

H — довжина (висота) робочої зони.

Модуль пружності вібратора та швидкість поширення ультразвуку в рослинному маслі, а також геометричні параметри вібратора h і l пов'язані з кутовою частотою ω формулами

$$b_n = (-1)^{n-1} \frac{2\alpha\omega}{El\gamma_n},$$

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{1}{l} \arcsin \frac{\sin \gamma_n l}{\omega^2 - \alpha^2 \gamma_n^2}}$$

Тут

$$\gamma_n = \frac{\pi(2n+1)}{2l}, k_n = \frac{\alpha_n}{R_0}$$

α_n — позитивний корінь нульової функції Бесселя,

$J_0(x)$ — нульова функція Бесселя.

Функцію (9) можна представити у вигляді суперпозиції гармонік, а потім вибрати ті з них, у яких довжина хвилі порівнянна з довжиною вільного пробігу частки домішки. Цим доведена принципова можливість прогнозувати ефективність очищення рослинних масел за допомогою ультразвуку.

Висновки

Отримані результати показують головні діючі фактори інтенсифікації технології очищення рослинної олії: відцентрове силове поле і ультразвукова хвиля. Обидва фактора можна застосовувати одночасно або послідовно. Поскілки коагуляція домішок прискорює видалення їх із зони, то в технології очищення олії керуючими факторами треба прийняти кутову швидкість ротора та кругову частоту вібратора.

Література

1. П. І. Осадчук, В. Я. Гамоліч Математичний опис коагуляції домішок у дисперсних потоках. /Аграрний вісник причорномор'я. Технічні науки. Вип. 48. Одеса, 2009 с.18-28
2. Б. М. Яворський і А. А. Демлаф Довідник по фізиці для інженерів і студентів вузів. М.: Наука, 1974. — 240с.

УДК 66.069.833 :532.62

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ МАСОПЕРЕНОСУ В НАСАДКОВИХ АПАРАТАХ

В.П. Волочнюк, Л.Г. Воронін, В.Л. Ракицький.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Розглянуто математичну модель абсорбції в апаратах з регулярною насадкою, що має низький гідравлічний опір і високі масообмінні коефіцієнти у газорідних системах.

The mathematical model of absorption in devices with the regular nozzle having low hydraulic resistance and high mass-transfer factors in gas-fluid systems is considered.

Ключові слова: абсорбція, газова суміш, математична модель

Для проведення масообмінних процесів в насадкових апаратах витрачаються значні кошти, що пов'язано, найбільшою мірою, з високою вартістю енергетичних ресурсів, які спрямовуються на подолання гідравлічного опору при проходженні газової фази крізь апарат, а також забезпеченням умов максимально тісного контакту газу з рідиною [1, 3]. Оскільки кількість енергетичних ресурсів обмежена, а вартість їх постійно і безперервно зростає, то зменшення витрат на проведення технологічних процесів є важливим завданням не тільки для України, але й для світової економіки.

Складність вирішення зазначеної проблеми полягає в тому, що згідно з принципом гідродинамічної аналогії підвищення ефективності масообміну вимагає забезпечення тіснішого контактування фаз і неодмінно супроводжується зростанням гідравлічного опору. Тому пошук оптимальних конструктивних рішень потребує не тільки узагальнення відомих положень, а й проведення нових теоретичних досліджень та експериментальних перевірок. Енергія газового потоку більш економічно використовується в апаратах з регулярними насадками. Вони мають порівняно низький гідравлічний опір, ніж апарати з контактними пристроями інших типів. Незважаючи на значні переваги цих насадок вони не набули широкого застосування через недостатню ефективність масообміну за показником висоти, еквівалентної одиниці перенесення (ВОП) маси [1, 2].

Певні технологічні процеси такі, як абсорбція чи десорбція, важко описати математичними моделями, що базуються на явищі масопереносу, через складність протікання цих процесів і недостатнього їх розуміння. Отже, інтерес до абсорбції газів зумовлений не тільки практичною важливістю, але й можливістю всебічного дослідження абсорбційних систем з метою отримання нових знань.

Метою даної роботи є аналіз і розробка математичної моделі високоефективних процесів інтенсифікації масообміну в апаратах з регулярною насадкою, що має низький гідравлічний опір і високі масообмінні коефіцієнти у газорідних системах та визначення перспективних напрямків підвищення їх ефективності.

Для досягнення цієї мети, необхідно:

- провести класифікацію відомих математичних моделей;
- проаналізувати математичні моделі процесу масообміну;
- удосконалити вже відомі моделі і вказати відмінності;
- перевірити працездатність;

Наукова новизна полягає:

- розробленні регулярної насадки нового типу – з перфорованих трубочок, що сприяє зменшенню застійних зон та більш рівномірному розподілу речовини по всій площі насадки [4];
- розробленні методу розрахунку розмірів та основних характеристик даної насадки;
- запропонованні спрощеної математичної моделі, що у порівнянні з раніше відомими може бути розв'язана аналітично.

Математичні моделі процесу абсорбції розділяють на дві групи [2]: 1) математичні моделі без врахування поперечного перемішування; 2) математичні моделі з врахування поперечного перемішування. Перша група в свою чергу поділяється на такі підгрупи: а) за ступенями розділу; б) багаступінчаті представлення процесу (лінеаризація рухомої сили по ступеням); в) з розподіленими параметрами (середньологарифмічна рухома сила); г) з зосередженими параметрами (середньоарифметична рухома сила). Математичні моделі, що враховують поперечне перемішування поділяються на такі: а) повністю асиметрична модель; б) асиметрична модель; в) симетрична модель; г) повне витіснення (повна симетрія); д) повне перемішування. Різниця, між даними видами математичних моделей полягає в тому, що перша група передбачає наявність в колоні режиму повного витіснення по взаємодіючих фазах.

Дана математична модель має суттєві відмінності у порівнянні з уже відомими, так як може бути розв'язаною, а також вона описана в стаціонарному режимі. Суттєвою відмінністю є також і те, що ця модель враховує площу поверхні контакту фаз, а відомі моделі враховують площу перерізу апарата. Математичні моделі, що описані у [2] розглядаються у не стаціонарному режимі, який не дає максимально достовірних результатів, що теж є дуже вагомим чинником.

Обмежуючись стаціонарним процесом, зміну концентрації розподіленої речовини по висоті насадки H для рідини та газу можна описати рівнянням:

для рідини

$$G_p (dX/dH) \Delta H = K_x (Y^* - Y) \Delta F,$$

та в газі

$$G_g (dX/dH) \Delta H = K_y (Y - Y^*) \Delta F$$

де G_p – витрати рідини, кг/с; G_g – витрати газу, кг/с; H – висота насадки, м; ΔH – елемент висоти насадки, м; ΔF – площа поверхні контакту насадки, яка відповідає ΔH , м²; Y^* – рівноважна концентрація розподіленої речовини, кмоль речовини/кмоль абсорбенту; Y – концентрація розподіленої речовини, кмоль речовини/кмоль газу; K_x – коефіцієнти масопередачі для рідини, м/с; K_y – коефіцієнти масопередачі для газу, м/с;

Початковими умовами є:

при $H=0, X=X_K, Y=Y_{II}$,
та $H=H, X=X_{II}, Y=Y_K$;

Перерахунок витрат:

рідини: G_r / M_{H_2O} ,

газу: $G_g / M_{газу}$,

де M_{H_2O} — мольна маса води, кг/моль; $M_{газу}$ — мольна маса газу, кг/моль; G_r — витрати рідини, кг/с; G_g — витрати газу, кг/с.

Визначення мольної маси газової суміші, кг/моль:

$$M_{газу} = \sum_i^N M_i Y_i = M_{повітря} Y_{повітря} + M_p Y_p,$$

де M_i — мольна маса компонентів газової суміші, кг/моль; $M_{повітря}$ — мольна маса повітря, кг/моль; M_p — мольна маса розподіленої речовини, кг/моль; Y_i — мольна доля компонента в суміші, кмоль компонента/кмоль суміші; $Y_{повітря}$ — мольна доля повітря, кмоль/кмоль; Y_p — мольна доля розподіленої речовини, кмоль розподіленої речовини/кмоль газу.

Запишемо критеріальне рівняння для газової фази (плівковий режим):

$$Nu_g^* = (A/8) Re_g Pr_g^* (\delta_{пл}/H)^2,$$

де A — коефіцієнт; Re_g — критерій Рейнольдса (газ); Pr_g^* — дифузійний критерій Прандтля (газ); $\delta_{пл}$ — приведена товщина плівки, м; H — висота насадки, м; p — коефіцієнт (табл.1), [2].

Критерій Рейнольдса для газу визначається за формулою:

$$Re_g = W_g \rho_g / \mu_g,$$

де W_g — швидкість газу; ρ_g — густина газу, кг/м³; μ_g — динамічна в'язкість газу, Па·с.

Швидкість газу з формули:

$$\lg \left[\frac{W_{кр}^2 \rho_g a}{g \rho_p S_p^2 \mu_p^{0.16}} \right] = A - 1,75 (G_p / G_r)^{1/4} (\rho_r / \rho_p)^{1/8},$$

де S_B — вільний о'єм насадки, м³/м³; a — питома поверхня насадки, м²/м³; $W_{кр}$ — критична швидкість газу, м/с, A — коефіцієнт, який вибирається в залежності від типу насадки.

Отже:

$$W_g = 0,8 W_{кр} + W_p.$$

де W_p — робоча швидкість в апараті.

Дифузійний критерій Прандтля (газ):

$$Pr_g^* = \mu_g / \rho_g D_g$$

де D_g — коефіцієнт дифузії розподіленої речовини в газовій фазі, м²/с

Критеріальне рівняння для рідкої фази:

$$Nu_p^* = B Re_p^n (Pr_p^*)^{0.5} (\delta_{пл}/H),$$

де B, n — коефіцієнти (табл.1), [2]; μ_p — динамічна в'язкість, Па·с; Re_p — критерій Рейнольдса (рідина); Pr_p^* — дифузійний критерій Прандтля (рідина); $\delta_{пл}$ — приведена товщина плівки, м.

Приведена товщина плівки:

$$\delta_{пл} = [\mu_p^2 / \rho_p^2 g]^{1/3},$$

де ρ_p — густина рідини, кг/м³; μ_p — динамічна в'язкість, Па·с; g — прискорення вільного падіння, м²/с.

Критеріальне рівняння для газової фази:

Дифузійний критерій Нуссельта (розподілена речовина):

$$Nu_g^* = \beta_1 d_{екв} / D_g,$$

де β_1 — коефіцієнт масовіддачі у газовій фазі, м/с; $d_{екв}$ — еквівалентний діаметр плівки, м.

Еквівалентний діаметр плівки:

$$d_{екв} = 4 \delta_{пл}.$$

Дифузійний критерій Прандтля (рідина):

$$Pr_p^* = \mu_p / \rho_p D_p.$$

Дифузійний критерій Нуссельта (рідина):

$$Nu_p^* = \beta_p \delta_{\text{гф}} / D_p .$$

де β_p — коефіцієнт масовіддачі в рідині, м/с; D_p — коефіцієнт дифузії в рідині, м²/с.

Критерій Рейнольдса (рідина):

$$Re_p = W_{\text{гф}} d_{\text{нас}} \rho_p / \mu_p ,$$

де $W_{\text{гф}}$ — середня швидкість рідини, м/с.

Таблиця 1 – Коефіцієнти в критеріальних рівняннях

	<i>B</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
$Re_p < 300$	0,888	0,45	0,5
$300 < Re_p < 1600$	$1,21 \cdot 10^6 \cdot 0,909^p$	$p/3 - 2,18$	$(3,2 - 1,8 Re_p) 11,47$
$Re_p > 1600$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	1	0

Коефіцієнти масопередачі, м/с:

$$K_p = 1 / (1/m\beta_g + 1/\beta_p),$$

$$K_g = 1 / (m/\beta_g + 1/\beta_g),$$

де β_g — коефіцієнт масовіддачі у газовій фазі, м/с; β_p — коефіцієнт масовіддачі в рідині, м/с;

m — тангенс кута нахилу лінії рівноваги.

Визначення λ :

$$Re_{\text{гф}} = \left[86 / (0,11 + 0,9 (W_{\text{гф}} \mu_p / \delta_p)^{2/3}) \right]^{1,17} .$$

$$Re_g < Re_{\text{гф}} , \lambda = 86 / Re_g ,$$

$$Re_g > Re_{\text{гф}} , \lambda = [0,11 + 0,9 (W_{\text{гф}} \mu_p / \delta_p)^{2/3}] / Re_g^{0,16}$$

Висновки

На основі огляду літературних джерел та теоретичного аналізу удосконалено математичну модель процесу абсорбції.

Проведений аналіз декількох видів моделей і зроблено висновки щодо ефективності запропонованих удосконалень.

Теоретичні результати досліджень можуть бути використані науково–дослідними і проектними організаціями для проектування і впровадження у виробництво ефективних регулярних насадок і абсорбційних апаратів. Планується опублікувати розв’язок математичної моделі.

Література

1. Марценюк А. С. Науково –технічні основи інтенсифікації масообміну в газорідних апаратах з регулярними насадкам // Автореф. докт. техн. наук. – К.: НУХТ, 2006. – 45 с .
2. Кафаров В. В. Основы масопередачи.-М.:Высшая школа, 1979. – 439с.
3. Волощюк В. П., Півень О. Н. Дослідження процесу масопереносу в елементах насадочних апаратів // Наукові праці ОНАХТ: У 2 ч.– О.: ОНАХТ–2009.–№35.– ч. 2.– С. 81 – 84.
4. Заявка 12058 України, МПК9 В 01 J 19/32. Пакет регулярної насадки масообмінного апарата / Волощюк В.П., Мікульонюк І.О., Ракицький В.Л., Швед Д.М. – 2009.