

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ОДНОНАПРАВЛЕНИХ І РІЗНОНАПРАВЛЕНИХ ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКІВ

Наведено аналітичний опис взаємодії рідинних і газових потоків різного спрямування стосовно масообмінних систем.

Ключові слова: *рідина, газ, потік, енергія, втрати, розсіювання.*

Analytical description of co-operation of liquid and gas streams of a different direction is resulted in relation to the exchange by the masses systems.

Keywords: *liquid, gas, stream, energy, losses, dispersions.*

Газорідинні, рідинні або газові потоки є складовими значної кількості процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв. Їх взаємодія розрахована на певні рівні масо- та теплообміну, гомогенізації, досягнення певних ефектів тощо [1–5]. Завданням цього дослідження визначено створення аналітичної моделі взаємодій вказаного рівня, оцінка впливів кінематичних і масових параметрів потоків на їх енергетичні рівні та показники дисипації.

Розглянемо випадок, що стосується взаємодії газового і рідинного потоків з фіксованими початковими швидкостями w_p і w_r (рис. 1).

Нехай маємо масові потоки рідинної m_p і газової m_r фаз зі вказаними початковими швидкостями. Надалі процес будемо вважати ізобарним, для якого кількість руху суміші на виході з ділянки змішу-

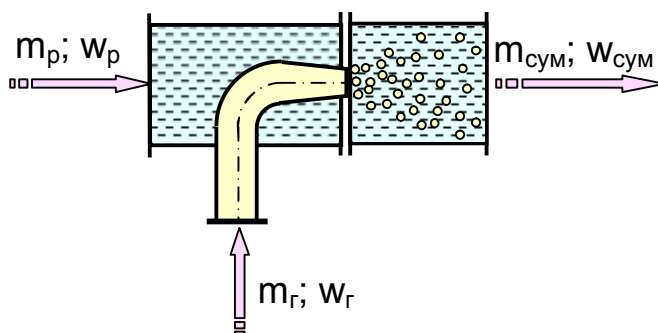


Рис. 1. Схема до аналізу взаємодії потоків

вання дорівнює сумі кількостей руху вхідних потоків:

$$m_p w_p + m_r w_r = (m_p + m_r) w_{\text{сум}}, \quad (1)$$

де $w_{\text{сум}}$ – швидкість руху газорідинної суміші.

Звідси визначаємо

$$w_{\text{сум}} = \frac{m_p w_p + m_r w_r}{m_p + m_r}, \quad \text{м / с.} \quad (2)$$

Потужності кінетичних енергій вхідних потоків

$$E_p = \frac{m_p}{2} w_p^2, \quad \text{Вт}; \quad (3)$$

$$E_r = \frac{m_r}{2} w_r^2, \quad \text{Вт.} \quad (4)$$

Потужність змішаного потоку дорівнює

$$\begin{aligned} E_{\text{зм}} &= \frac{m_p + m_r}{2} w_{\text{сум}}^2 = \frac{m_p + m_r}{2} \cdot \frac{(m_p w_p + m_r w_r)^2}{(m_p + m_r)^2} = \\ &= \frac{(m_p w_p + m_r w_r)^2}{2(m_p + m_r)}, \quad \text{Вт.} \end{aligned} \quad (5)$$

Втрата кінетичної енергії на удар дорівнює різниці кінетичних енергій потоків до і після змішування

$$\Delta E = E_p + E_r - E_{\text{зм}} = \frac{m_p m_r}{2(m_p + m_r)} (w_p - w_r)^2, \quad \text{Вт.} \quad (6)$$

Питома втрата на удар віднесена до одиниці масового потоку газу становить

$$\delta E_r = \frac{\Delta E}{m_r} = \frac{m_p}{2(m_p + m_r)} (w_p - w_r)^2, \quad \text{Дж / кг.} \quad (7)$$

Аналогічно стосовно одиниці масового потоку рідинної фази маємо

$$\delta E_p = \frac{\Delta E}{m_p} = \frac{m_r}{2(m_p + m_r)} (w_p - w_r)^2, \quad \text{Дж / кг.} \quad (8)$$

Як бачимо з одержаних формул (1)–(8) втрата на удар пропорційна квадрату різниці швидкостей на вході в камеру змішування. При цьому очевидно, що найбільше значення вона має у випадку, наприклад,

нерухомої рідинної фази.

У зв'язку з наведеною різницею енергій вихідного і вхідного потоків і у відповідності з законом збереження енергії відмітимо, що втрати на ударну взаємодію визначають рівень дисперсності газової фази в рідинній і рівень дисипативних втрат.

Дестабілізація гідродинаміки газорідинних систем, як бачимо, може досягатися у тому числі і за рахунок зміни кількісних показників взаємодіючих потоків. Розглянемо ситуацію, яка відповідає стабілізованій різниці швидкостей

$$(w_p - w_r)^2 = \text{const} \quad (9)$$

та нехай маємо співвідношення між потоками $m_r/m_p = \psi$. Тоді

$$m_r = \psi m_p. \quad (10)$$

Далі записуємо

$$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot \frac{\psi m_p^2}{m_p + \psi m_p} (w_p - w_r)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\psi m_p}{1 + \psi} (w_p - w_r)^2. \quad (11)$$

Задамо значення параметру ψ в інтервалі від 0,1 до 4 і підраховані результати занесемо в табл. 1.

Таблиця 1

Результати підрахунків параметра Φ

ψ	0,1	0,2	0,4	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
$\frac{\psi}{1+\psi}$	0,091	0,167	0,286	0,333	0,444	0,5	0,6	0,663	0,75	0,833

$$\Phi = \frac{\psi}{1 + \psi}, \quad (12)$$

Графічна інтерпретація розрахунків наведена на рис. 2, з якого видно доцільність і ефективність впливу на систему за рахунок зміни кількісного показника газового потоку $m_r = \psi m_p$. З метою оцінки впливів на різних інтервалах параметру ψ у таблиці 2 і на рис. 3 наведено відповідні дані.

Порівняльна оцінка співвідношень $\frac{\Delta E_i}{\Delta E_i / 2}$ і $\frac{\psi_i}{\psi_i / 2}$

$\frac{\psi_i}{\psi_i / 2}$	0,2/0,1	0,4/0,2	0,8/0,4	1,0/0,5	2,0/1,0	4,0/2,0
$\frac{\Delta E_i}{\Delta E_i / 2}$	1,835	1,713	1,552	1,5	1,334	1,23

З наведеного видно суттєво більшу можливість дестабілізації гідродинаміки системи за показником ψ_i в зоні значень $\psi_i < 1$.

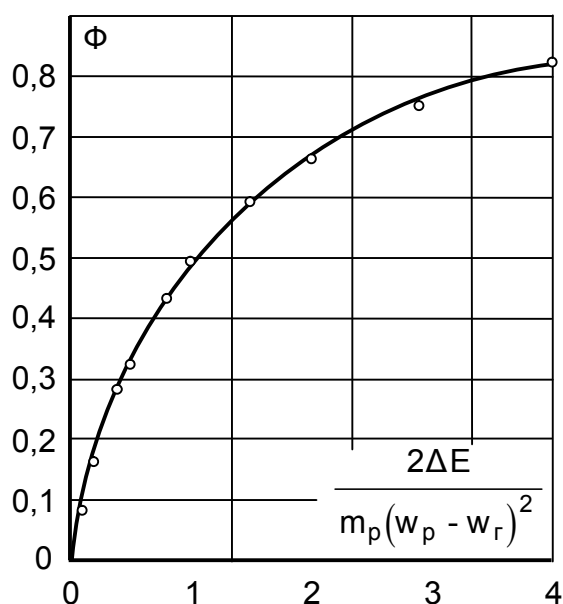


Рис. 2. Залежність до визначення енергетичних втрат при зміні газового потоку

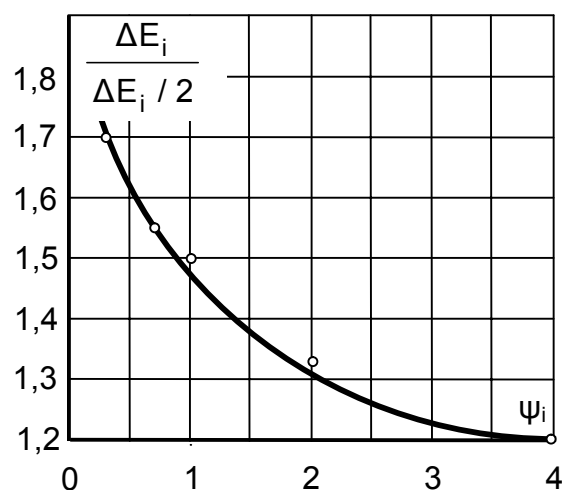


Рис. 3. Графік залежності $\frac{\Delta E_i}{\Delta E_i / 2} =$

$$= \frac{\Delta E_i}{\Delta E_i / 2}(\psi)$$

Подальше зростання ψ_i приводить до монотонного зменшення рівня відносного впливу при загальному наростанні абсолютних значень ΔE .

За структурою формули (6) з точки зору інтересів підвищення впливу на систему за параметром ΔE видно, що раціональним є шлях використання зміни такого параметра, як швидкість газового потоку w_r при інших стабілізованих параметрах.

Перепишемо умову (6) з розкриттям дужок при різниці швидкостей

$$\Delta E = \frac{m_p m_r}{2(m_p + m_r)} (w_p - w_r)^2 = \frac{m_p m_r}{2(m_p + m_r)} (w_p^2 - 2w_p w_r + w_r^2) \quad (13)$$

Позначивши $\frac{m_p m_r}{2(m_p + m_r)} = k_0$, маємо

$$\Delta E = k_0 w_p^2 - k_0 2w_p w_r + k_0 w_r^2, \quad (14)$$

яке є рівнянням параболи.

Дослідження рівняння (14) на екстремуми дозволяє записати

$$\frac{d\Delta E}{dw_r} = -2k_0 w_p + 2k_0 w_r = 0 \quad (15)$$

і звідси маємо лише один мінімум, за якого $w_p = w_r$, що власне відповідає першородній функції.

Таким чином з врахуванням параболічної залежності (14) слід підтвердити доцільність вибору напрямку дестабілізації гідродинаміки системи за рахунок зростання швидкості однієї із взаємодіючих фаз.

Разом з тим рівню maximum maximum відповідає взаємодія фаз зустрічних потоків, коли різниця швидкостей ($w_p - w_r$) замінюється їх сумою.

Очевидно, що за такого випадку і за однакових кількостей руху протидіючих потоків швидкість сумарного потоку буде дорівнювати нулю, а величина ΔE досягне можливого найбільшого значення.

За рівності швидкостей w_p і w_r силова взаємодія між потоками відсутня і слід відмітити, що у таких випадках має досягатися факельний режим впровадження газової фази в рідину. Існування "факелу" газової фази обмежується впливами гравітаційного поля, проте на певній висоті його існування підтримується в автоплинному режимі.

Ударна взаємодія різнонаправлених потоків. На розвиток сформульованої методики досліджень розглянемо випадок взаємодії потоків m_1 та m_2 , що зустрічаються під деяким кутом α (рис. 4).

У відповідності зі схемою запишемо

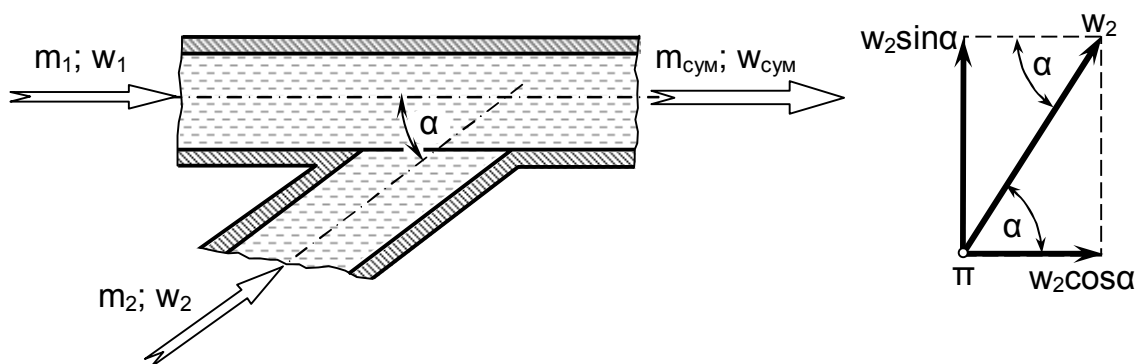


Рис. 4. Схема до визначення взаємодії потоків

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 \cos \alpha = (m_1 + m_2) w_{\text{сум}} \quad (16)$$

звідки

$$w_{\text{сум}} = \frac{m_1 w_1 + m_2 w_2 \cos \alpha}{m_1 + m_2}. \quad (17)$$

Потужності потоків визначаються за виразами

$$E_1 = \frac{m_1}{2} w_1^2; \quad (18)$$

$$E_2 = \frac{m_2}{2} w_2^2 \cos^2 \alpha; \quad (19)$$

$$E_{\text{сум}} = \frac{w_{\text{сум}}^2}{2} (m_1 + m_2); \quad (20)$$

Звідси маємо

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_1 + E_2 - E_{\text{сум}} = \frac{m_1}{2} w_1^2 + \frac{m_2}{2} w_2^2 \cos^2 \alpha - (m_1 + m_2) \frac{w_{\text{сум}}^2}{2} = \\ &= \frac{m_1}{2} w_1^2 + \frac{m_2}{2} w_2^2 \cos^2 \alpha - (m_1 + m_2) \frac{(m_1 w_1 + m_2 w_2 \cos \alpha)^2}{2(m_1 + m_2)^2} = \\ &= \frac{m_1}{2} w_1^2 + \frac{m_2}{2} w_2^2 \cos^2 \alpha - \frac{m_1^2 w_1^2 + 2m_1 w_1 m_2 w_2 \cos \alpha + m_2^2 w_2^2 \cos^2 \alpha}{2(m_1 + m_2)} = \\ &= \frac{m_1 m_2 (w_1 - w_2 \cos \alpha)^2}{2(m_1 + m_2)}. \end{aligned} \quad (21)$$

Очевидно, що вираз (21) є узагальнюючою формулою і за значення $\alpha = 0$ одержимо рівняння (6). Для потоків, що зустрічаються під кутом $\alpha = 90^\circ$ одержуємо

$$\Delta E = \frac{m_1 m_2 w_1^2}{2(m_1 + m_2)}, \quad (22)$$

а для зустрічних потоків маємо

$$\Delta E = \frac{m_1 m_2 (w_1 + w_2)^2}{2(m_1 + m_2)}, \quad (23)$$

Висновок. Таким чином, взаємодія потоків з різними швидкостями і різними напрямками завершується відповідними рівнями турбулізації потоків, енергетичним проявом якого є величина ΔE . Разом з тим така взаємодія прискорює гомогенізаційні та масообмінні процеси, у тому числі і для випадків газорідних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубінін О.О., Переяславцев О.М., Тахістова Г.О. Визначення динамічних параметрів висхідних потоків газорідної суміші у шарі рідини // Харчова промисловість. – К.: НУХТ, – 2003. – № 3. – с. 92-94.
2. Єрмакова О.П. Ежекційно-циклонний пристрій для очищення води. Автореф. дисерт. на здобуття ступеня к.т.н. – Дніпропетровськ: – 2001. – 19 с.
3. Тахістова Г.О., Аністратенко В.О., Дубінін О.О. Аналітичне визначення мінімального швидкісного напору газової фази, при якому відбувається розрив вільної поверхні шару рідини // Наукові праці УДУХТ, – 1998. – № 4. – С. 20-21.
4. Соколенко А.І., Хоменко М.Д., Піддубний В.А., Семенов О.М. Масообмін в процесах змішування рідинних і газових потоків // Цукор України. – 2006. – № 6. С. 18–20.
5. Єрмаков П.П. Автоколивальна масообмінна апаратура харчової промисловості. Автореф. дисерт. на здобуття ступеня д.т.н. – К.: 1995. – 28 с.