

## MASS TRANSFER INTENSIFICATION WHILE MACHINED MEDIA AERATION

A. Shevchenko, S. Blazhenko, A. Romaniuk, N. Sova

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Intensification mass Transfer aeration diffuser Fluctuation between the Surface phases*

**Article history:**

Received 18.12.2013

Received in revised form 02.01.2014

Accepted 13.01.2014

**Corresponding author:**

A. Shevchenko

**E-mail:**

[npnuht@ukr.net](mailto:npnuht@ukr.net)

---

**ABSTRACT**

The problem of intensified gas-liquid mass transfer processes in environments with the ability to create a variable force effects by removing them beyond the stationary modes has been studied. Different designs of diffusers have been proposed and the dynamics of change of pressure depending on their surface shape has been examined. It is shown that the inertial forces of generated fields solve the problem of mass transfer intensification at speed up to update the contact surfaces of the bubbles with the environment and this procedure is achieved due to the kinetic energy of moving liquid phase in the circulation circuit.

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МАСООБМІНУ В ПРОЦЕСАХ АЕРАЦІЇ ОБРОБЛЮВАНИХ СЕРЕДОВИЩ

О.Ю. Шевченко, С.І. Блаженко, А.М. Романюк, М.С. Сова

Національний університет харчових технологій

*У статті розглянуто проблему інтенсифікації масообмінних процесів у газорідинних середовищах з можливістю створення змінних силових впливів за рахунок виведення їх за рамки стаціонарних режимів. Запропоновано різні конструкції дифузоров і розглянуто динаміку зміни тисків залежно від їх форми поверхні.*

**Ключові слова:** інтенсифікація, масообмін, аерація, дифузор, флуктуація, міжфазна поверхня.

Інтенсифікація масообмінних процесів у газорідинних середовищах потребує силових втручань, які змінюють гідродинамічні характеристики систем. Такій точці зору відповідає набір критеріїв гідродинамічної подібності, представлених критеріями Фруда, Ейлера та Рейнольдса:

$$Fr = \frac{w^2}{gl} \cdot \frac{m}{m} \cdot \frac{l}{l} = \frac{mw^2}{l^2} \cdot \frac{l}{mg} = \frac{\text{сила інерції}}{\text{сила тяжіння}};$$

$$Eu = \frac{P}{\rho w^2} = \frac{\text{сила тиску}}{\text{сила інерції}};$$

$$Re = \frac{w l \rho}{\mu} = \frac{\text{сила інерції}}{\text{сила тертя}},$$

де  $l$  — геометричний параметр;  $w$  — швидкість потоку;  $P$  — тиск;  $\rho$  — густина середовища;  $\mu$  — динамічна в'язкість системи;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $m$  — маса.

Взаємодія між матеріальними потоками впливає із законів Ньютона і є причиною змін в них, оскільки сили інерції представлені в кожному з критеріїв. У зв'язку з цим вибір методів інтенсифікації масообміну доцільно планувати в напрямках створення силових факторів.

Сили інерції, що входять у названі критерії, відносяться до перехідних процесів, які характеризуються зміною швидкостей у відносному переміщенні фаз чи зміною напрямків швидкостей, або вказаною сукупністю. Починаючи від утворення газових бульбашок, у рідинному середовищі спостерігаються енергетичні перетворення.

Введення газової фази в рідинне середовище супроводжується подоланням гідростатичного тиску і взаємодією газового й рідинного потоків. При цьому газова фаза має певну швидкість, з якою здійснюється взаємодія.

Збільшення швидкості рідинного потоку означає зростання кінетичної енергії рідинного потоку, а наявність сил інерції вказує на позитивний вплив на систему з точки зору обмеження швидкостей винесення газової фази в циркуляційних контурах [3].

Принципова оцінка корисності вказаних явищ важлива з тієї точки зору, що їх можливо послабити або, навпаки, підсилити за рахунок конструктивних особливостей. Так, виконання дифузора, розміщеного у внутрішній частині апарата, з розширенням у напрямку верхньої кромки гарантує стабілізацію швидкості, а звуження його, навпаки, підсилить інерційні ефекти (рис. 1).

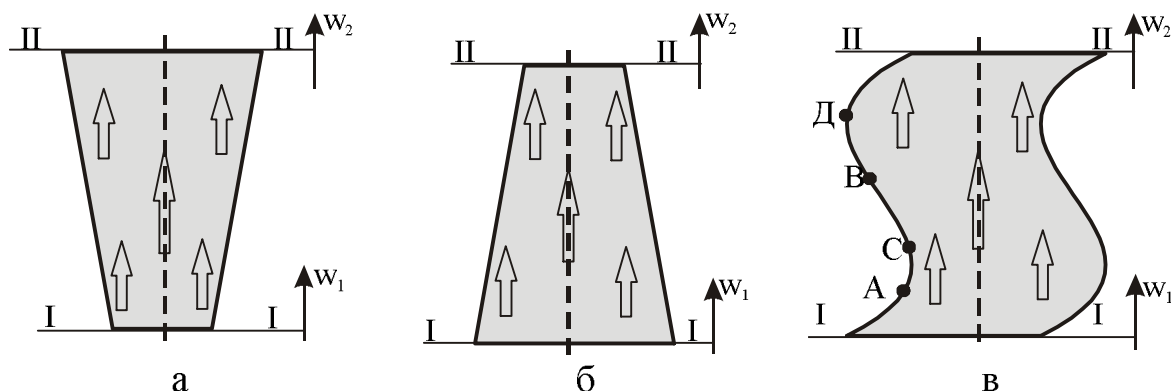


Рис. 1. Схема доконструктивних особливостей виконання дифузора:

а) дифузор розширення потоку; б) дифузор звуження потоку; в) дифузор зі змінним поперечним перерізом

З точки зору інтересів масообміну через міжфазну поверхню за рахунок сил інерції слід звернути увагу на те, що сила інерції, яка виникає, спрямована

проти напрямку переміщення потоку і пригальмовує його. Це означає підвищення силової взаємодії між рідинною і газовою фазами, обмеження швидкості циркуляції рідинної фази в апараті і винесення газової фази в циркуляційних контурах.

Можливість створювати змінні силові впливи в газорідинних потоках за рахунок виведення їх за рамки стаціонарних режимів слід розцінювати як позитивний напрямок в інтенсифікації масообмінних процесів. Так, змінний поперечний переріз дифузора (рис. 1, в) забезпечує багаторазовий вплив на середовище й осциляцію в ньому тисків. При цьому на одному кроці А—Д змінної площі поперечного перерізу дифузора швидкість потоку зміниться до максимального значення в точці С і до мінімального в точці В. Цим змінам відповідають зміни тисків у потоці і в перерізі, що відповідає точці С, де вони будуть мінімальними, а в перерізі, що відповідає точці В, — максимальними.

Динаміка зміни тисків залежить від форми поверхні дифузора. За рахунок останньої можливо досягати різних законів зміни швидкостей потоків і прискорень.

Припустимо, що зростання швидкості на ділянці А—С передбачається за лінійним законом:

$$w = w_0 + at, \quad (1)$$

де  $w_0$  — швидкість потоку, що відповідає перерізу в точці А;  $a$  — прискорення потоку;  $t$  — час перебігу процесу.

За стабілізованих потоків  $V_p$  і  $V_g$  маємо:

$$F = \frac{V_p + V_g}{w_0 + at},$$

де  $V_p$  і  $V_g$  — секундні витрати рідини і газу.

Звідси

$$\frac{\pi d_i^2}{4} = \frac{V_p + V_g}{w_0 + at},$$

$$d_i = \sqrt{\frac{4(V_p + V_g)}{\pi(w_0 + at)}}. \quad (2)$$

Таким чином, діаметр поперечного перерізу відображено як функцію параметрів системи і часу.

Величина швидкості  $w_0$  з певним наближенням відповідає середній швидкості.

З формули (1) видно, що максимальній швидкості  $w_{\max}$  має відповідати час  $t_{\max}$  досягнення екстремуму. Величина прискорення на ділянці А—С становитиме:

$$a = \frac{w - w_0}{t_{(k)}}; \quad t_{(k)} = \frac{h}{4w_0}. \quad (3)$$

Якщо ділянці С—В відповідає закон

$$w = w_{\max} - at, \quad (4)$$

то графічна інтерпретація залежностей (1) і (4) має вигляд, наведений на рис. 2.

З графіка на рис. 2 видно, що найменшим і найбільшим значенням швидкості відповідають м'які удари у зв'язку зі зміною знака прискорення.

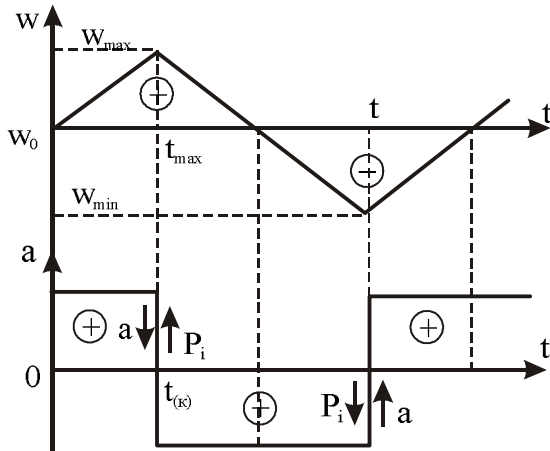


Рис. 2. Графіки зміни швидкості і прискорення потоку

За загального вертикального напрямку переміщення газорідного потоку прискорений або сповільнений рух означає формування поля інерційних сил, що додається до потенціального поля сил тяжіння. Для ділянки прискореного руху в напрямку висхідного потоку сили інерції спрямовуються у напрямку сил тяжіння. Очевидно слід вважати, що на таких ділянках слід враховувати сумарну дію поля сил тяжіння і поля сил інерції. Результатом таких дії буде додаткове стис-

кання газових бульбашок. Зворотний результат у впливі середовища на газову фазу спостерігатиметься за сповільненого руху на ділянках.

Наведені міркування вказують на можливість генерації пульсації газової фази в режимі створення циркуляційних контурів. Частота пульсацій у такому потоці визначається співвідношенням швидкості потоку і густотою розташування елементів звуження і розширення перерізу:

$$v = \frac{w}{h}, c^{-1}. \quad (5)$$

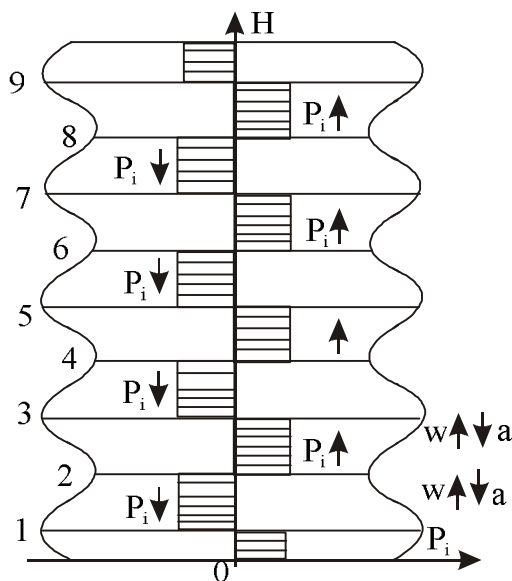


Рис. 3. Епюра розташування ділянок прискореного і сповільненого руху потоку

Генерування полів сил інерції вирішує завдання інтенсифікації масообміну на рівні прискорення в оновленні поверхонь контактування бульбашок із середовищем. Важливо, що така процедура досягається за рахунок кінетичної енергії переміщення рідинної фази в циркуляційних контурах. Це означає, що швидкість циркуляції буде зменшуватись, а утримувальна здатність по газовій фазі буде зростати. На рис. 3 наведено епюру розташування синтезованих полів сил інерції. Стискання газових бульбашок у полі прискорень  $(a + g)$  призводить до подвійного результату.

По-перше, стискання призводить до зменшення Архімедової сили, і, по-друге, зменшується опір середовища. Для режиму усталеного руху бульбашок маємо:

$$P_{on} = \xi F \frac{w^2}{2}; \quad (6)$$

$$P_{Ap} = V_{\sigma} \rho_p g. \quad (7)$$

За зростання швидкості маємо:

$$P_{Ap} = V_{\sigma} \rho_p (g + a). \quad (8)$$

а в зоні зі зменшенням швидкості:

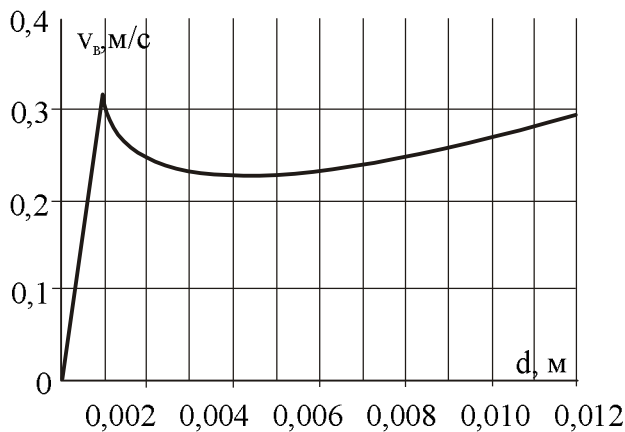
$$P_{Ap} = V_{\sigma} \rho_p (g - a). \quad (9)$$

При цьому зміна об'єму бульбашки пропорційна кубу радіуса, а площа поперечного перерізу – квадрату радіуса:

$$V_{\sigma} = \frac{4}{3} \pi r^3; \quad S_{n.n.} = \pi r^2.$$

Тоді

$$\frac{V_{\sigma}}{S_{n.n.}} = \frac{4\pi r^3}{3\pi r^2} = \frac{4}{3} r. \quad (10)$$



**Рис. 4. Кінцева швидкість бульбашок повітря у воді**

ким зростанням Архімедової сили, а отже, і зростанням швидкостей бульбашок у рідинній фазі. Така фізична закономірність відображена на рис. 4.

З наведеного графіка на рис. 4 видно, що для бульбашок сферичної форми закономірність їх об'ємів і швидкості спливання є чітко лінійною і тільки зі зростанням значень діаметрів вона має більш складний характер.

Останнє, очевидно, пов'язано з деформаціями бульбашок і порушенням умови (10).

Останнє співвідношення вказує на те, що в перехідних режимах порушується співвідношення між рушійними силами і силами опору. Звідси слід зробити висновок про те, що додатковим фізичним явищем при цьому будуть флуктуації відносної швидкості, додаткова турбулізація рідинної фази і більш інтенсивний масообмін.

Зі співвідношення (10) видно, що зростання об'єму бульбашки повинно супроводжуватися більш швид-

Таким чином, стабілізована відносна швидкість диспергованої газової фази у рідинній визначається характеристиками потенціального гравітаційного поля, фізико-хімічними параметрами середовища, геометричними формами і розмірами бульбашок.

Названа сукупність параметрів визначає співвідношення між рушійною Архімедовою силою і силою опору. Очевидно, що різним значенням у будь-якому випадку буде відповідати цілком певна величина відносної швидкості, а за інших рівних умов — величина утримувальної здатності.

Вплив в'язкості середовища не оцінюється безпосередньо формулою (6), однак ця важлива фізична характеристика має опосередкований вплив, оскільки входить до складу критерію Рейнольдса.

При цьому в'язкість з точки зору інтересів масообміну має подвійний вплив. Зростання її приводить до зменшення швидкості відносного руху, збільшуючи утримувальну здатність і поверхню масопередавання, однак при цьому зменшується рівень турбулентності у відносному переміщенні фаз.

Вказаний подвійний вплив динамічної в'язкості  $\mu$  підтверджує доцільність розв'язання оптимізаційної задачі, в якій динамічна в'язкість виступала б параметром впливу, а інтенсивність масообміну (наприклад, з розчинення кисню) — функцією відгуку.

При цьому такий підхід міг би мати не суто теоретичне навантаження, а й сприяти розв'язанню практичних задач. Варто нагадати, що стоки промислових підприємств відрізняються широким діапазоном параметрів, на які можливо впливати їх змішуванням, розведенням тощо.

Завершуючи цю частину аналізу, слід підкреслити, що регулювальний вплив в'язкості знаходить своє відображення в силі опору  $P_{оп}$  середовища. Разом з тим, аналіз літературних джерел підтвердив відсутність спроб дослідників вплинути на гідродинаміку і масообмін у газорідних середовищах за рахунок Архімедових сил або їх аналогів в інерційних потенціальних полях. Хоча генерування останніх, як було доведено раніше, цілком можливе.

### Висновок

Зміна швидкості рідинної фази в циркуляційних контурах є причиною зміни форми й розмірів газової фази, визначає появу сил інерції у висхідних газорідних потоках і додатковий опір спливанню газових бульбашок, що збільшує газоутримувальну здатність середовища.

### Література

1. Соколенко А.І., Хоменко М.Д., Піддубний В.А. Масообмін в процесах змішування рідинних і газових потоків // Цукор України. — 2006. — № 6. — С. 19—21.
2. Піддубний В.А. Наукові основи і апаратне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв. Автореф. дис. на здобуття ступ. док. техн. наук. К.: НУХТ. — 2008. — 47 с.
3. Палаш А.А., Бут С.А. Інтенсифікація тепло- і масообмінних процесів // Харчова промисловість. — 2008. — № 7. — С. 53—56.

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МАССООБМЕНА В ПРОЦЕССАХ АЭРАЦИИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ СРЕД**

**А.Е. Шевченко, С.И. Блаженко, А.Н. Романюк, Н.С. Сова**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье рассмотрена проблема интенсификации массообменных процессов в газожидкостных средах с возможностью создания переменных силовых воздействий за счет выведения их за рамки стационарных режимов. Предложены различные конструкции диффузоров и рассмотрена динамика изменения давления в зависимости от их формы поверхности.*

**Ключевые слова:** интенсификация, массообмен, аэрация, диффузор, флуктуация, межфазная поверхность.