

УДК 663.8.

DRIVING FORCE OF THE PROCESS OF CO₂ ABSORPTION IN WATER USING CAPILLARY-POROUS DEVICES

A. Svitlyk, A. Prokhorov

National University of Food Technologies

Key words:

*Carbon dioxide
Equilibrium
concentration of CO₂ in
the water
Average driving force of
absorption process
Capillary-porous device
Henry's law*

Article history:

Received 21.02.2015
Received in revised form
14.03.2015
Accepted 20.04.2015

Corresponding author:

A. Svitlyk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The influence of water temperature and pressure in the system on equilibrium concentration of carbon dioxide in water and on the average driving force of absorption process is investigated in the article. The degree of their influence on the equilibrium X_L^* and on the average moving power of absorption process ΔX_{cp} is found. The ways of intensification of the absorption processes using capillary-porous devices are presented. The conditions under which the process of absorption of CO₂ by water with the help of capillary-porous devices takes place are investigated. According to Henry's law, the equilibrium concentration of CO₂ in the liquid phase has been determined. On the basis of multifactorial experiment concerning the effect of CO₂ absorption in water on the average driving force, linear regression equation has been obtained. It has been established that system pressure affects the driving force of absorption process more than the change in water temperature.

РУШІЙНА СИЛА ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЇ СО₂ У ВОДІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ПРИСТРОЇВ

А.М. Світлик, О.М. Прохоров

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено вплив температури води і тиску в системі на рівноважну концентрацію діоксиду вуглецю у воді та на середню рушійну силу процесу абсорбції. Встановлений ступінь їх впливу на рівноважну X_L^* та середню рухому силу процесу абсорбції ΔX_{cp} і шляхи інтенсифікації абсорбційних процесів з використанням капілярно-пористих пристроїв. Проаналізовано умови, при яких відбувається процес абсорбції СО₂ водою з капілярно-пористими пристроями. Згідно із законом Генрі визначено рівноважну концентрацію СО₂ в рідкій фазі. На основі методу багатofакторного експерименту з визначення впливу на середню рушійну силу процесу абсорбції СО₂ у воді отримано рівняння лінійної регресії. Встановлено, що на рушійну силу процесу абсорбції більше впливає тиск у системі, ніж зміна температури води.

Ключові слова: діоксид вуглецю, рівноважна концентрація СО₂ у воді, середня рушійна сила процесу абсорбції, капілярно-пористий пристрій, закон Генрі.

Постановка проблеми. При перебігу масообмінних процесів у виробничих умовах рівноважна концентрація не досягається. Різниця концентрацій розподілюваної речовини між робочими і рівноважними концентраціями є рухомою силою масообмінних процесів. Від значень рушійної сили масообмінного процесу залежить кількість речовини, що передається від газової до рідинної фази.

Метою дослідження є визначення впливу температури і тиску в системі на рівноважну концентрацію діоксиду вуглецю у воді та середню рушійну силу процесу абсорбції в капілярно-пористому пристрої.

Матеріали і методи дослідження. Капілярно-пористий пристрій складається із перфорованої металевої трубки (капіляра), певного діаметра, по периметру якого кріпиться газова мембрана. По порожнині труби рухається вода, а у простір між мембраною та корпусом пристрою подається діоксид вуглецю, який барбатує в рухому рідину.

Масову концентрацію вмісту діоксиду вуглецю у воді (% мас) визначали шляхом наповнення ПЕТФ пляшки місткістю 2 дм³ та її закупорювання спеціальним пристроєм, який складається з манометра з діапазоном вимірювання (0,0,4) МПа, пустотілої голки, яка з'єднана з манометром та ковпачком. Ковпачок накручували на горловину пляшки, голка знаходилася в газовому просторі пляшки. Пляшку протягом 1—2 хв струшували. Після закінчення струшування пляшку переводили у вертикальний стан і знімали показання манометра. Після вимірювання тиску відкручували ковпачок і за допомогою термометра ТЛ-4 з діапазоном вимірювання (0—50) °С і ціною поділки 0,1 °С вимірювали температуру води. Масова концентрація CO₂ у воді визначається за таблицею, згідно зі значеннями виміряного тиску і температури води.

За результат випробувань приймається середнє арифметичне значення результатів трьох паралельних визначень.

Згідно з оптимальними умовами, проведення виробничого процесу сатурації безалкогольних напоїв, експериментальні дослідження впливу тиску в системі на розчинність діоксиду вуглецю у воді змінювали в межах від 0,4 до 0,6 МПа, а температуру води змінювали від 4 до 12 °С.

Основні результати дослідження. Процес абсорбції CO₂ водою відбувається в капілярно-пористому абсорбері за таких умов:

- лінія рівноваги є прямою;
- витрати фаз постійні по довжині апарата;
- робоча лінія є прямою;
- коефіцієнт масопередачі не змінюється по довжині апарата.

Початкова концентрація CO₂ в рідкій фазі дорівнює нулю, $x_n=0$. При експериментальних дослідженнях використовували газовий діоксид вуглецю масовою концентрацією 99,99 %, що відповідає вищому сорту згідно з вимогами ДСТУ 4817:2007.

Рівноважну концентрацію CO₂ в рідкій фазі визначали за законом Генрі [1, 2].

$$X_L^* = \frac{p}{E} \cdot y, \quad (1)$$

де p — загальний тиск у системі, атм; E — коефіцієнт Генрі, атм; y — масова частка діоксиду вуглецю в газовій фазі, кг/кг.

На рис. 1 наведені значення коефіцієнта Генрі від температури води від 0 до 12 °С.

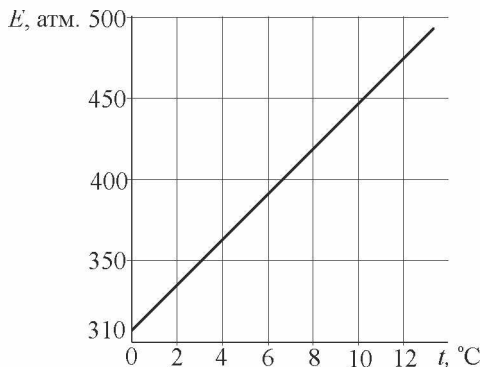


Рис. 1. Залежність коефіцієнта Генрі від зміни температури води

Зростання температури води призводить до збільшення коефіцієнта Генрі для CO_2 , що розчиняється у воді. У результаті обробки результатів [3, 4] отримали рівняння для вимоги коефіцієнта Генрі, малоконцентрованих розчинів CO_2 у воді:

$$E = 13,25t + 308,5.$$

На рис. 2 наведена залежність зміни рівноважної концентрації діоксиду вуглецю від температури води.

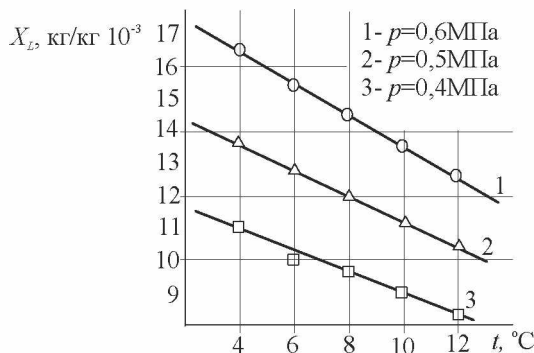


Рис. 2. Залежність рівноважної концентрації CO_2 у воді при зміні її температури

З підвищенням температури води рівноважна концентрація CO_2 у воді зменшується. Вплив температури води на значення рівноважної концентрації діоксиду вуглецю у воді описується функціональною залежністю:

$$X_L^* = (a - kt) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

де a, k — експериментальні коефіцієнти; t — температура води, °С.

Значення експериментальних коефіцієнтів у рівнянні (2) наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Значення експериментальних коефіцієнтів у рівнянні (2)

Тиск у системі, p , МПа	Значення експериментальних коефіцієнтів	
	a	k
0,6	18,44	0,484
0,5	15,17	0,390
0,4	12,15	0,313

Рівноважна концентрація діоксиду вуглецю у воді залежить від зміни тиску в системі. Зі зростанням тиску в системі рівноважна концентрація CO_2 у воді, згідно із законом Генрі, збільшується (рис. 3).

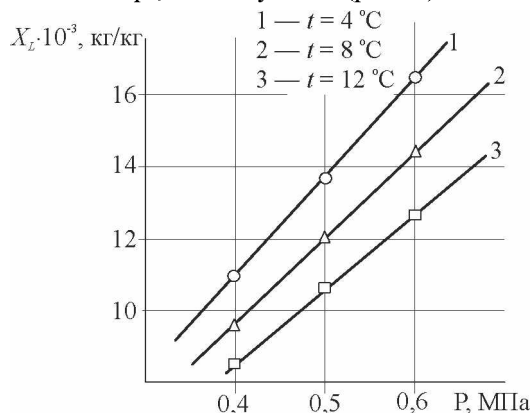


Рис. 3. Залежність рівноважної концентрації CO_2 у воді від тиску в системі

На значення рівноважної концентрації CO_2 у воді більше впливає зростання тиску в системі, ніж зменшення температури води.

Залежність рівноважної концентрації від збільшення тиску в системі описується таким лінійним рівнянням:

$$X_L^* = (kp + b) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де k , b — експериментальні коефіцієнти; p — тиск у системі, МПа.

Значення експериментальних коефіцієнтів наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Значення експериментальних коефіцієнтів у формулі (3)

Значення температури води, °C	Значення експериментальних коефіцієнтів	
	k	b
$t=4$	27,59	0,155
$t=8$	23,44	0,297
$t=12$	21,15	0,039

Згідно з умовами проведення процесу абсорбції в капілярно-пористих пристроях і значеннями $\left(\frac{\Delta X_6}{\Delta X_m} \leq 2 \right)$, середня рушійна сила процесу масопередачі визначається за формулою:

$$X_{\text{cp}} = \left(X_L^* - \frac{X_K}{2} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

де X_L^* , X_K — значення рівноважної концентрації діоксиду вуглецю у воді на виході з капілярно-пористого пристрою, кг/кг.

Зростання температури води від 4 до 12 °С призводить до зменшення середньої рушійної сили процесу абсорбції.

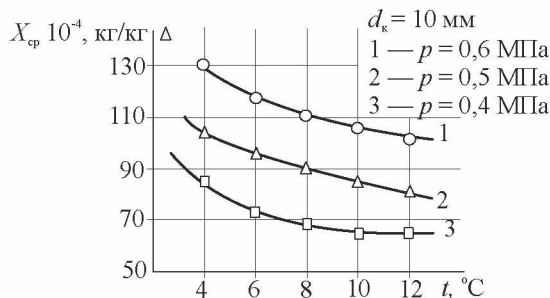


Рис. 4. Залежність середньої рушійної сили процесу від температури води

Значення середньої рушійної сили процесу від зростання температури води відбувається нелінійно.

Вплив температури води на значення середньої рушійної сили процесу абсорбції описується рівняннями, які наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Рівняння, що описують вплив температури води на середню рушійну силу процесу абсорбції CO₂ водою в капілярно-пористих каналах

Значення тиску в системі	Функціональна залежність середньої рушійної сили процесу від зміни температури
$p=0,6\text{ МПа}$	$\Delta X_{cp} = (0,469t^2 - 10,38t + 163) \cdot 10^{-4}, \text{ кг/кг}$
$p=0,5\text{ МПа}$	$\Delta X_{cp} = (0,094t^2 - 4,38t + 119) \cdot 10^{-4}, \text{ кг/кг}$
$p=0,4\text{ МПа}$	$\Delta X_{cp} = (0,219t^2 - 5,38t + 98) \cdot 10^{-4}, \text{ кг/кг}$

Вплив зростання тиску в системі на значення середньої рушійної сили процесу абсорбції CO₂ водою в капілярно-пористому каналі зображено на рис. 5.

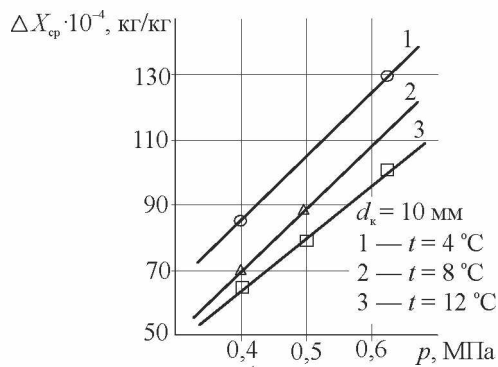


Рис. 5. Залежність середньої рушійної сили процесу від тиску в системі

Збільшення тиску в системі при проведенні процесу абсорбції CO₂ водою призводить до лінійного зростання середньої рушійної сили, яка описується функціональною залежністю:

$$X_{\text{cp}} = (ap + b) \cdot 10^{-4}, \quad (5)$$

де a , b — експериментальні коефіцієнти; p — тиск у системі, МПа.

Значення експериментальних коефіцієнтів наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Значення експериментальних коефіцієнтів у рівнянні (5)

Значення температури води, °C	Значення експериментальних коефіцієнтів	
	a	b
$t=4$	195	7
$t=8$	195	-9
$t=12$	150	5

Використання методу багатфакторного експерименту з визначення впливу на середню рушійну силу процесу абсорбції CO₂ у воді для капілярно-пористих каналів дало могу отримати рівняння лінійної регресії [5]:

$$\Delta X_{\text{cp}} = (17,5 + 202,5p - 2,94t) \cdot 10^{-4}, \text{ кг/кг}. \quad (6)$$

Висновки

Аналіз рівняння (6) надає можливість зробити такі висновки:

- на середню рушійну силу процесу абсорбції більше впливає тиск у системі, ніж зміна температури води;
- рушійна сила процесу абсорбції пропорційно зростає при збільшенні тиску в системі та зменшенні температури.

Література

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебн. / А.Г. Касаткин. — М.: Химия, 1971. — 784 с.
2. Малежик І.Ф. Процеси і апарати харчових виробництв: підруч. / І.Ф. Малежик. — К.: НУХТ, 2003. — 400 с.
3. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: учебн. / Л.З. Румшинский. — М.: Наука, 1971. — 192 с.
4. Деденко Л.Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л.Г. Деденко, В.В. Керженцев. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. — 112 с.
5. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях: учебн. / М.С. Винарский, М.В. Лурье. — К.: Техника, 1975. — 168 с.

ДВИЖУЩАЯ СИЛА ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ CO₂ В ВОДЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ УСТРОЙСТВ

А.Н. Свитлык, А.Н. Прохоров

Национальный университет пищевых технологий

В статье исследовано влияние температуры воды и давления в системе на равновесную концентрацию диоксида углерода в воде и на среднюю

движущую силу процесса абсорбции. Установлена степень их влияния на равновесную X_L^* и среднюю движущуюся силу процесса абсорбции $\Delta X_{\text{ср}}$ и пути интенсификации абсорбционных процессов с использованием капиллярно-пористых устройств. Проанализированы условия, при которых происходит процесс абсорбции CO_2 водой с капиллярно-пористыми устройствами. Согласно закону Генри определена равновесная концентрация CO_2 в жидкой фазе. На основе метода многофакторного эксперимента по воздействию на среднюю движущую силу процесса абсорбции CO_2 в воде для капиллярно-пористых каналов получено уравнение линейной регрессии. Установлено, что на движущую силу процесса абсорбции больше влияет давление в системе, чем изменение температуры воды.

Ключевые слова: диоксид углерода, равновесная концентрация CO_2 в воде, средняя движущая сила процесса абсорбции, капиллярно-пористое устройство, закон Генри.