параметри для його автоматичного керування. Досліджувалися показники густини (ρ) і в'язкості (μ) продуктів.

Результати експериментальних даних з дослідження густини показали, що із збільшенням ступеня сульфатування густина лінійно підвищується, а із збільшенням температури вона зменшується.

Одержані дані задовільно описуються рівнянням

$$\rho = 866 + 2,1\gamma - 0,68(T - 273). \quad (6)$$

Залишкове середньоквадратичне відхилення розрахованих за рівнянням (6) значень становить 5% в діапазоні $1 < \gamma < 97,5$ і $293 < T < 333$.

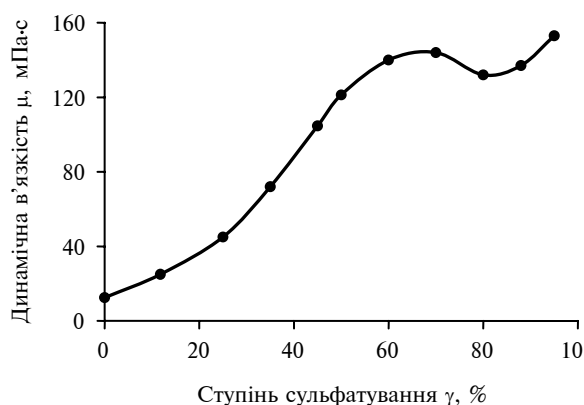


Рис. 4. Залежність динамічної в'язкості реакційної маси від ступеня сульфатування при температурі 313 К

Дослідження в'язкості реакційної маси від ступеня сульфатування наведено на рис. 4.

Як і очікувалося, в'язкість реакційних мас на основі сумішей вищих спиртів і МЕА має як максимум, так і мінімум, а в кінці процесу підвищується. Це пов'язано з тим, що в'язкість продуктів сульфатування моноетаноламідів вищих

карбонових кислот значно збільшується при високих ступенях сульфатування.

Обробкою експериментальних даних було одержано таке рівняння для обчислення динамічної в'язкості:

$$\mu = \exp[2,5 + 0,05(T - 273)]. \quad (7)$$

Залишкове середньоквадратичне відхилення розрахованих за рівнянням (7) значень становить 8% в діапазоні $1 < \gamma < 97,5$ і $293 < T < 333$.

Висновки

У результаті досліджень було встановлено, що швидкість хемосорбції SO_3 органічною сировиною в межах значень вимірюваних параметрів не залежить від температури в діапазоні 303–353 К, від щільності зрошування $\Gamma > 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$ та пропорційна швидкості газу при ступені сульфатування 0,8 для значень Re_r від 18000 до 28000.

Отримана функціональна залежність коефіцієнта масопередачі від швидкості газоповітряного потоку може бути використана в системі оптимального керування процесом.

Густина продуктів є лінійною, а в'язкість має екстремальний характер залежно від ступеня сульфатування.

Для побудови системи автоматичного керування процесом рекомендовано використовувати густину розчину.

Одержана математична модель пов'язує густину і в'язкість отриманих продуктів від ступеня сульфатування та температури. Цю модель можна використовувати як при проектуванні технологічного обладнання, так і при синтезі системи керування.

Подальші дослідження будуть присвячені математичному моделюванню процесу сульфатування з використанням отриманих результатів.

М.А. Подустов, В.И. Тошинский, А.А. Жученко, В.Н. Петров

МАССОПЕРЕДАЧА В СИСТЕМЕ ГАЗ–ЖИДКОСТЬ ПРИ СУЛЬФАТИРОВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Показано, что основным направлением в технологии сульфатирования является использование пленочных реакторов. Приведены результаты экс-

M.O. Podustov, V.I. Toshinskiy, O.A. Zhuchenko, V.M. Petrov

THE MASS TRANSFER IN THE GAS–LIQUID SYSTEM AT SULFATING OF ORGANIC RAW MATERIAL

This study considers using of pellicle reactors to be one of the main directions of sulfating technology. In this paper, we address the problem of determi-

периментальных исследований с определением зависимостей коэффициента массопередачи от температуры, плотности орошения и скорости газоздушного потока. Обобщены результаты исследований физико-химических характеристик продуктов сульфатирования.

ning the mass transfer coefficient dependences from temperature, irrigation density, and air-gas stream speed. In addition, we illustrate the research results of physical and chemical properties of sulfated products.

1. *Соколов В. Н., Доманский И. В.* Газожидкостные реакторы. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
2. *Правдин В. Г., Подустов М. А., Земенков Д. И.* Сульфирование и сульфатирование нефтехимических продуктов газообразным триоксидом серы в производстве ПАВ. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1981. – 44 с.
3. *Волков И. А., Правдин В. Г., Земенков Д. И. и др.* Сульфирование алкилбензолов в пленочном реакторе // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1975. – № 4. – С. 40–41.
4. *Ефимов В. Т., Литвиненко И. И., Правдин В. Г. и др.* Хемосорбция серного ангидрида этоксиалканами // Химическая промышленность. – 1981. – № 1. – С. 19–20.
5. *Рамм В. М.* Абсорбция газов. – 2-е изд. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

Рекомендована Радою
інженерно-хімічного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
9 листопада 2007 року