

УДК 66.071.5+532.529

А.М. СВІТЛИК, аспірант

О.М. ПРОХОРОВ, доцент, кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЇ В ПРОХІДНИХ ПОРИСТИХ КАПІЛЯРАХ

Розглянуто процес насичення рідини діоксидом вуглецю в пористих прохідних капілярах. Описано особливості абсорбційних процесів в прохідних капілярах. Запропонована фізична модель руху двофазного середовища в снарядному режимі. Для визначення кількості речовини що перейшла у рідину  $Q$  при довжині капіляра  $x_1=L$  за час  $t$  – отримали рівняння:  $Q = 2\sqrt{\frac{D_1 t}{\pi}} C_2$ . Дана стаття може бути використана при розробці обладнання для сатурації рідин.

**Ключові слова:** снарядний режим, двофазне середовище, абсорбція, пористий капіляр, дифузійний процес.

В харчовій промисловості розпочали впроваджуватися мікротехнології. Особливе значення займає процес насичення рідини діоксидом вуглецю. Даний процес можна провести в мікрокапілярах, які мають пористу структуру. Перспективним режимом проведення газорідинних абсорбційних процесів являється снарядний режим. В даному режимі рух газорідинної суміші складається із певних об'ємів рідини відділених один від другого газовими пробками. Особливостями даного режиму являється: значне перемішування рідинної фази за рахунок тейлорівських вихорів, незначний дифузійний шлях для молекул газу, що проникає через плівку рідини із газового об'єму, що знаходиться між рідиною та перфорованою стінкою капіляру.

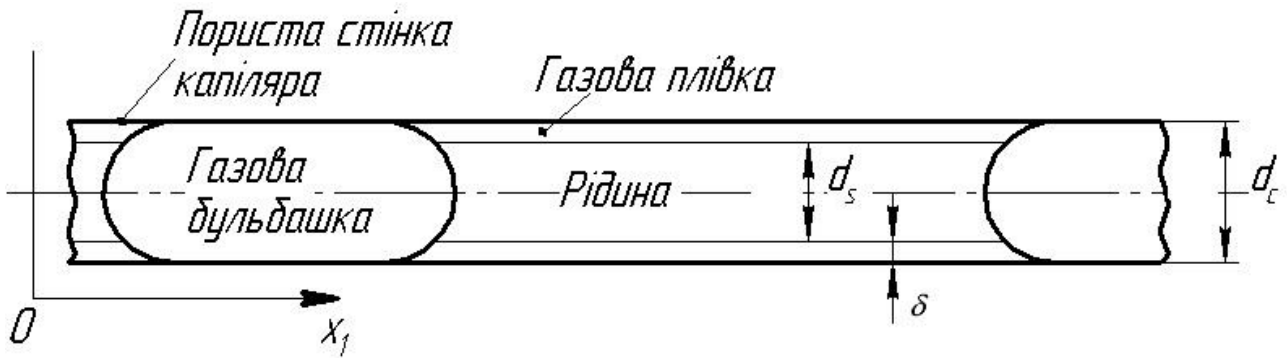


Рис. 1. Схема руху двухфазного середовища в снарядному режимі.

Дослідження процесу абсорбції в порожнині пористого капіляра являється актуальною масообмінною задачею. Характер дифузійного процесу у внутрішній порожнині капіляра суттєво відрізняється від даного процесу у великому об'ємі. В даній роботі запропоновані теоретичні основи дифузійного процесу абсорбції діоксиду вуглецю у рідині під час їх руху в порожнині пористого капіляра.

В капіляр поступає рідина з концентрацією  $C_1=0$ . Через пори капіляру поступає газ з концентрацією  $C_2$ . При русі по капіляру відбувається масообмінний дифузійний процес. Даний масообмінний процес можна описати [1].

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - D_1 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\right) C_1 = 0, \quad C_1=0 \quad (1)$$

$$x_1 \in (0, \infty), t \in (0, \infty)$$

$$C_1(x, t) = C_2 = \text{const}$$

де:  $x_1$  – координата від початку до кінця капіляру;  $t$  – час;  $C_1$  – концентрація газу в рідинній фазі;  $D_1$  – коефіцієнт дифузії із газової у рідинну фазу.

Потрібно визначити масу діоксиду вуглецю, що розчинився у воді на виході із капіляру  $x=L$ .

Можна рівняння (1) записати у вигляді

$$\left(\frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} - \sqrt{D_1} \frac{\partial}{\partial x_1}\right) \left(\frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} + \sqrt{D_1} \frac{\partial}{\partial x_1}\right) C_1 = 0 \quad (2)$$

Основи розв'язування дробного диференціювання наведені в роботі [2]

$$\frac{d^\vartheta f(t)}{dt^\vartheta} = D^\vartheta f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\vartheta)} \frac{d}{dt} \int_0^t (t-\tau)^{-\vartheta} f(\tau) d\tau, \quad (3)$$

$$\vartheta \in (-\infty; 1), D^\vartheta D^\mu f(t) = D^{\vartheta+\mu} f(t), \vartheta + \mu \leq 1$$

$$D^\vartheta D^\mu = \frac{\Gamma(\mu+1)}{\Gamma(\mu+1-\vartheta)} t^{\mu-\vartheta}, \mu - \vartheta > -1$$

Де:  $f(t)$  – функція часу;  $\Gamma$  – гама-функція.

Розглянемо рівняння, утворене правим операторним множником в рівнянні (2)

$$\left(\frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} + \sqrt{D_1} \frac{\partial}{\partial x_1}\right) C_1 = 0 \quad (4)$$

Записуючи рівняння (4) при умові  $x_1=L$ , отримуємо вираз для граничного градієнту:

$$-\sqrt{D_1} \frac{\partial C_1}{\partial x_1} \Big|_{x=L} = D^{1/2} C_1 \Big|_{x_1=L} = D^{1/2} C_2 \quad (5)$$

де:  $D$  – оператор диференціювання,  $s^{-1}$ .

Згідно закону Фіка, потік речовини через поверхню  $F_s$  визначається :

$$F_s = F \Big|_{x_1=L} = -D_1 \frac{\partial C_1}{\partial x_1} \Big|_{x=L} = \sqrt{D_1} D^{1/2} C_2 = \sqrt{\frac{D_1}{\pi t}} C_2 \quad (6)$$

Маса речовини  $Q$ , що перейшла із газової фази у рідинну фазу при довжині капіляра  $x_1=L$  за час  $t$

$$Q = D^{-1}Fs = \int_0^t Fs(\tau)d\tau = \sqrt{D_1}D^{1/2}C_2 = 2\sqrt{\frac{D_1t}{\pi}}C_2 \quad (7)$$

Перевірку достовірності теоретичних результатів що описують процес абсорбції діоксиду вуглецю у рідині під час їх руху в прохідних пористих капілярах можна отримати на основі експериментальних досліджень.

**Висновок.** В даній роботі описаний масообмінний дифузійний процес, який відбувається при русі в капілярі. Запропоновані теоретичні основи дифузійного процесу абсорбції діоксиду вуглецю у рідині під час їх руху в пористому капілярі.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Бабенко Ю.И. Тепломассообмен. Метод расчёта тепловых и диффузионных потоков / Бабенко Ю.И. – Л.: Химия, 1986.
2. Самко С.Г. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения / Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. – Минск: Наука и техника, 1987.

Рассмотрен процесс насыщения жидкости диоксидом углерода в пористых проходных капиллярах. Описаны особенности абсорбционных процессов в проходных капиллярах. Разработана физическая модель движения двухфазной среды в снаряжном режиме. Для определения количества вещества которое перешло из газовой фазы в жидкость  $Q$  при длине капилляра  $x_1=L$  за

время  $t$  - предложено уравнение:  $Q = 2\sqrt{\frac{D_1t}{\pi}}C_2$ . Данная статья может быть использована для интенсификации процессов абсорбции газа в жидкости.

**Ключевые слова:** снаряжный режим, двухфазная среда, абсорбция, пористый капилляр, диффузный процесс.

**A.M. SVITLYK, A.M. PROKHOROV. MODELING ABSORPTION PROCESS IN THE PASSAGE POROUS CAPILLARIES.**

The process of liquid carbon dioxide saturation has been studied. It was carried out in microcapillaries having capillary porous structure. It was described in detail the peculiarities of gas-liquid absorption processes regime. The scheme of two-phase medium movement in the fast regime has been given. Proposed theoretical basis of the diffusion process in porous capillary. Described mass transferring diffusion process in motion in capillaries. To determine the amount of stuff that came in liquid Q on chopping capillary  $x_1=L$  at time  $t$  - got the equation:  $Q_3 = 2 \sqrt{\frac{D_1 t}{\pi}} C_2$ . This article may be used to develop equipment for fluid saturation.

**Key words:** fast regime, two-phase medium, absorption, porous capillary, diffusion process.