

APPLICATION OF PERIODIC INDIGNATIONS FOR INTENSIFICATION OF MASS TRANSFER AT A FILM CURRENT

A. Martseniuk

National University of Food Technologies

Key words: <i>Mass transfer</i> <i>Film current</i> <i>Intensification</i> <i>Regular packing</i> <i>Periodic indignations</i>	ABSTRACT Taking into account the features of liquid film flow, the possibility of mass-transfer intensification in film vehicles by different ways of bringing the indignations into films is analyzed. It is shown that the most convenient way of mass transfer intensification at film current is the use of periodic indignations of a film by changing the design of contact devices. The features of a device and the use of regular packing with goffered and corrugated sheets and packing with redistribution elements are considered. The packing perforated by toothed holes and toothed slotting elements are also considered, due to which the films are periodically broken off, the drops and new films are formed, as well as the attachment with the inclined plates and directed slotting holes working in film bubble-gaze regimes.
Article history: Received 02.07.2016 Received in revised form 26.07.2016 Accepted 09.08.2016	
Corresponding author: A. Martseniuk E-mail: npnuht@ukr.net	

ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРІОДИЧНИХ ЗБУРЕНЬ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ МАСООБМІНУ ПРИ ПЛІВКОВІЙ ТЕЧІЇ

О.С. Марценюк

Національний університет харчових технологій

У статті з урахуванням специфіки плівкової течії рідини проаналізовано можливість інтенсифікації масообміну в плівкових апаратах за допомогою різних способів внесення збурень у плівки. Показано, що найбільш зручним способом інтенсифікації масообміну при плівковій течії є використання періодичних збурень плівок зміною будови контактних пристроїв. Розглянуто особливості будови і використання регулярних насадок з гофрованими та рифленими листами і насадок з перерозподільними елементами. Також розглянуто насадки, перфоровані зубчастими отворами і зубчастими просіченими елементами, за допомогою яких періодично розриваються плівки, утворюються краплі і формуються нові плівки, насадки з нахиленими пластинами і спрямованими просіченими отворами, що працюють у плівково-барботажному режимі.

Ключові слова: масообмін, плівкова течія, інтенсифікація, регулярна насадка, періодичні збурення.

Постановка проблеми. Коливання можна визначити як властиві всім системам повторювані в часі відхилення систем або будь-яких їхніх параметрів поперемінно в прямому і зворотному напрямках відносно рівноважних значень. Оскільки в замкнених системах завжди існують нерозривні зв'язки між усіма фізичними величинами, то зміна будь-якого параметра супроводжується відповідними змінами всіх інших параметрів. Для створення коливань потрібно спочатку прикладеною силою змінити певний параметр системи і відхилити його від рівноважного значення при існуючих зовнішніх умовах: температурі, тиску і об'ємі.

Величина максимального відхилення параметра системи від рівноважного значення обумовлюється гальмівними силами, а повернення параметра в зворотному напрямку — пружними силами систем. Рухаючись у зворотному напрямку, параметр по інерції проходить рівноважне значення, досягає максимального зворотного значення і починає рухатись у протилежну сторону. Створюється коливальний рух, який є наслідком порушення рівноважного стану систем і підкорення систем принципу Ле-Шательє в сукупності з інерційними, пружними і гальмівними властивостями.

Колівальні явища змінюють усі параметри систем, турбулізують потоки і можуть бути використані для інтенсифікації масообмінних процесів. Підтримування коливань з метою турбулізації фаз, зокрема при плівковій течії, вимагає менших витрат енергії, ніж постійне перемішування.

Особливістю плівкових масообмінних апаратів є використання плівкової течії переважно у ламінарно-хвильових режимах, які є перехідною зоною між ламінарною й турбулентною течією і характеризуються недостатньою турбулентністю плівки. У цих режимах значну частину товщини плівки займає прилежовий шар, що прилягає до твердої поверхні насадки, по якій стікає плівка. У прилежовому шарі рідини перенесення речовини в міру наближення до твердої поверхні суттєво уповільнюється, коефіцієнти дифузії знижуються від значень, характерних для конвективного перенесення, до значень, характерних для молекулярної дифузії.

Турбулізація плівки збільшенням витрати рідини не завжди задовольняє технологічні вимоги щодо співвідношення продуктів, а також може призводити до відривання плівки від поверхні насадки і часткового провалу рідини, тому слід використовувати інші способи турбулізації, наприклад, кінцеві ефекти. Кінцеві ефекти спостерігаються на стиках пакетів насадки внаслідок звужень каналів у цих місцях, зміни напрямку руху рідини, формування нового профілю розподілу швидкостей з інтенсивним перемішуванням у цей час рідини всередині плівки. Штучне повторення кінцевих ефектів сприяє підвищенню масообміну.

Мета дослідження. З урахуванням специфіки плівкової течії рідини проаналізувати можливість інтенсифікації масообміну в плівкових апаратах за допомогою використання різних способів внесення періодичних збурень у плівки, зокрема раціональною зміною будови контактних пристроїв.

Викладення основних результатів дослідження. Вплив коливань на масообмін у плівці рідини, що контактує з газом у режимах прямо- і протитечії, досліджувався в [1]. Досліди проведені при течії рідини всередині вертикаль-

ного трубчастого елемента з гладенькою поверхнею та зі спіральною навивкою дроту діаметром 1,5 мм кроком 16 мм на прикладі абсорбції і десорбції діоксиду вуглецю з води і водних розчинів гліцерину повітрям при температурі $t = 25$ °С. Амплітуда коливань A трубчастого елемента змінювалась від 15 до 25 мм, частота f — від 2 до 20 с^{-1} . Швидкість повітря ω_2 у вільному перерізі трубки була 0,3 м/с, щільність зрошування Q змінювалась у межах 0,106...0,256 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Визначали коефіцієнти масовідачі віднесені до поверхні трубок.

Результати досліджень показали, що накладання вертикальних коливань на трубчастий плівковий елемент з гладенькою поверхнею може до двох разів збільшувати коефіцієнти масовідачі k_p у рідкій фазі залежно від частоти f коливань. Зростання коефіцієнтів масовідачі має екстремальний характер, причому максимум зміщується у бік зменшення частот при збільшенні амплітуди коливань. При зростанні інтенсивності коливань до $I = Af = 200$ мм/с спостерігалось відривання плівки від вібруючої трубки. Збільшення в'язкості рідини сприяло зростанню коефіцієнта масопередачі.

Коефіцієнти масовідачі для елемента з навивкою дроту при тих же умовах перевищували значення k_p , одержані для нешорсткого елемента, що зумовлено кращим перерозподілом і додатковою турбулізацією поверхневих шарів рідини. При цьому для рідин в'язкістю, меншою 0,003 Па·с, спостерігалось утворення нестійких бульбашок у міжвитковому просторі. Зростання частоти коливань ($f > 10$ с^{-1}) призводило до зривання крапель із поверхні плівки. Збільшення f вище 10...12 с^{-1} не супроводжувалось помітним ростом k_p , що автори дослідження пояснили збільшенням зворотного перемішування рідини.

При інших рівних умовах інтенсивність масоперенесення зростала зі збільшенням амплітуди коливань. У той же час збільшення витрати рідини призводило до зменшення k_p і впливу амплітуди, що пояснювалось зростанням товщини плівки і відповідним зменшенням турбулізації її поверхні внаслідок коливань. Найчастіше максимальні значення k_p відповідали спектру частот $f = 8...15$ с^{-1} .

Найбільш простим конструктивним способом турбулізації плівки зміною будови контактних пристроїв є використання *гофрованих регулярних насадок* типу «зигзаг» (рис. 1а). Вертикальні листи цих насадок мають гофри, розміщені поперечно до руху фаз. Кут при вершинах гофрів може змінюватись від 60° до 120°. На кожній вершині і впадині гофрів напрям течії рідини (а також і газу) різко змінюється, внаслідок чого створюються пульсації і додаткове перемішування. Висоту гофрів часто приймають такою, щоб їхні виступи перекривали відстань між листами насадки, гарантуючи безпровальне стікання рідини у разі її відривання від вершин гофрів. Велика висота гофрів, сумірна з відстанню між листами, турбулізує не тільки рідкий, а й газовий потік, що призводить до сильного зростання гідравлічного опору насадки і втрати її основної переваги — низького гідравлічного опору. У більшості випадків це недоцільно, оскільки додаткова турбулізація газової фази не супроводжується відчутним зростанням коефіцієнта масовідачі у рідкій фазі.

З метою переважної турбулізації рідкої плівки і збереження низького гідравлічного опору гофри насадки виконують невисокими (дещо вищими від товщини плівки), а між гофрама залишають вертикальні прямі ділянки, довжина яких

забезпечує потрібну частоту пульсацій плівки, тобто дорівнює відстані затухання збурень у плівці [2]. Така насадка показана на рис. 1б.

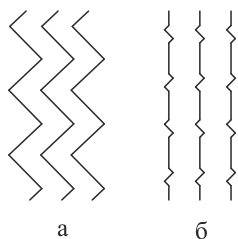


Рис. 1. Гофровані насадки типу «зигзаг»: а — із суцільними гофрами; б — з прямими ділянками між невисокими гофрами

Для турбулізації контактуючих фаз вертикальні листи насадки інколи виготовляють із склотканини, затиснутої з обох боків металеву сіткою з дроту діаметром порядку 0,6 мм, наносять на листи подряпини, виконують горизонтальні або похилі рифлення і просічки. Активізувати плівку рідини шляхом накладання на неї періодичних збурень можна за допомогою виступів, перерозподільних рейок, зигзагоподібних вставок у зазорах між листами тощо. Ці елементи намагаються встановлювати так, щоб зберегти низький гідравлічний опір насадки.

На рис. 2б показано варіант каналу між двома листами насадки [1], у якій до вертикальних листів 1 прикріплені зрізувальні 2 і перерозподільні 3 елементи, розміщені попарно по висоті. Величини кутів і зазорів між листами 1 та елементами 2 і 3 визначаються витратами, фізичними властивостями фаз і потрібною товщиною плівки рідини.

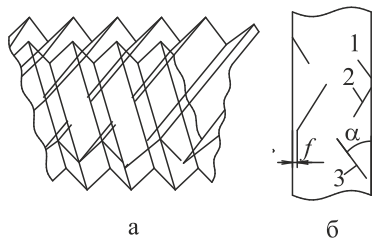


Рис. 2. Регулярні листові насадки: а — з перехресними комітками; б — зі зрізувальними і перерозподільними елементами: 1 — листи насадки; 2 — зрізувальні елементи; 3 — перерозподільні елементи

Відстань по висоті між сусідніми парами зрізувальних елементів повинна забезпечувати потрібну частоту оновлення плівки рідини. Наприклад, максимальна ефективність процесу перенесення при десорбції вуглекислоти із води повітрям досягається при частоті перерозподілу потоків рідини $12 \dots 13 \text{ с}^{-1}$, а для водних розчинів гліцерину в'язкістю $0,001 \dots 0,006 \text{ Па}\cdot\text{с}$ вона становить $11 \dots 12 \text{ с}^{-1}$. При швидкості течії плівки $1,2 \dots 1,3 \text{ м/с}$ відстань між сусідніми парами зрізувальних і перерозподільних елементів дорівнює 100 мм. Постійна товщина плівки і рівномірний її розподіл на поверхні листів насадки забезпечують стабільні характеристики і високу ефективність роботи у широкому діапазоні змін навантажень по фазам, а також у випадку зміни фізичних властивостей і масових витрат перероблюваної рідини.

Набігаючи на зрізувальний елемент 2, плівка зривається зі стінок листа 1 і падає на площину елемента 3, що призводить до перемішування рідини на елементі, перерозподілу й оновлення шарів рідини і сприяє інтенсифікації теплої масообміну. Посилене перемішування рідини елементами 2 і 3 зменшує утворення осадів на пластинах при переробленні забруднених продуктів або насичених розчинів. Перерозподільні елементи також запобігають провалу рідини і сприяють її турбулізації.

Встановлені оптимальні значення розмірів елементів насадки: відстань між листами 20 мм, кут нахилу перерозподільних елементів $\alpha = 20^\circ$ (рис. 2б), зазор для проходу рідини $f = 3,5$ мм, відстань між перерозподільними елементами 75 мм. Витрата газової фази в інтервалі швидкостей 1...5 м/с суттєвого впливу на k_p не чинить. Зі збільшенням щільності зрошення від 0,05 до 0,35 кг/(м·с) коефіцієнт масопередачі k_p збільшується від 0,3 до 2,0 м/год. Максимальна ефективність насадки відповідає частоті перерозподілу плівки рідини $10,5 \text{ с}^{-1}$. Гідрравлічний опір насадки при щільності зрошення 0,04...0,50 кг/(м·с) і швидкості повітря 3 м/с становить 15...20 Па на 1 м насадки. Зі збільшенням швидкості повітря гідрравлічний опір насадки зростає до 40 Па/м. Режим захлинання настає при швидкості повітря 14...17 м/с залежно від витрати рідини.

Враховуючи високу ефективність і низький гідрравлічний опір, насадка рекомендується для переробки термолабільних продуктів під розрідженням.

Запропоновано і досліджено різні типи регулярних насадок з краплинно-плівковою течією та розроблено основи їх розрахунку [4, 5]. Для періодичного утворення крапель у вертикальних листах виконані розміщені горизонтальними рядами і в шаховому порядку видовжені отвори 2 із зубчастими верхніми краями (рис. 3). Ширина зубців 3, що виступають униз, у першому наближенні дорівнює відстані між зубцями. Зубці розміщені так, щоб забезпечити краплинно-плівкову течію рідини. При краплинно-плівковій течії рідини по поверхні листів насадки стікає плівкою, а в місцях розташування зубчастих отворів розривається, утворюючи на зубцях краплі 4, які після падіння на нижні торці отворів знову утворюють плівки. Утворення і падіння кожної краплі можна розглядати як локальне складне коливальне явище на основі використання енергії гравітаційного поля.

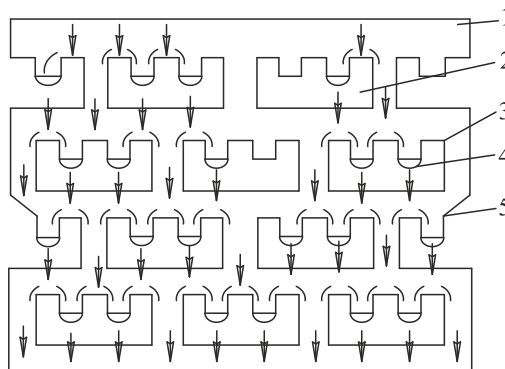


Рис. 3. Фрагмент листа насадки із зубчастими отворами зі схемою вирівнювання розподілу рідини по ширині листа: 1 — лист; 2 — зубчастий отвір; 3 — зубець; 4 — крапля; 5 — зріз верхнього краю отвору

Під час роботи насадки рідина стікає вниз, а парогазова фаза рухається вгору (протитечія). На зубчастих отворах плівка потовщується і руйнується, утворюючи окремі краплі 4 або струмінці, які стікають з кожного зубця, що звисає вниз. Періодичне потовщення плівки, формування і відривання крапель, а потім падіння і розплющення крапель з наступним формуванням нових плівок супроводжується додатковим перемішуванням рідини, сприяючи інтенсифікації масовіддачі у рідкій фазі.

Важливою позитивною особливістю перфорованих насадок з зубчастими отворами є вирівнювання рівномірності розподілу рідини по ширині листів. На рис. 3 стрілками показано, що на верхній ряд зубчастих отворів рідина надходить не рівномірно у двох місцях: зліва розміщена ділянка приблизно рівномірного розподілу плівки рідини, показана трьома стрілками, а з правого боку — локальна струминка рідини, показана однією стрілкою. Зустрічаючи на своєму шляху горизонтальні ділянки перемичок між зубцями плівки або струминки, обтікають їх з боків, розділяючись при цьому на два потоки. Рідина, що потрапляє на звисаючі вниз зубці отворів, утворює краплі 4, які після відривання від зубців знову падають на поверхню листів і розплющуються в плівки. Плівки, що стікають на верхні краї отворів, обтікають їх з обох боків і знову розділяються на потоки. Багаторазовий поділ плівок на зубцях кожного ряду отворів вирівнює розподіл рідини по ширині листів.

З рис. 3 видно, що нерівномірно розподілена рідина, пройшовши три ряди горизонтальних зубчастих отворів, розтікається по всій ширині листа. Безперервно перерозподіляючись, рідина згодом стікає на краї листів, і з них може попадати на стінки апарата. Щоб запобігти цьому, верхні краї зубчастих отворів біля бокових зрізів листа мають нахилені зрізи 5, які відхиляють потоки рідини до центру листів насадки.

Рівномірний розподіл рідини по всьому перерізу апарата (у двох взаємно перпендикулярних напрямках) досягається встановленням пакетів насадки один на другий з поворотом навколо вертикальної осі на 90° , тобто перехресним встановленням пакетів. Унаслідок цього насадка одночасно виконує роль контактної пристрою і додатково — роль розподілювача і перерозподілювача рідини по перерізу і висоті колон. Основним фактором підвищення ефективності насадки є краплинно-плівкова течія рідини. Цей фактор найкраще реалізується за умови забезпечення рівномірного розподілу рідини по ширині листів насадки.

Краплинно-плівкова течія з відповідною інтенсифікацією масовіддачі у рідкій фазі реалізується в межах значень чисел Рейнольдса для плівкової течії від 40 до 420. Числа Рейнольдса $Re_x = 4\Gamma/\mu = 4q/\gamma$ розраховуються за щільністю зрошування суцільної листової насадки без урахування наявності отворів. При $Re_x = 40$ ($\Gamma = 0,01\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$) витрата рідини мала і на кожному зубці утворюється менше десяти крапель за хвилину. При $Re_x = 420$ ($\Gamma = 0,11\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$) краплі утворюються настільки часто, що краплинна течія переходить у струмінцеву. Струмінці стікають на нижні краї отворів суцільними потоками, не розділюючись на окремі краплі, що знижує інтенсифікуючий пульсаційний фактор формування і руйнування крапель та зменшує міжфазну поверхню, внаслідок чого ефективність масообміну зменшується до рівня, характерного для неперфорованої насадки.

Утворення і ріст кожної краплі супроводжується посиленням перемішуванням рідини всередині краплі й оновленням поверхні контакту фаз. Під час відривання від зубців і короткочасного падіння в проміжку між зубцями і нижніми краями отворів краплі осцилюють, їх поверхня деформується і створюється додаткове перемішування рідини. Механізм дії сил, що сприяють посиленому перемішуванню рідини всередині крапель, розглянуто в [5].

Після падіння на нижні краї отворів краплі різко гальмуються і розплющуються, під дією інерційних сил рідина розтікається по поверхні насадки, а потім під впливом сил поверхневого натягу знову стягується у короткі плівки. Така нестационарність течії сприяє посиленому перемішуванню рідини.

Унаслідок малої товщини листів насадки (0,6...1,0 мм) краплі, що утворюються на зубцях і мають діаметр 3,0...3,5 мм, впавши на нижні краї отворів, не розплющуються повною мірою, а переважно перерізаються навпіл, що знижує інтенсивність додаткового перемішування рідини після падіння крапель. З метою активнішого розплющення крапель, що падають, розроблено варіанти насадок, які показані на рис. 4. У варіанті, що на рис. 4а, нижні краї отворів листа виготовленні потовщеними [6]. Цей варіант насадки може бути виготовлений штампуванням із полімерних матеріалів, які добре змочуються.

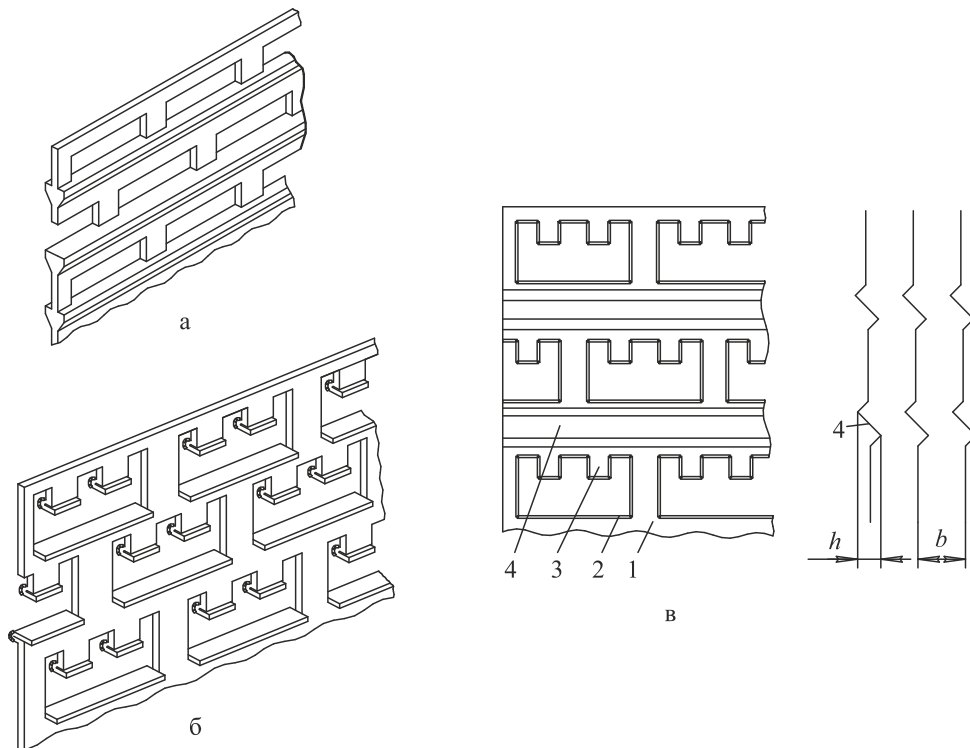


Рис. 4. Насадки із зубчастими отворами з підвищеним ефектом розплющення крапель, що падають: а — штамповані з полімерного матеріалу; б, в — листові з горизонтальними площинами — б; з гофрами — в: 1 — лист; 2 — зубчастий отвір; 3 — зубець; 4 — подвійний гофр

Насадку з листового матеріалу доцільно виготовляти за варіантом, показаним на рис. 4б, у якому нижні краї отворів забезпечені горизонтальними площинами, одержаними вигинанням відповідних просічених ділянок листів [7, 8]. Для формування крапель більшого розміру зубці отворів також мають горизонтальні площини.

У варіанті насадки, показаному на рис. 4в, ділянки листів між горизонтальними рядами зубчастих отворів 2 зроблені гофрованими у горизонтальному напрямку з виконанням подвійного гофра 4 з-подібної форми [9]. Утворився новий тип ефективних і досить простих у виготовленні регулярних насадок із зубчастими отворами і гофрами.

Гофри додатково турбулізують як рідкий, так і газовий потік. Оскільки висота гофрів у 3...4 рази менша від відстані між листами, то турбулізується не ядро газового потоку, а переважно його пристінні ділянки, що сприяє зростанню інтенсивності масообміну в газовій фазі без надлишкового збільшення гідравлічного опору.

У варіантах насадки *a* і *б* ширина нижніх країв отворів, а у варіанті *в* сумарна висота виступів гофрів *h* в обидві сторони відносно осі листів приблизно дорівнює діаметру крапель (3,0...3,5 мм). Зменшення цього розміру знижує ефект розплющення крапель, а збільшення призводить до росту гідравлічного опору. Насадки зберігають низький гідравлічний опір і призначені для інтенсифікації масовіддачі переважно у рідкій плівці шляхом додаткового її перемішування при ламінарно-хвильових режимах течії.

З метою інтенсивної турбулізації газової фази запропоновано ще один тип регулярних насадок: з просіченими і відхиленими під кутом зубчастими просічками [5]. У цих насадках просічки й отвори, утворені їхнім просіканням, мають зубчасті верхні і нижні краї. Просічки розміщують горизонтальними й вертикальними рядами і відгинають вниз під таким кутом, щоб зазор від країв просічок до суміжних листів дорівнював приблизно третині відстані між листами. Внаслідок попереминого відгинання просічок у вертикальних рядах у різні сторони при зрощуванні насадки утворюються два різновиди потоків рідини: краплинно-плівкові потоки, що стікають по відігнутих просічках у зазорах між листами, і краплинно-плівкові потоки, що стікають перфорованими листами. Розбрикування призводить до безперервного обміну рідини між обома різновидами потоків.

Газ, рухаючись вгору, обтікає просічки, змінює напрямки руху і інтенсивно турбулізується. Тісна взаємодія турбулізованого газового потоку з рідиною сприяє зростанню масовіддачі не лише у газовій, а й у рідкій фазі.

При швидкостях повітря 1,0...5,0 м/с гідравлічний опір насадок із зубчастими і насадок із зубчастими отворами і гофрами перевищує опір плоскопаралельної насадки у 1,5...3,0 рази, ефективність масообміну у рідкій і газовій фазах зростає на 30...40 %. Більші значення цих показників відповідають відносній швидкості повітря, більшій за 3 м/с, коли посилюється гідравлічна взаємодія газового потоку зі звисаючими краплями, які створюють додаткову шорсткість каналів для руху газу.

Опір насадок із зубчастими просічками наближається до опору нерегулярних насадок (кільця Рашига), але при аналогічних витратах потоків

і практично однакової ефективності масообміну залишається у 1,5...2,0 рази нижчим від опору нерегулярних насадок, що свідчить про доцільність заміни кілець Рашига регулярними насадками із зубчастими просічками.

Відомі регулярні насадки з нахиленими перфорованими елементами, розміщеними між вертикальними неперфорованими листами (рис. 5) [1].

У показаній на рис. 5а насадці реалізовано контактування фаз у зустрічних струменях. Ця насадка має розміщені між вертикальними листами гофровані листи зі спрямовано-просіченими отворами, орієнтованими у суміжних площинах гофрів у протилежні боки. Під час руху вгору газ періодично перерозподіляється між каналами гофрованих листів. При цьому частина газового потоку, проходячи крізь отвори, контактує із зустрічними струменями рідини у барботажному режимі.

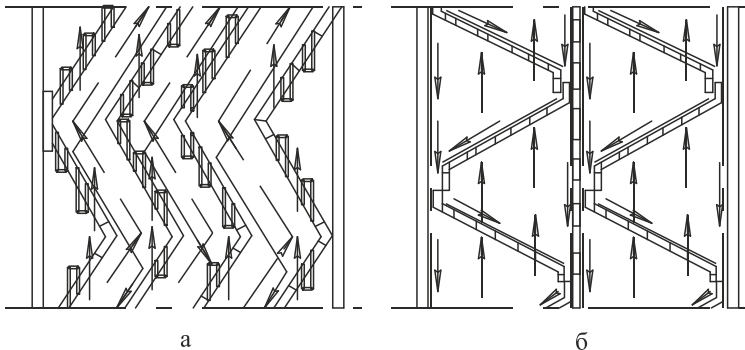


Рис. 5. Насадки з нахиленими перфорованими елементами: а — зі спрямовано-просіченими отворами у зигзагоподібних листах; б — з перфорованими пластинами

Насадка з нахиленими перфорованими пластинами об'єднує переваги плівкового і барботажного режимів контактування фаз і складається (рис. 5б) з вертикальних листів і розміщених між ними нахилених перфорованих пластин, які мають просічки з відігнутими під кутом краями, що виключає провал рідини [1]. Краї нахилених пластин розміщені паралельно один до одного і до вертикальних листів. Між площинами вертикальних листів і краями нахилених пластин, а також між краями сусідніх нахилених пластин передбачені зазори для зливання рідини. Величина зазорів і їх ширина обумовлюються витратою і фізичними властивостями рідини. Кут нахилу пластин залежить від відстані між пластинами і швидкості руху плівки рідини. Краї нахилених пластин знаходяться на одному рівні з лініями згинання країв сусідніх пластин і з метою кращого розподілу рідини можуть бути зубчастими.

Під час роботи рідина у вигляді плівки стікає по стінках листів, контактуючи з газом (парою). Товщина плівки обумовлюється величиною зазору між вертикальними листами і відігнутими краями нахилених пластин, розміщених ближче до вертикальних листів. Частина рідини, яка не пройшла крізь цей зазор, зливається крізь зазор, утворений відігнутими краями сусідніх нахилених пластин. Потoki рідини при зустрічі ударяються, об'єднуються і перемішуються, а потім розділяються в зазорах з утворенням нових плівок.

Найвища інтенсифікація процесу забезпечується накладанням на плівку збурень з частотою пульсацій $12 \dots 13 \text{ с}^{-1}$. Насадка використовується у випадках, коли при невеликих витратах рідини гідравлічний опір не обмежується, але потрібно забезпечити високу ефективність і тривалий час контактування фаз.

Відомі дослідження і спроби застосування коливань акустичних [10], електричних [11—13], магнітних полів [1], електроімпульсних розрядів [14] з метою інтенсифікації масообміну в регулярних насадках. Проте внаслідок ускладнень при виготовленні й обслуговуванні апаратури, додаткових витрат енергії та вимог щодо охорони праці досягти підвищення ефективності процесів можна простішими засобами.

Висновки

Перспективним напрямком підвищення ефективності регулярних насадок є використання коливально-пульсаційних явищ, створюваних за допомогою удосконалення будови контактних пристроїв.

Література

1. *Задорский В.М.* Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии / В.М. Задорский. — Киев: Техника, 1979. — 198 с.
2. Патент України на винахід UA 32505 B01J 19/32. Регулярна насадка для тепломасообмінних апаратів / О.С. Марценюк; Опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7.
3. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) / Под ред. В.М.Олевского. — Москва: Химия, 1988. — 240 с.
4. *Марценюк О.С.* Науково-технічні основи інтенсифікації масообміну в газорідинних апаратах з регулярними насадками. Дис. ...докт. техн. наук: 05.18.12 / Київ, Національний університет харчових технологій. — Київ, 2006. — 429 с.
5. Массообменные противоточные насадочные аппараты / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Марценюка А.С. — Киев: Кондор-Издат, 2014. — 372 с.
6. А.С. 416075 СССР, МКИ В 01 Д 53/20. Регулярная насадка для тепломассообменных процессов / А.С. Марценюк; Опубл. 1974, Бюл. № 7.
7. А.С. 1369775 СССР, МКИ В 01 Д 53/20. Регулярная насадка / А.С. Марценюк; Опубл. 30.01.1988, Бюл. № 4.
8. Пат. 32495 України, В 01 Д 53/20. Регулярна насадка / О.С. Марценюк; Опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7.
9. А.С. 1443949 СССР, МКИ В 01 Д 53/20. Регулярная насадка с пленочно-капельным течением дисперсной фазы / А.С. Марценюк; Опубл. 1988, Бюл. № 7.
10. Ультразвуковая технология / Под ред. Б.А.Аграната. — Москва, Металлургия, 1974. — 504 с.
11. *Миненко В.И.* Магнитная обработка водно-дисперсных систем / В.И. Миненко — Київ: Техніка, 1070. — 132 с.
12. *Агаев А.А.* Учёные записки Азербайджанского института нефти и химии / А.А. Агаев, В.М. Ибрагимов, Т.Г. Курбаналиев. — Серия 9, 1976. — № 5. — 110 с.
13. Влияние электрического поля на процесс пленочной ректификации и испарение бинарной системы / А.В. Зевакин, Е.М. Свицерский, Л.Б. Кузнецов и др. // Тезисы докладов VI Всесоюзной конф. по теории и практике ректификации. — Северодонецк. 1991. — С. 91—92.
14. Фізико-хімічні методи обробки сировини і стабілізації харчових продуктів / А.І. Соколенко, А.І. Українець, В.Л. Яровий, О.Ю. Шевченко, В.А. Піддубний, Ю.О. Дашковський — Київ: ПП Люксар, 2007. — 454 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССООБМЕНА ПРИ ПЛЕНОЧНОМ ТЕЧЕНИИ

А.С. Марценюк

Национальный университет пищевых технологий

В статье с учетом особенностей пленочного течения жидкости проанализирована возможность интенсификации массообмена в пленочных аппаратах с помощью различных способов внесения возмущений в пленки. Показано, что наиболее удобным способом интенсификации массообмена при пленочном течении является использование периодических возмущений пленок изменением конструкции контактных устройств. Рассмотрены особенности устройства и использования регулярных насадок с гофрированными и рифлеными листами и насадок с перераспределительными элементами. Также рассмотрены насадки, перфорированные зубчатыми отверстиями и зубчатыми просечными элементами, с помощью которых периодически разрываются пленки, образуются капли и формируются новые пленки, насадки с наклонными пластинами и направленными просечными отверстиями, работающие в пленочно-барботажном режиме.

Ключевые слова: *массообмен, пленочное течение, интенсификация, регулярная насадка, периодические возмущения.*