

# DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF MASS TRANSFER IN THE LIQUID PHASE AT A CO<sub>2</sub> ABSORPTION OF WATER IN CAPILLARY-POROUS DEVICES

A.N. Svitlyk, A.N. Prohorov

National University of Food Technologies

## Key words:

carbon dioxide  
mass transfer coefficient  
and mass transfer  
process of absorption  
capillary-porous channel

## Article history:

Received 16.03.2015  
Received in revised form  
15.04.2015  
Accepted 9.05.2015

## Corresponding author:

the\_djs@live.com

## ABSTRACT

The process of absorption of carbon dioxide with water in capillary-porous channels developed a theoretical model determining factor mass transfer. Experimentally that mass transfer coefficient  $\beta_L$  depends on changes in system pressure, water temperature and diameter of the capillary channel. Coefficient  $\beta_L$  proportional to the magnitude of water temperature and inversely proportional to the pressure changes in the system and the diameter of the capillary. Using multivariate experiment provides a linear regression equation. Analysis of the equation showed that the coefficient in the liquid phase mass transfer  $\beta_L$  factors affecting research in the following order: the system pressure  $P$ , the capillary diameter  $d_k$  and the water temperature  $t$  °C. This paper shows the dependence of the liquid phase in mass transfer the growth temperature and pressure changes on the system

# ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА МАСОВІДДАЧІ У РІДИННІЙ ФАЗІ ПРИ АБСОРБЦІЇ СО<sub>2</sub> ВОДОЮ В КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ПРИСТРОЯХ

А.М. Світлик, асп., О.М. Прохоров, доц.

Національний університет харчових технологій

Для процесу абсорбції діоксиду вуглецю водою в капілярно-пористих каналах розроблена теоретична модель визначення коефіцієнта масовіддачі. Експериментально встановлено, що коефіцієнт масовіддачі  $\beta_L$ , залежить від зміни тиску в системі, температури води і діаметра капілярного каналу. Коефіцієнт  $\beta_L$  пропорційно залежить від величини температури води і обернено пропорційно залежить від зміни тиску в системі і діаметра капіляра.

**Ключові слова:** діоксид вуглецю, коефіцієнт масопередачі і масовіддачі, процес абсорбції, капілярно-пористий канал.

**Вступ.** Процес масопередачі включає процес масовіддачі в межах кожної з двох взаємодіючих фаз та процес перенесення розподіляємої речовини через поверхню розділення фаз.

Для погано розчинених газів, до яких відноситься діоксид вуглецю, коефіцієнт масопередачі рідинної фази рівний коефіцієнту масовіддачі в рідинній фазі.

Швидкість процесу абсорбції, при умові, рушійна сила виражається в концентрації рідинної фази, можна визначити за рівнянням [1]

$$M = \beta_L \cdot F \cdot \Delta X_{cp}, \quad (1)$$

де  $\beta_L$  — коефіцієнт масовіддачі від поверхні контакту фаз до рідинного потоку, м/с;  $F$  — поверхня розділення фаз, м<sup>2</sup>;  $\Delta X_{cp}$  — середня рушійна сила процесу абсорбції, кг/м<sup>3</sup>.

Мета роботи. Встановлення дії основних факторів процесу абсорбції — тиску в системі, температури води та діаметру пористого капіляру на значення коефіцієнта масовіддачі.

Основна частина. Згідно розробленої математичної моделі для капілярно-пористих пристроїв, коефіцієнту масовіддачі від поверхні контакту фаз до рідинного потоку визначається за формулою [2]

$$\beta_L = k \sqrt{\frac{D \cdot \omega}{2\pi \cdot b}}, \quad (2)$$

де  $k$  — експериментальний коефіцієнт;  $D$  — коефіцієнт молекулярної дифузії діоксиду вуглецю у воді, м<sup>2</sup>/с;  $\omega$  — швидкість руху рідинного снаряду в капілярі, м/с;  $b$  — довжина рідинного снаряду, м.

Коефіцієнт молекулярної дифузії CO<sub>2</sub> у воді, при певній температурі  $D_b$ , виражається через коефіцієнт дифузії при температурі води 20 °С залежністю [3]

$$D_t = D_{20} [1 + b(t - 20)], \quad (3)$$

де  $b$  — температурний коефіцієнт, який розраховується по емпіричній залежності

$$b = 0,2 \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}}, \quad (4)$$

де  $\mu$  — динамічний коефіцієнт в'язкості води при  $t = 20$  °С,  $\mu = 1,005$  МПа · с;  $\rho$  — густина води  $t = 20$  °С,  $\rho = 998$  кг/м<sup>3</sup>.

Залежність коефіцієнта дифузії діоксиду вуглецю водою при зростанні температури води зображена на рис. 1.

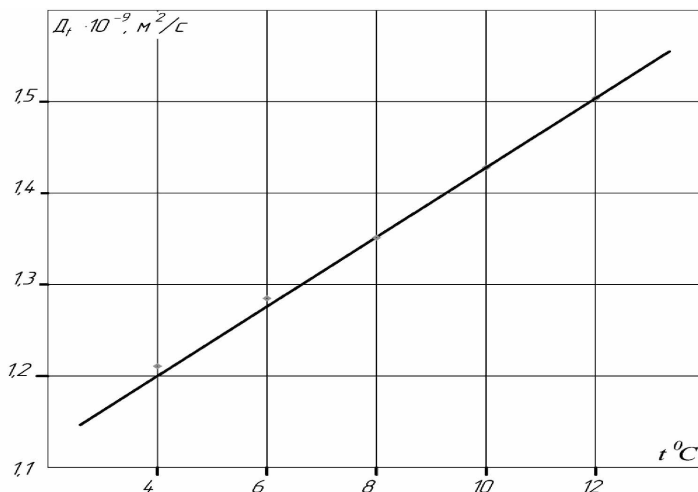


Рис. 1. Залежність коефіцієнта дифузії CO<sub>2</sub> водою при зміні її температури

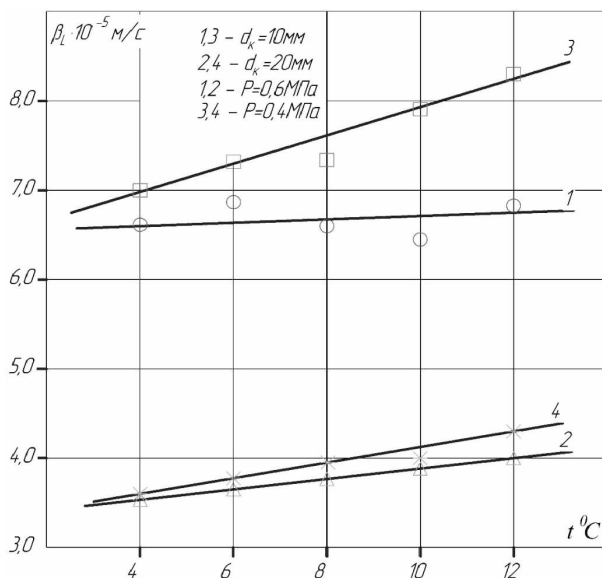
Коефіцієнт дифузії CO<sub>2</sub> у воді, при зростанні температури води від  $t = 4$  °С до температури  $t = 12$  °С, збільшується від значення  $1,2 \cdot 10^{-9}$  до значення  $1,5 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с

Коефіцієнт дифузії діоксиду вуглецю у воді, при зростанні її температури, описується лінійною функціональною залежністю

$$D_r = (0,038 \cdot t + 1,047) \cdot 10^{-9}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (5)$$

Коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі, згідно рівняння (2), залежить від зміни температури води.

На рис. 2 зображена залежність коефіцієнта масовіддачі в рідинній фазі від зростання температури води від 4 до 12°C для капілярних каналів діаметром Ш10 і Ш20 мм та при зміні тиску в системах 0,4-0,6 МПа.



**Рис. 2. Залежність коефіцієнта масовіддачі в рідинній фазі від зміни її температури**

При зростанні температури води, коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі збільшується. Коефіцієнт  $\beta_L$  для каналу діаметром 10 мм значно більший чим для каналу діаметром 20 мм при однакових значеннях температури води та тиску в системі. Даний ефект пов'язаний з дією в'язкісних сил на гідродинаміку двофазних газорідинних систем зі збільшенням діаметра капіляра.

Значення коефіцієнта масовіддачі в рідинній фазі при абсорбції діоксиду вуглецю водою від зміни температури води апроксимовано лінійною залежністю

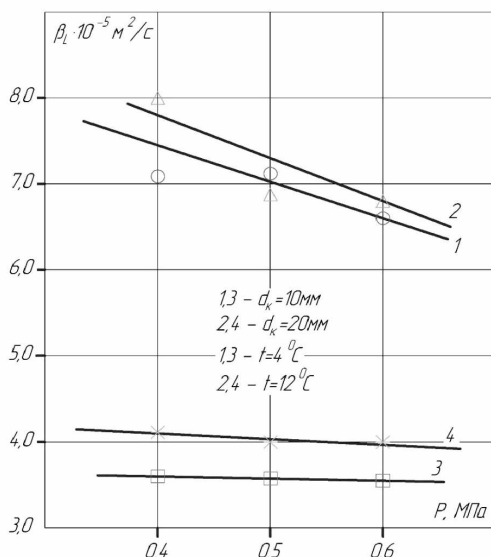
$$\beta_L = (k \cdot t + b) \cdot 10^{-5}, \quad (6)$$

де  $k, b$  — експериментальні коефіцієнти, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення досліджуваних параметрів		Значення коефіцієнтів	
		$k$	$b$
$d_k = 10\text{мм}$	$P = 0,6\text{МПа}$	0,0118	6,525
	$P = 0,4\text{МПа}$	0,1563	6,375
$d_k = 20\text{мм}$	$P = 0,6\text{МПа}$	0,0558	3,2941
	$P = 0,4\text{МПа}$	0,1196	3,1652

На рис. 3 зображена залежність коефіцієнта масовіддачі в рідинній фазі для процесу абсорбції  $\text{CO}_2$  водою від зміни тиску в системі



**Рис. 3. Залежність коефіцієнта масовіддачі в рідинній фазі від зміни тиску в системі**

При зростанні тиску в системі коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі  $\beta_L$  зменшується. Для капілярів діаметром 10мм коефіцієнт  $\beta_L$  менший чим для капілярів діаметром 20мм, при одних і тих же значеннях температури води та тиску в системі.

Функціональна залежність, що описує вплив значення тиску в системі на коефіцієнт  $\beta_L$ , має слідуочий вигляд

$$\beta_L = (a - b \cdot P) \cdot 10^{-5}, \tag{7}$$

де  $a, b$  — експериментальні коефіцієнти, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення досліджуваних параметрів		Значення коефіцієнтів	
		$a$	$b$
$d_k = 10\text{мм}$	$t = 4^\circ\text{C}$	9,0	4,0
	$t = 12^\circ\text{C}$	9,8	5,0
$d_k = 20\text{мм}$	$t = 4^\circ\text{C}$	3,7	0,33
	$t = 12^\circ\text{C}$	4,4	0,83

Використання методу багатofакторного експерименту по впливу на коефіцієнт масовіддачі у рідинній фазі при абсорбції  $\text{CO}_2$  водою в капілярно-пористих каналах дозволив отримати рівняння лінійної регресії [4].

$$\beta_L = (11,23 + 0,079t - 2,76P - 0,332d_k) \cdot 10^{-5} \tag{8}$$

Висновки. Аналіз рівняння (8) дозволив зробити наступні висновки:

Коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі при абсорбції діоксиду вуглецю водою  $\beta_L$  пропорційно залежить від температури води і обернено пропорційно залежить від зміни тиску в системі та діаметра капіляра;

На коефіцієнт масовіддачі в рідинній фазі  $\beta_L$  впливають фактори дослідження в наступній послідовності: тиск в системі  $P$ , діаметр капіляра  $d_k$  і температура води  $t$  °C.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : підруч. / А. Г. Касаткин. — М.: Химия, 1971. — 784 с.
2. Світлик А.М. Моделювання процесу абсорбції в прохідних пористих капілярах / А. М. Світлик, О.М. Прохоров // Харчова промисловість. — 2015. — № 16. — С.
3. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : підруч. / К.Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. — Л.: Химия, 1987. — 567 с.
4. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях : підруч. / М. С. Винарский, М. В. Лурье. — К.: Техника, 1975. — 168 с.
5. Ребров Е.В. Применение микротехнологий для интенсификации промышленных процессов / Е. В. Ребров // Химическая технология. — 2009. — Т. 10, № 10. — С. 595.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАССОТДАЧИ В ЖИДКОСТНОЙ ФАЗЕ ПРИ АБСОРБЦИИ CO<sub>2</sub> ВОДОЙ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ УСТРОЙСТВАХ**

**А.М. Свитлык, А.Н. Прохоров**

*Национальный университет пищевых технологий*

*Для процесса абсорбции диоксида углерода водой в капиллярно-пористых каналах разработана теоретическая модель определения коэффициента массоотдачи. Экспериментально установлено, что коэффициент массоотдачи  $\beta_L$  зависит от изменения давления в системе, температуры воды и диаметра капиллярного канала. Коэффициент  $\beta_L$  пропорционально зависит от величины температуры воды и обратно пропорционально зависит от изменения давления в системе и диаметра капилляра.*

**Ключевые слова:** диоксид углерода, коэффициент массопередачи и массоотдачи, процесс абсорбции, капиллярно-пористый канал.