

ВПЛИВ НА РОЗЧИННІСТЬ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ У ВОДІ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ РУСІ ГАЗОРІДИННИХ СИСТЕМ ПО КАПІЛЯРУ

Вступ. Наведено результати експериментальних досліджень по розчинності діоксиду вуглецю у воді від зміни капілярного числа.

Актуальність теми. Вимогам якісного насичення напоїв відповідають капілярно-пористі пристрої, у яких реалізується дія капілярних ефектів та тонкошаровий рух рідини з мікробарботуванням газової розчинної фази. Дослідження і встановлення раціональних режимів процесу абсорбції при використанні капілярно-пористих прохідних пристроїв є актуальною задачею [1].

Матеріали та методи. Для проведення експериментальних досліджень гідродинаміки двофазних газорідинних систем та впливу їх на процес насичення води діоксидом вуглецю була виготовлена експериментальна установка, яка оснащена всіма необхідними контрольно-вимірювальними приладами.

Витрати діоксиду вуглецю на насичення води визначали за показниками витратоміра KRONE H250, робота якого базується на визначенні витрат залежно від тиску і температури CO_2 з межами вимірювання $0 \div 10$ кг/год, який встановлено на трубопроводі подачі діоксиду вуглецю до капілярно-пористого пристрою. Тиск CO_2 на вході в капілярно-пористий пристрій визначали пружинним манометром за ГОСТ 2405-88, клас точності 1,0 з межами вимірювання $0 \div 1,0$ МПа. Витрати води визначали витратоміром KRONE Alcometer з межами вимірювання $0 \div 1,0$ м³/год, який встановлено на трубопроводі після насоса подачі води. Температуру води в пляшці вимірювали термометром ТЛ-4 за ГОСТ 284-98 з діапазоном вимірювання від 0 до 50⁰С і ціною поділки 0,1⁰С. Визначення тиску в надрідинному об'ємі пляшки проводили за допомогою пружинного манометра з діапазоном вимірювання $0 \div 0,4$ МПа.

Результати та обговорення. Особливістю однонаправленого руху двофазної газорідинної системи являється те, що фази рухаються не як одне ціле, а одна фаза рухається відносно другої фази, яка має більшу густину рухається повільніше, гальмуючи рух легкої фази.

В роботі [2] досліджувалися вертикальні канали діаметром від 1 до 4,0 мм, які відносяться до мікроканалів, на системі вода-повітря і були виявлені наступні режими роботи: бульбашковий, снарядний, пінний, кільцевий і дисперсно-кільцевий. Згідно значень зміни швидкостей газової та рідинної фаз для діаметра капіляра 10мм та системи вода-діоксид вуглецю встановлено снарядний рух двофазної системи.

Снарядний режим настає, коли довжина бульбашки перевищує його ширину. Довжина газового снаряда досягає довжині декількох діаметрів каналу. Від стінки капіляра снаряди відокремлюються шаром рідини, а один снаряд від другого відокремлені рідинною пробкою.

Найбільше ефективним режимом масообміну двофазної системи вода-діоксид вуглецю являється снарядний. Для даного режиму характерне добре перемішування всередині рідинного снаряда за рахунок тейлорівських вихорів і незначний дифузійний шлях через тоненьку плівку рідини між бульбашкою і стінкою капіляра.

Числове значення критерія Рейнольдса (Re) дозволяє встановити режим руху рідини. Для капіляра діаметром 10 мм режим руху рідини – перехідний і критерій Рейнольдса змінюється в межах $\text{Re}=3890 \div 6450$.

При русі двофазної газорідинної системи по капіляру відбувається стискання системи і змінюються кількісні характеристики системи: нормальні і тангенціальні напруження,

значення деформації та швидкостей деформації, коефіцієнти в'язкості, дифузії, швидкість фазових перетворень та інші.

В якості безрозмірного комплексу для оцінювання співвідношення сил в'язкісного тертя та сил поверхневого натягу введено поняття капілярне число, яке визначається за формулою [3]

$$Ca = \frac{\mu_1 \cdot U_b}{\sigma}, \quad (1)$$

де μ_1 – динамічна в'язкість суцільної фази, Па·с; U_b – швидкість руху бульбашки відносно капіляра, м/с; σ – міжфазний натяг, Н/м.

У якості швидкості можна використовувати як швидкість суцільної фази так і швидкість дисперсної газової фази.

Капілярне число Ca залежить від зміни швидкості рідкої фази, а значить воно залежить від зміни критерія Рейнольдса.

На рис. 1. наведена залежність значень капілярного числа від зміни критерія Рейнольдса для діаметра капіляра $d_k=10$ мм.

З підвищенням значення критерія Рейнольдса зростає значення капілярного числа. Дане явище засвідчує, що при $Re < 5500$ сили в'язкісного тертя переважають сили поверхневого натягу.

В якості узагальненого критерія, який враховує поверхневий натяг, діаметр капіляра і швидкість рідкої фази являється критерій Вебера [3]

$$We = \frac{\rho_1 \cdot U_s^2 \cdot d_k}{\sigma}, \quad (2)$$

де ρ_1 – густина суцільної фази, кг/м³; U_s – швидкість рідкої фази, яка приведена до повного січення капіляра, м/с.

Критерій Вебера характеризує співвідношення інерційних сил та сил поверхневого натягу.

На рис. 2. зображена залежність величини капілярного числа від зміни критерія Вебера для капіляра діаметром 10мм і тиску в системі 0,4-0,6 МПа.

З підвищенням значення критерія Вебера капілярне число збільшується і апроксимується лінійною залежністю

$$Ca = 0,02 \cdot We - 0,51, \quad (3)$$

Залежність (3) характеризує співвідношення між капілярними та інерційними силами і визначає режим руху двофазної газорідної системи.

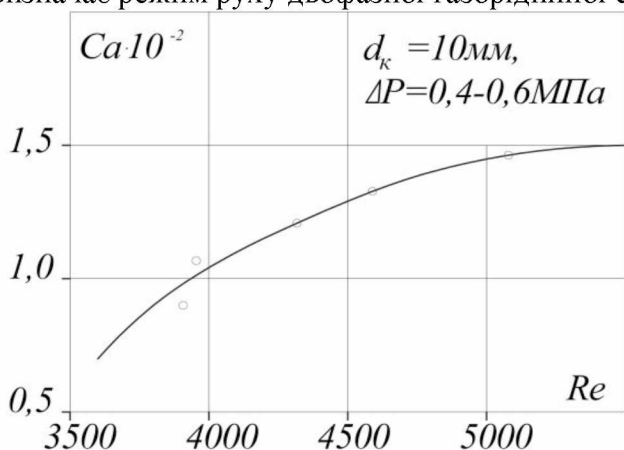


Рисунок 1 – Залежність капілярного числа від зміни критерія Рейнольдса

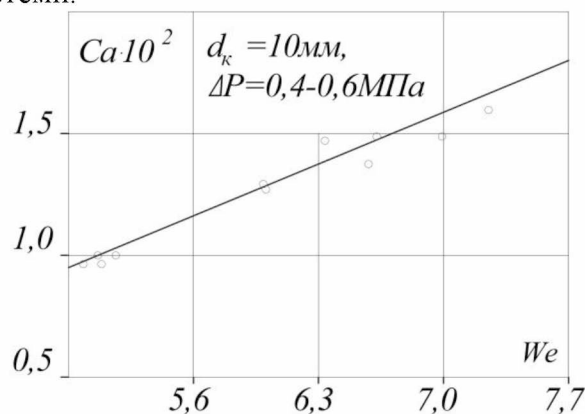


Рисунок 2 – Залежність капілярного числа від зміни критерія Вебера

Від значення капілярного числа залежить товщина рідинної плівки та швидкість газової бульбашки.

На рис. 3. наведена залежність розчинності діоксиду вуглецю у воді від зміни капілярного числа при русі двофазної газо-рідинної системи по капіляру діаметром 10 мм та тиску в системі $P=0,4\div0,6$ МПа.

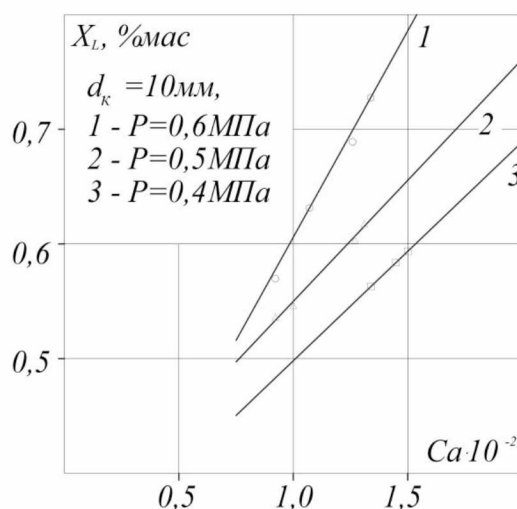


Рисунок 3 – Залежність масової концентрації CO_2 у воді від зміни капілярного числа

Збільшення капілярного числа призводить до лінійного зростання розчинності діоксиду вуглецю у воді при постійному значенні тиску в системі абсорбції.

Інтенсивність розчинення діоксиду вуглецю у воді від зміни капілярного числа описується лінійним рівнянням

$$x_L = a \cdot Ca \cdot 10^{-2} + b, \quad (4)$$

де a , b – експериментальні коефіцієнти, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення експериментальних коефіцієнтів

Значення факторів		Значення експериментальних коефіцієнтів	
		a	b
$d_k = 10 \text{ мм}$	$P=0,6 \text{ МПа}$	0,35	0,255
	$P=0,5 \text{ МПа}$	0,2	0,35
	$P=0,4 \text{ МПа}$	0,18	0,32

Зі збільшенням капілярного числа зростають тангенціальні сили, що прикладені до поверхні розділення фаз, викликають значні циркуляційні потоки в елементах дисперсної фази і інтенсифікують процеси масовіддачі.

Висновки. На основі досліджень по гідродинаміці двофазної системи вода-діоксид вуглецю, що рухається по капіляру діаметром 10 мм, встановлені границі впливу капілярних ефектів, виділені критерії, що характеризують режим течіння. Встановлено вплив капілярного числа на інтенсивність розчинення діоксиду вуглецю у воді.

Література

1. Федоткин И.М. Интенсификация технологических процессов пищевых производств / И.М. Федоткин, Б.Н. Жарик, Б.И. Погоржельский. – К.: Техника, 1984. – 176 с.
2. Mishima K., Hibiki T. Some Characteristics of Air-water Two-phase Flow Small Diameter Vertical Tubes//Int. J. Multiphase Flow. 1996. v.22. №4. p. 703.
3. Абиев Р.Ш. Циркуляционный и байпасный режимы снарядного течения газожидкостной смеси в капилляре. // Теоретические основы хим. технологии. 2009. т.43. №3. с. 313-321.