УДК 661.185 : 66.02 doi: 10.20998/2078-5364.2024.2.03

О. М. Дзевочко, к. техн. н., доцент, М. О. Подустов, д. техн. н., професор,
А. І. Дзевочко, к. техн. н., В. О. Панасенко, д. техн. н., професор, А. І. Пашко, аспірант

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ ВІД ДІОКСИДУ СІРКИ У ВИРОБНИЦТВІ ПАР

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: поверхнево активна речовина, математична модель, газоповітряний потік, діоксид сірки, процес очищення, насадковий абсорбер.

Вступ. Виробництво поверхнево-активних речовин (ПАР) складається з наступних стадій: стадія отримання сульфатуючого агенту, стадія сульфатування, стадія нейтралізації проміжних продуктів, стадія очищення газоповітряного потоку від діоксиду сірки [1]. Сульфатуючий агент отримують шляхом каталітичного окислення діоксиду сірки до триоксиду сірки. Ступінь окислення діоксиду сірки досягає на сучасних підприємствах до 98–99 %. Непрореагований SO_2 перед викидом в атмосферу необхідно довести до показників які дозволяють викид в атмосферу.

Процес очищення проводять в насадкових абсорберах. В якості насадки можна використати рекомендації наведені в роботах [2, 3]. Для проведення досліджень та розрахунку насадкового абсорбера необхідно мати математичну модель процесу очищення.

Аналіз літературних даних. Одним з найбільш масштабних забруднень атмосферного повітря є діоксид сірки: щорічно в Україні викидається в атмосферу близько 1 млн.т діоксиду сірки [4]. Незважаючи на вживані заходи, об'єм викидів діоксиду сірки за останні роки практично не змінюється. Діоксид сірки є основним джерелом шкідливих викидів в атмосферу у виробництві ПАР. Очищення газоповітряного потоку від діоксиду сірки проводиться за допомогою розчину гідроксиду натрію в насадковому абсорбері. Газорідинні операції широко використовуються в різних галузях промисловості для передачі маси, тепла та імпульсу між фазами [5]. Серед найбільш важливих газорідинних систем, що використовується в даний час є абсорбція, яка визначається як операція масообміну, під час якої один з компонентів, що міститься у газовій суміші розчинюється в рідинному розчиннику [6]. Ефективність видалення будь-якого процесу хімічної абсорбції буде залежати від фізико-хімічних властивостей фаз (густина, в'язкість) коефіцієнта дифузії, швидкості потоку газу та рідини, типу контактних пристроїв, температури та тиску, співвідношенню газ-рідина, часу контакту між фазами, концентрації шкідливого компоненту в газоповітряній суміші, концентрація рідини, швидкості взаємодії між газом та рідиною.

Науково-технічний прогрес базується на тісному взаємозв'язку теорії й експерименту. Чим швидше розвивається теорія, тим швидше повинні розвиватися експериментальні методи. Роль експерименту підсилюється ще й тим, що він допомагає знайти найкращий підхід до аналітичного розв'язання. Основою для проведення експериментальних досліджень є процес моделювання [7]. Процес моделювання створює передумови для найбільш доцільного поєднання теорії й експерименту в наукових дослідженнях [8].

В літературі наведена значна кількість математичних моделей та проведено математичне моделювання в різних варіантах. Зокрема автори [9] провели математичне моделювання газоабсорбційної насадкової колони для системи вуглекислий газ – розчин

гідроксиду натрію. В роботі наведено, що конструкція хімічних реакторів базується на моделюванні реакторів і реакцій, які в них відбуваються. Математичне моделювання настільки важливе, що зараз воно використовуються в комп'ютерному моделюванні.

Більшість реакцій, які використовуються в хімічній промисловості, включають речовини, які існують в різних фазах. Газорідинна абсорбція є гетерогенним процесом, який включає перенесення розчинного компоненту газової фази у рідкий абсорбент. В роботі розроблена математична модель газорідинної абсорбції насадкової колони, що працює в безперервному режимі.

Автори [10] провели математичне моделювання процесу поглинання діоксиду сірки перекисом водню. Рівняння моделі розроблено з урахування матеріального балансу в колоні. Швидкість поглинання визначалася за допомогою різної концентрації діоксиду сірки. Наведено, що діоксид сірки є відповідальним за утворенням кислотних дощів, які є однією з поширених форм забруднення в усьому світі, що завдає шкоди людині та навколишньому середовищу.

В дослідженні [11] наводяться дані процесу поглинання газу NO_x за допомогою розчину перекису водню. Математичне моделювання проводили для абсорбера з насадковим матеріалом Intalox. Наведено, що поглинання з хімічною реакцією передбачає видалення домішок з газової фази та розчинення їх у рідкій фазі шляхом проведення хімічної реакції між ними. Процес абсорбції описується математичною моделлю, заснованою на двоплівковій теорії газорідинної абсорбції.

Автори [12] провели математичне моделювання процесу поглинання етанолу з газоподібної суміші з використанням води як розчинника. Наведено, що підхід до проектування насадкового абсорберу зазвичай включає визначення геометричних параметрів, таких як діаметр абсорбера, висота насадки, а також коефіцієнти масообміну для газу та потоку рідини, сухі і загальні перепади тиску, загальний коефіцієнт масопередачі. В роботі звернена увага, що використання методів імітації та математичного моделювання для проектування або оптимізації абсорберів досягло за останні роки безпрецедентного рівня. Серед найбільш розроблених і поширених комп'ютерних програм, які використовуються сьогодні, є програмне забезпечення MATLAB. В роботі з використанням програмного забезпечення MATLAB проведені широкі дослідження для чотирьох різних насадок.

В літературі за останні роки мало наведено результатів математичного моделювання процесу очищення газоповітряного потоку від діоксиду сірки. Тому є необхідність розробити математичну модель даного процесу, провести дослідження процесу з використанням математичної моделі та навести розрахунки промислового насадкового абсорбера для очищення газоповітряного потоку від діоксиду сірки. Це дасть можливість довести концентрацію SO_2 у газоповітряному потоці на виході абсорберу до гранично-допустимої концентрації.

Основна частина. Типовий насадковий абсорбер складається з вертикальної циліндричної оболонки, що містить опорну пластину для насадкового матеріалу, пристрій для розподілу рідини, призначений для забезпечення ефективного зрощення насадки. Рідина подається у верхній частині абсорберу та стікає вниз через насадку, відкриваючи велику поверхню для контакту з газоповітряним потоком, який подається в нижній частині абсорберу.

На рис. 1 неведена принципова схема насадкового абсорбера.

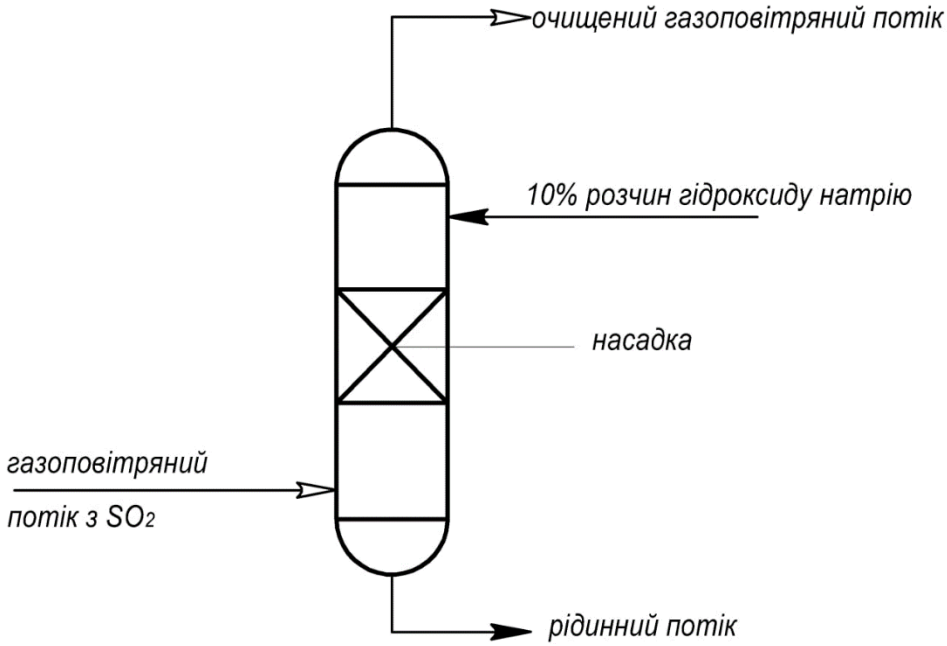

Рисунок 1 – Принципова схема насадкового абсорбера

З рис. 1 видно, що газоповітряний потік з вмістом SO_2 подається знизу абсорбера, а абсорбент у вигляді розчину гідроксиду натрію подається з верху абсорбера.

В процесі абсорбції діоксиду сірки розчином гідроксиду натрію крім фізичної абсорбції проходить хімічна реакція

$$SO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O. \quad (1)$$

Взаємодія SO_2 з $NaOH$ можна віднести до швидких реакцій.

Загальна схема розрахунку насадкового абсорбера наведено на рис. 2.

Математичний аналіз процесу завжди базується на матеріальному балансі.

З урахуванням хемосорбційного характеру абсорбції рівняння матеріального балансу має вид:

$$G(y_1 - y_2) = L(C_{HA} - C_{KA}) + L/u(x_1 - x_2), \quad (2)$$

де G – мольна витрата газоповітряного потоку, кмоль/с; L – мольна витрата розчину гідроксиду натрію, кмоль/с; y_1 – концентрація діоксиду сірки в газоповітряному потоці на вході в абсорбер, мольні долі; y_2 – концентрація діоксиду сірки в газоповітряному потоці на виході з абсорбера, мольні долі; x_1 – концентрація діоксиду сірки в розчині гідроксиду натрію на вході в абсорбер, мольні долі; x_2 – концентрація діоксиду сірки в розчині гідроксиду натрію на вході в абсорбер, мольні долі; C_{KA} – кінцева концентрація гідроксиду натрію в абсорбенті, мольні долі; C_{HA} – начальна концентрація гідроксиду натрію в абсорбенті, мольні долі; u – число кмолей гідроксиду натрію на 1 кмоль розчиненого діоксиду сірки.

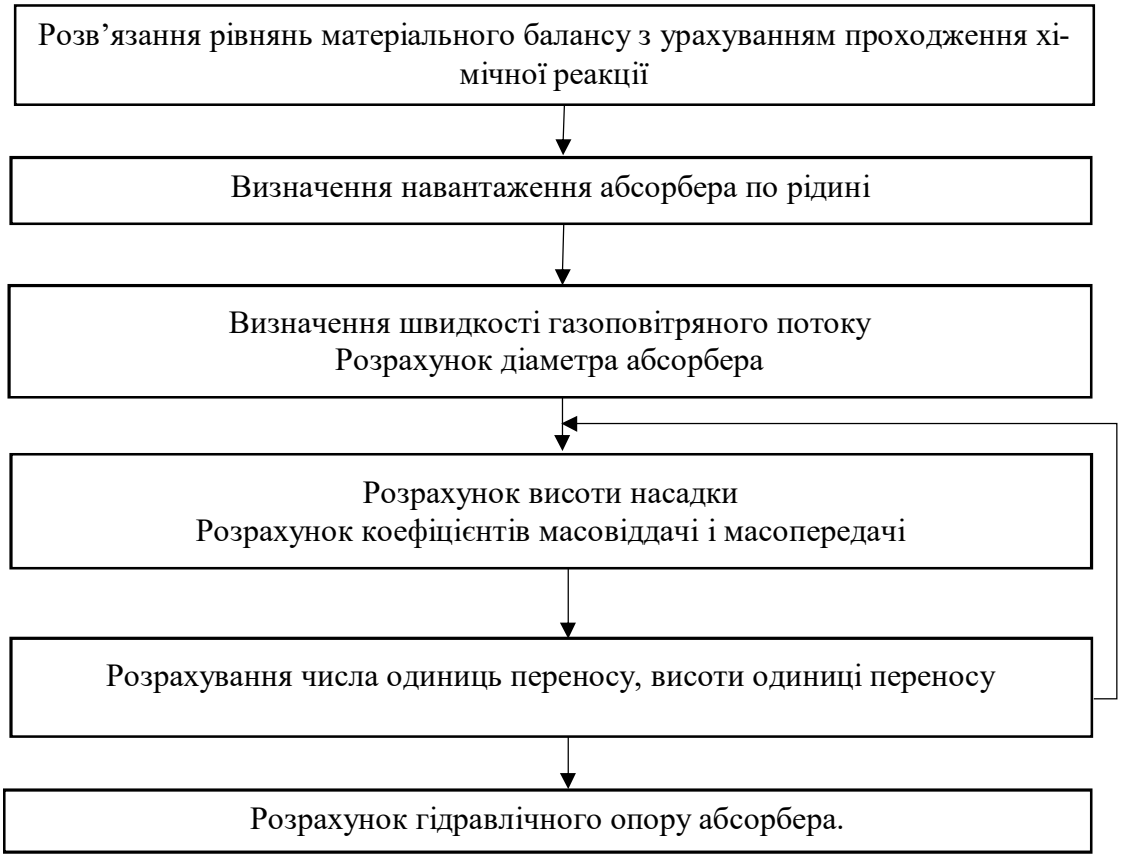

Рисунок 2 – Схема розрахунку насадкового абсорбера

Загальна витрата розчину гідроксиду натрію:

$$L = G\frac{y_1 - y_2}{\left(C_{HA} - C_{KA}\right) + \frac{1}{u}\left(x_1 - x_2\right)}. \tag{3}$$

Розрахунок швидкості газоповітряного потоку та діаметра абсорберу розраховуються з рівняння

$$Re_{\Gamma} = \frac{4\omega \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma} \cdot f}, \tag{4}$$

де ω – швидкість газоповітряного потоку, м/с; ρ_{Γ} – щільність газоповітряного потоку, кг/м3; μ_{Γ} – в'язкість газоповітряного потоку, Па/с; f – питома поверхня насадки, м^2/м^3.

Звідси

$$\omega_{\Gamma} = \frac{Re_{\Gamma} \cdot \mu_{\Gamma} \cdot f}{4\rho_{\Gamma}}. \tag{5}$$

Значення критерію Рейнольдса визначаємо

$$Re_{\Gamma} = 0,045 \cdot Ar^{0,57} \cdot \left(\frac{G}{L}\right)^{0,43}, \quad (6)$$

де Ar – критерій Архімеда.

Критерій Архімеда

$$Ar = d_{\text{Э}} \cdot \rho_{\Gamma} \left(\rho_{\text{Р}} - \rho_{\Gamma}\right) / \mu_{\Gamma}^2, \quad (7)$$

де $d_{\text{Э}}$ – еквівалентний діаметр насадки, м; $\rho_{\text{Р}}$ – густина рідинної фази, кг/м^3.

$$d_{\text{Э}} = 4V_{\Gamma} / f, \quad (8)$$

де V_{Γ} – об'ємна витрата газоповітряного потоку, м^3/с.

Розрахунок діаметра абсорбера.

Діаметр абсорбера D_a визначається в залежності від швидкості і витрати газоповітряного потоку в абсорбері [13]

$$D_a = \sqrt{4V_{\Gamma} / \pi \cdot \omega_{\Gamma}}. \quad (9)$$

За стандартом приймається діаметр абсорбера і коректується швидкість газоповітряного потоку. Щільність зрошування визначаємо

$$U = \frac{L}{(0,758 \cdot D_a^2 \cdot \rho_{\text{Р}})}. \quad (10)$$

Розрахунок висоти насадки

Розрахунок висоти насадки потрібно проводити з урахуванням проходження хімічної реакції [14].

Вплив хімічної реакції на процес абсорбції будемо враховувати введенням коефіцієнта прискорення ζ

$$\zeta = \sqrt{1 + M_y^2}. \quad (11)$$

Враховуючи велику концентрацію активної частини розчину гідроксиду натрію і низьку концентрацію діоксиду сірки в газоповітряному потоці можна вважати, що реакція відбувається за псевдопершим порядком і тоді

$$M_y = \frac{1}{\beta_{\text{Р}}} \cdot \sqrt{D_{\Gamma} \cdot K}, \quad (12)$$

де $\beta_{\text{Р}}$ – коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі, м/с; D_{Γ} – коефіцієнт дифузії діоксиду сірки у повітрі, м^2/с; K – константа швидкості реакції, с$^{-1}$.

Величину $\beta_{\text{Р}}$ визначають з критеріального рівняння

$$Nu_P = 0,002 \cdot Re_P^{0,75} \cdot Pr_P^{0,5}, \quad (13)$$

де Nu_P – критерій Нуссельта для рідинної фази; Re_P – критерій Рейнольдса для рідинної фази; Pr_P – критерій Прандтля для рідинної фази.

Коефіцієнт дифузії визначаємо з рівняння

$$D_\Gamma = \frac{4{,}35\cdot 10^{-2}\cdot T^{3/2}}{P\left(V_{SO_2}^{1/3}+V_{пов}^{1/3}\right)^2}\sqrt{\frac{1}{M_{SO_2}}+\frac{1}{M_{пов}}}, \tag{14}$$

де T – абсолютна температура, К; P – загальний тиск, Па; V_{SO2} – мольний об'єм SO_2, см^3/моль; $V_{пов}$ – мольний об'єм повітря, м^3/моль; M_{SO2} – молекулярна маса діоксиду сірки; $M_{пов}$ – молекулярна маса повітря.

V_{SO2} =44,8; $V_{пов}$ = 29,9.

Загальне число переносу визначають за рівнянням

$$N_{O\Gamma} = \frac{1}{1-\frac{1}{A_\phi}}\cdot \ln\frac{1-\frac{\zeta}{A_\phi}}{1-\zeta}, \tag{15}$$

де A_ϕ – абсорбційний фактор.

$$A_\phi = \frac{L}{m}, \tag{16}$$

де m – коефіцієнт Генрі.

Висоту насадки абсорбера визначають за рівнянням

$$h = N_{\text{ОГ}}\cdot H_{\text{ОГ}}, \tag{17}$$

де $H_{\text{ОГ}}$ – висота одиниці переносу, м.

$$H_{\text{ОГ}} = \frac{G}{K_V'\cdot F}, \tag{18}$$

де K_V' – об'ємний коефіцієнт масопередачі з урахуванням хемосорбції, кг/м^3·с·Па; F – площа перерізу абсорбера, м.

Об'ємний коефіцієнт масопередачі знаходять з рівняння

$$1/K_V' = 1/\beta_{\Gamma V} + m/\beta_{PV}', \tag{19}$$

де $\beta_{\Gamma V}$ – об'ємний коефіцієнт масовіддачі в газоповітряному потоці, кг/м^3·с·Па; β_{PV}' – об'ємний коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі з урахуванням хемосорбції, кг/м^3·с·Па.

$$\beta_{PV}' = \zeta\cdot\beta_{PV}, \tag{20}$$

де β_{PV} – об'ємний коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі, кг/м^3·с·Па.

Об'ємний коефіцієнт масовіддачі в газоповітряному потоці знаходим з рівняння

$$\beta_{\Gamma V} = 1{,}305 \cdot 10^{-4} \cdot W_{\Gamma}^{-0{,}7} \cdot W_{\text{Р}}^{-0{,}75}, \tag{21}$$

де W_{Γ} – масова швидкість газоповітряного потоку, кг/(м^2·с); $W_{\text{Р}}$ – масова швидкість рідинної фази, кг/(м^2·с).

Об'ємний коефіцієнт масовіддачі з рідинної фази знаходим з рівняння

$$\beta_{PV} = 0{,}143 \cdot W_{P}^{-0{,}82}. \tag{22}$$

Гідравлічний опір насадкового абсорбера.

Гідравлічний опір сухої насадки знаходим з рівняння

$$\Delta p_{сух} = \left(\frac{\lambda \cdot h}{d_{\text{Э}}} \right) \cdot \left(\frac{W_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2} \right), \tag{23}$$

де λ – коефіцієнт опору.

$$\lambda = \frac{9{,}21}{Re_{\Gamma}^{0{,}375}}. \tag{24}$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки ΔP знаходимо з рівняння

$$\Delta P = \Delta P_{сух} \left(1 + 0{,}04 \cdot U\right). \tag{25}$$

де U – щільність зрошування, м/с.

В подальшому планується з використанням забезпечення MATLAB виконати розрахунки для створення промислового насадкового абсорбера для очищення газоповітряного потоку від діоксиду сірки у виробництві ПАР.

Висновки

1. Наведено, що виробництво поверхнево-активних речовин складається з наступних стадій: отримання сульфатуючого агенту, сульфатування, нейтралізація, очищення газоповітряного потоку.

2. Наведено, що сульфатуючий агент отримують шляхом каталітичного окислення діоксиду сірки. Ступінь окислення 98–99 %.

3. Показано, що нейтралізуючий SO_2 необхідно подавати на стадію очищення.

4. Наведено, що діоксид сірки є одним з найбільш забруднювачем атмосферного повітря.

5. Показано, що очищення газоповітряного потоку від SO_2 проводиться розчином гідроксиду натрію.

6. Наведено, що газорідинні операції широко використовуються в різних галузях промисловості.

7. Показано, що серед найбільш важливих газорідинних систем є абсорбція, яка визначається як процес масообміну.

8. Наведено, що концентрація хімічних реакторів базується на моделюванні реакторів і реакцій.

9. Наведено математичну модель процесу очищення газоповітряного потоку від діоксиду сірки.

10. Проведення досліджень по математичній моделі дадуть можливість знайти оптимальні технологічні та конструктивні параметри насадкового абсорберу.

Література

1. Дзевочко О.М., Подустов М.О., Дзевочко А.І. Системний аналіз процесу сульфатування у виробництві поверхнево-активних речовин. Інтегровані технології та енергозбереження. Х. 2022. № 4. С. 23–38.

2. Дзевочко О.М., Подустов М.О. Нові гофровані насадкові елементи для використання в абсорбційних системах. Інтегровані технології та енергозбереження. Х. НТУ «ХПІ». 2018. № 3. С. 8–17.

3. Дзевочко О.М., Подустов М.О. Дослідження гофрованих насадочних елементів в процесах абсорбції відхідних газів виробництва ПАР. Інтегровані технології та енергозбереження. Х. НТУ «ХПІ». 2019. № 1. С. 33–41.

4. Подустов М.А., Тошинский В.И. Очистка газовоздушного потока от диоксида серы в производстве поверхностно-активных веществ. Інтегровані технології та енергозбереження. Х. НТУ «ХПІ». 2006. № 4. С. 64–68.

5. Бучинський А.К., Коваленко В.С. Основи технології та техніки абсорбційних процесів : Навч. посібн. Дніпропетровськ. УДХТУ. 2004. 155 с.

6. Топильницький П.І., Гринишин О.Б. Колонні апарати в нафтопереробці та нафтохімії : Навч. посібн. Львів : НУ «ЛП». 2004. 144 с.

7. Місюра Т.Г., Попова Н.В. Математичне моделювання та оптимізація об’єктів хімічної технології [Електронний ресурс] : Курс лекцій. К. : НУХТ. 2020. 234 с.

8. Квєтний Р.Н, Богач І.В., Бойко О.Р., Софина О.Ю., Шушура О.М. Комп’ютерне моделювання систем та процесів : навч.посібн. Вінниця : ВНТУ. 2013. 191 с.

9. M.A. Olutoye and A. Mohammed. (2006). Modelling of a gas absotption packed column for carbon Dioxide-Sodium Hydroxide system. AU J.T.10(2): 132–140.

10. Priya V., Maheswari C., Krishnaḿyrthy K., Parameshwaran R. (2012). Modelling And Simulation of Gas Liquid Absorption Column for SO_2 Emission Control. Proceedings of National Conference on Frantiers in Applied Sciences and Computer Technology. Vol.2. PP. 10–15.

11. Maheswari C., Vinoth R., Kanimozhi I., Meenakshipriya B. (2015). Mathematical Modeling of Packed Column for NO_X Gas Removal using Hydrogen Peroxide Solution. International Sciense Prese. 8(3). PP. 915–921.

12. Perez Sanches A., Perez Sanches E., Segura Silva R. (2016). Design of a Packed-Bed Absorption Column Considering four Packing Types and Applying Matlab. Nexo Revista Cientifica. Vol. 29. No 2. PP. 83–104.

13. Товажнянський Л.Л., Готлінська О.П., Лещенко В.О. Процеси і апарати хімічної технології : Навч. посібн. Х. : НТУ «ХПІ». 2007. 540 с.

14. Бойко В.С., Самойчук К.О., Тарасенко В.Г., Ломейко О.П, Олексієнко В.О., Петриченко С.В., Пупинін А.А., Гавдида Г.І.. Конструкції і розрахунки машин та апаратів переробних виробництв: Підручник. Мелітополь. 2021. 308 с.

Bibliography (transliterated)

1. Dzevochko O.M., Podustov M.O., Dzevochko A.I. Systemnyi analiz protsesu sulfatuvannia u vyrobnytstvi poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kh. 2022. № 4. P. 23–38.

2. Dzevochko O.M., Podustov M.O. Novi hofrovani nasadkovi elementy dlia vykorystannia v absorbtsiinykh systemakh. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kh. NTU «KhPI». 2018. № 3. P. 8–17.

3. Dzevochko O.M., Podustov M.O. Doslidzhennia hofrovanykh nasadochnykh elementiv v protsesakh absorbtsii vidkhidnykh haziv vyrobnytstva PAR. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kh. NTU «KhPI». 2019. № 1. P. 33–41.

4. Podustov M.A., Toshynskyi V.Y. Ochystka hazovozdushnoho potoka ot dyoksyda sernы v proyzvodstve poverkhnostno-aktyvnыkh veshchestv. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kh. NTU «KhPI». 2006. № 4. P. 64–68.

5. Buchynskyi A.K., Kovalenko V.S. Osnovy tekhnolohii ta tekhniky absorbtsiinykh protsesiv : Navch. posibn. Dnipropetrovsk. UDKhTU. 2004. 155 p.

6. Topylnytskyi P.I., Hrynyshyn O.B. Kolonni aparaty v naftopererobtsi ta naftokhimii : Navch. posibn. Lviv : NU «LP». 2004. 144 p.

7. Misiura T.H., Popova N.V. Matematychne modeliuvannia ta optymizatsiia obiektiv khimichnoi tekhnolohii [Elektronnyi resurs] : Kurs lektsii. K. : NUKhT. 2020. 234 p.

8. Kvietnyi R.N, Bohach I.V., Boiko O.R., Sofyna O.Iu., Shushura O.M. Kompiuterne modeliuvannia system ta protsesiv : Navch.posibn. Vinnytsia : VNTU. 2013. 191 p.

9. M.A. Olutoye and A. Mohammed. (2006). Modelling of a gas absotption packed column for carbon Dioxide-Sodium Hydroxide system. AU J.T.10(2): 132–140.

10. Priya V., Maheswari C., Krishnaḿyrthy K., Parameshwaran R. (2012). Modelling And Simulation of Gas Liquid Absorption Column for SO_2 Emission Control. Proceedings of National Conference on Frantiers in Applied Sciences and Computer Technology. Vol.2. PP. 10–15.

11. Maheswari C., Vinoth R., Kanimozhi I., Meenakshipriya B. (2015). Mathematical Modeling of Packed Column for NO_X Gas Removal using Hydrogen Peroxide Solution. International Sciense Prese. 8(3). PP. 915–921.

12. Perez Sanches A., Perez Sanches E., Segura Silva R. (2016). Design of a Packed-Bed Absorption Column Considering four Packing Types and Applying Matlab. Nexo Revista Cientifica. Vol. 29. No 2. PP. 83–104.

13. Tovazhnyanskyy L.L., Hotlinska O.P., Leshchenko V.O. Protsesy i aparaty khimichnoi tekhnolohii : Navch. posibnyk. Kh. : NTU «KhPI». 2007. 540 p.

14. Boiko V.S., Samoichuk K.O., Tarasenko V.H., Lomeiko O.P, Oleksiienko V.O., Petrychenko S.V., Pupynin A.A., Havdyda H.I.. Konstruktsii i rozrakhunky mashyn ta aparativ pererobnykh vyrobnytstv: Pidruchnyk. Melitopol. 2021. 308 p.

УДК 661.185 : 66.02

О. М. Дзевочко, к. техн. н., доцент, М. О. Подустов, д. техн. н., професор,
А. І. Дзевочко, к. техн. н., В. О. Панасенко, д. техн. н., професор, А. І. Пашко, аспірант

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ ВІД ДІОКСИДУ СІРКИ У ВИРОБНИЦТВІ ПАР

Наведено стадії виробництва поверхнево-активних речовин: отримання сульфатуючого агенту, сульфатування, нейтралізація, очищення газоповітряного потоку.

Показано отримання сульфатуючого агенту шляхом каталітичного окислення двооксиду сірки. Ступінь окислення 98–99 %. Непрореагований SO_2 необхідно подати на стадію очищення.

Наведено дані найбільшого забруднювача атмосферного повітря, це двооксид сірки.

Показано використання газорідинних операцій в різних галузях промисловості. Серед найбільш важливих газорідинних систем є абсорбція, яка визначається як операція масообміну, під час якої один із компонентів, що міститься в газоповітряній суміші розчиняється в рідинному розчиннику.

Показано базування науково-технічного прогресу на тісному взаємозв'язку теорії й експерименту. Основою для проведення наукових досліджень є процес моделювання. Процес моделювання створює передумови для найбільш доцільного поєднання теорії й експерименту в наукових дослідженнях.

Наведено опис даних з літератури з математичним моделюванням насадкових абсорберів для різних систем газ – рідина.

Показано важливість математичного моделювання та його використання в комп'ютерному моделюванні.

Наведено данні про більшість реакцій в хімічній промисловості містять речовини, які існують в різних фазах.

Показано про відповідальність двооксиду сірки за утворення кислотних дощів, які є однією з поширених форм забруднення в усьому світі, що завдає шкоди людині та навколишньому середовищу.

Наведено, що підхід до проектування насадкового абсорберу зазвичай включає визначення геометричних параметрів, таких як діаметр абсорберу, висота насадки, а також коефіцієнт масообміну для газу і потоку рідини, сухі і загальні перепади тиску, загальний коефіцієнт масопередачі.

Показано, що використання методів імітації та математичного моделювання для проектування або оптимізації абсорберів постійно розвивається. Найбільш розроблених і поширених комп'ютерних програм є програмне забезпечення MATLAB.

Наведено опис типового насадкового абсорберу, який складається з вертикальної циліндричної оболонки, що містить опорну пластину для насадкового матеріалу, пристрій для розподілу рідини. Рідина подається у верхній частині абсорберу та стікає через насадку. Газоповітряний потік подається в нижній частині абсорберу.

Приведена принципова схема насадкового абсорберу.

Наведена математична модель процесу очищення газоповітряного потоку від SO_2 в насадковому абсорбері.

Приведені рівняння матеріального балансу, розрахунку швидкості газоповітряного потоку та діаметру абсорбера, розрахунку висоти насадки, рівняння розрахунку коефіцієнтів масовіддачі та масопередачі, рівняння гідравлічного опору сухої насадки та загального опору зрошуваної насадки.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, математична модель, газоповітряний потік, двооксид сірки, процес очищення, насадковий абсорбер.

А. М. Дзевочко, М. А. Подустов, А. И. Дзевочко, В. А. Панасенко, А. И. Пашко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОЧИЩЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА ОТ ДИОКСИДА СЕРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПАВ

Приведены стадии производства поверхностно-активных веществ: получение сульфирующего агента, сульфатирование, нейтрализация, очистка газовоздушного потока.

Показано получение сульфирующего агента путем каталитического окисления диоксида серы. Степень окисления 98–99 %. Непрореагировавший SO_2 необходимо подать на стадию очистки.

Приведены данные большего загрязнителя атмосферного воздуха, это диоксид серы.

Показано использование газожидкостных операций в разных отраслях промышленности. Среди наиболее важных газожидкостных систем является абсорбция, которая определяется как операция массообмена, во время которой один из компонентов, содержащихся в газовоздушной смеси, растворяется в жидкостном растворителе.

Показано базирование научно-технического прогресса на тесной взаимосвязи теории и эксперимента. Основой для проведения научных исследований является процесс моделирования. Процесс моделирования создает предпосылки для более целесообразного сочетания теории и опыта в научных исследованиях.

Представлено описание данных литературы с математическим моделированием насадочных абсорберов для различных систем газ – жидкость.

Показана значимость математического моделирования и его использование в компьютерном моделировании.

Приведенные данные о большинстве реакций в химической промышленности включают вещества, существующие в разных фазах.

Показано об ответственности дифоксида серы за образование кислотных дождей, которые являются одной из распространенных форм загрязнения во всем мире, что наносит вред человеку и окружающей среде.

Приведено, что подход к проектированию насадочного абсорбера обычно включает в себя определение геометрических параметров, таких как диаметр абсорбера, высота насадки, а также коэффициент массообмена для газа и потока жидкости, сухие и общие перепады давления, общий коэффициент массопередачи.

Показано, что использование методов имитации и математического моделирования для проектирования и оптимизации абсорберов постоянно развивается. Наиболее разработанными и распространенными компьютерными программами являются программное обеспечение MATLAB.

Приведено описание типичного насадочного абсорбера, состоящего из вертикальной цилиндрической оболочки, содержащей опорную пластину для насадочного материала, устройство для распределения жидкости. Жидкость подается в верхней части абсорбера и стекает через насадку. Газовоздушный поток подается в нижней части абсорбера.

Приведена принципиальная схема насадочного абсорбера.

Представлена математическая модель процесса очистки газовоздушного потока от SO_2 в насадочном абсорбере.

Приведены уравнения материального баланса, расчета скорости газовоздушного потока и диаметра абсорбера, расчета высоты насадки, уравнение расчета коэффициентов массоотдачи и массопередачи, уравнение гидравлического сопротивления сухой насадки и общего сопротивления орошаемой насадки.

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, математическая модель, газовоздушный поток, двуоксид серы, процесс очистки, насадочный абсорбер.

O. M. Dzevochko, M. O. Podustov, A. I. Dzevochko, V. O. Panasenko, A. I. Pashko

MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF CLEARING A GAS-AIR FLOW FROM SULFUR DIOXIDE IN THE PRODUCTION OF SURFACTANTS

The stages of production of surfactants are given: obtaining a sulphating agent, sulphation, neutralization, purification of the gas-air flow.

The production of a sulphurizing agent by catalytic oxidation of sulfur dioxide has been shown. The degree of oxidation is 98–99 %. The unreacted SO_2 must be fed to the purification stage.

Data are given for a larger air pollutant, sulfur dioxide.

The use of gas-liquid operations in various industries is shown. Among the most important gas-liquid systems is absorption, which is defined as a mass transfer operation during which one of the components contained in the gas-air mixture is dissolved in a liquid solvent.

The basis of scientific and technological progress is shown on the close relationship between theory and experiment. The basis for scientific research is the modeling process. The modeling process creates the prerequisites for a more appropriate combination of theory and experience in scientific research.

A description of literature data with mathematical modeling of packed absorbers for various gas-liquid systems is presented.

The importance of mathematical modeling and its use in computer modeling is shown.

The data given for most reactions in the chemical industry include substances that exist in different phases.

It is shown that sulfur dioxide is responsible for the formation of acid rain, which is one of the most common forms of pollution throughout the world, which is harmful to humans and the environment.

It is shown that the approach to designing a packed absorber usually includes the determination of geometric parameters, such as the absorber diameter, the height of the packing, as well as the mass transfer coefficient for gas and liquid flow, dry and total pressure drops, and the total mass transfer coefficient.

It is shown that the use of simulation methods and mathematical modeling for the design and optimization of absorbers is constantly evolving. The most developed and widespread computer programs are the MATLAB software.

A description is given of a typical packed absorber, consisting of a vertical cylindrical shell containing a support plate for packing material, a device for distributing liquid. The liquid is supplied at the top of the absorber and flows down through the nozzle. The gas-air stream is supplied at the bottom of the absorber.

A schematic diagram of a packed absorber is given.

A mathematical model of the process of cleaning the gas-air flow from SO_2 in a packed absorber is presented.

Equations are given for the material balance, calculation of the gas-air flow velocity and absorber diameter, calculation of the packing height, the equation for calculating the mass transfer and mass transfer coefficients, the equation for the hydraulic resistance of a dry packing and the total resistance of an irrigated packing.

Keywords: surfactant, mathematical model, gas-air flow, sulfur dioxide, purification process, packed absorber.