

EMULSIFICATION IN APPARATUS WITH REGULAR PERFORATED NOZZLES

A. Martseniuk

National University of Food Technologies

Key words:

Emulsification mode
Regular nozzle
Toothed perforation
Turbulence

Article history:

Received 03.08.2020
Received in revised form
18.08.2020
Accepted 02.09.2020

Corresponding author:

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

ABSTRACT

Support gratings with a reduced free cross-section inhibit the movement of the liquid and are flooded by it, and the gas passes through the liquid, interacts intensively with it and forms a gas-liquid emulsion — emulsified layer. The height of the emulsified layer is regulated and leaves constant at certain constant liquid rates and lesser for gas. At constant flow rates, the level of emulsion on the grid remains constant, because the hydraulic pressure of the gas balances the weight of the emulsion, and the amount of incoming liquid is compensated by same amount of liquid flowing from the grid.

Possibility of creating an emulsified layer in apparatus with a regular nozzle with notched petals, as well as with notched holes and horizontal corrugations placed between rows of holes was investigated. Zones of the emulsified layer were organized by bending into a horizontal position or at an upward angle of the notched petals, cutted on three sides and placed into horizontal area.

The height of the emulsion layer depends on the flow of liquid and gas also on the shape and bending angle of the petals. Above the emulsion layer and below it, the mode of normal film or droplet-film flow is maintained. Hydraulic resistance of the layer and the efficiency of mass transfer take different values depending on the type of nozzle. Total resistance of the nozzle in the presence of emulsification zones consists of the sum of the nozzle sections operating in normal and emulsified modes and the hydraulic resistance of the gratings.

In increased height apparatus it is possible to organize the necessary quantity of emulsified zones and thus to regulate intensity of their work. Total efficiency of the apparatus with emulsified zones is calculated by the amount of transferred component in the emulsification zones and in the operation zones of the nozzle in countercurrent mode.

The use of emulsification zones significantly expands the range of applications of regular nozzles for work in intensive modes.

ЕМУЛЬГУВАННЯ В АПАРАТАХ З РЕГУЛЯРНИМИ ПЕРФОРОВАНИМИ НАСАДКАМИ

О. С. Марценюк

Національний університет харчових технологій

У статті зазначено, що опорні решітки зі зменшеним вільним перерізом гальмують рух рідини і затоплюються нею, а газ при цьому барботує крізь рідину, інтенсивно з нею взаємодіє й утворює газорідинну емульсію — емульгований шар. Висота емульгованого шару регулюється і стабільно утримується при певних постійних витратах рідини і меншою мірою — газу. При постійних витратах фаз рівень емульсії на решітці залишається постійним, оскільки гідравлічний напір газу зрівноважує силу ваги емульсії, а та кількість рідини, що надходить, компенсується такою ж кількістю рідини, яка стікає з решітки.

Досліджено можливість створення емульгованого шару в апаратах з регулярною насадкою із зубчастими пелюстками, а також із зубчастими отворами та горизонтальними гофрами, розміщеними між рядами отворів. Зони емульгованого шару організовували за допомогою відгинання в горизонтальне положення або під кутом вгору зубчастих пелюсток, просічених з трьох сторін і розміщених у горизонтальних площинах.

Висота шару емульсії залежить від витрат рідини і газу та від форми і кута відгинання пелюсток. Над шаром емульсії і під ним зберігається режим звичайної плівкової або краплинно-плівкової течії. Гідравлічний опір шару й ефективність масообміну набувають різних значень залежно від типу насадки. Загальний опір насадки за наявності зон емульгування складається із суми гідравлічних опорів ділянок насадки, що працюють у звичайному й емульгованому режимах.

В апаратах підвищеної висоти можна організувати потрібну кількість емульгованих зон і таким чином регулювати інтенсивність їх роботи. Сумарна ефективність апарата з емульгованими зонами підраховується за кількістю перенесеного компонента в зонах емульгування і в зонах роботи насадки в протитечійному режимі.

Використання зон емульгування значно розширює діапазон застосування регулярних насадок для роботи в інтенсивних режимах.

Ключові слова: режим емульгування, регулярна насадка, зубчаста перфорація, турбулізація.

Постановка проблеми. Розвиток харчової промисловості України тісно пов'язаний з підвищенням інтенсивності процесів тепломасообміну в системах газ-рідина, які здійснюють переважно у протитечійних насадкових апаратах. Рідина в них рівномірно подається згори, стікає вниз поверхнею тіл насадки і контактує зі струменями газу, що рухаються знизу вгору в каналах між тілами насадки й обтікаючою їх рідиною. У результаті взаємодії потоків газ і рідина обмінюються компонентами, які в них містяться [1]. Насадка розміщується на опорних решітках з великим вільним перерізом, сумірним з вільним перерізом

насадки, щоб не створювати значного гідравлічного опору проходженню газу й рідини та не затримувати їх рух.

У разі звуження перерізу опорної решітки рідина затримується на ній і затоплює решітку. При цьому над решіткою газ вже не рухається вільно в каналах між рідиною і насадкою, а барботує у вигляді окремих бульбашок і струменів крізь шар рідини на решітці. Струмені газу та рідини інтенсивно перемішуються й утворюють газорідинну емульсію — режим емульгування. Обидві фази (газова і рідка) переходять у високорухливий диспергований стан, який за зовнішнім виглядом нагадує киплячу газорідинну суміш. Унаслідок інтенсивної взаємодії потоків ефективність масообміну і, відповідно, гідравлічний опір апарата, що працює в цьому режимі, значно зростають.

У режимі емульгування при постійних витратах рідини і газу рівень емульсії над решіткою залишається постійним, оскільки гідравлічний напір газу (сила динамічної дії газового потоку) зрівноважує силу ваги емульсії, яка міститься на решітці, а та кількість рідини, що надходить згори, компенсується такою ж кількістю рідини, що стікає з решітки [1; 2].

Мета дослідження: визначити можливість, спосіб утворення, параметри й ефективність режиму емульгування в масообмінних колонах з регулярними насадками.

Матеріали і методи. Дослідження проводили у прозорій колоні з органічного скла перерізом $0,2 \cdot 0,2$ м², з висотою робочої ділянки 1 м, заповненої регулярно листовою перфорованою насадкою двох різновидностей. Витрати продуктів вимірювали витратомірами, гідравлічний опір — U -подібним манометром. Масообмін у рідкій фазі досліджували на процесі десорбції повітрям діоксиду вуглецю з водних розчинів, а в газовій фазі — на процесі поглинання етанолу водою з газоповітряної суміші при 20°C.

Результати і обговорення. Режим емульгування використовують в апаратах з нерегулярною (насіпною) насадкою (тонкі кільця різної будови, сідлоподібні та інші фасонні тіла з розвиненою поверхнею і невеликим об'ємом). При невеликих щільностях зрошення рідина неупорядковано стікає по поверхні насадки у вигляді плівок і струмінців, а при зростанні щільностей зрошення об'єднується в більші струмені. На рух рідини нерівномірними звивистими траєкторіями накладається неупорядкований рух газу в порожнинах елементів насадки і в проміжках між насадковими тілами, що сприяє розвитку турбулентності потоків. Окремі ділянки насадки, залежно від їх орієнтації, можуть не змочуватись і не брати участі в масообміні.

Створення емульгування, внаслідок затримки рідини опорною решіткою, вирівнює нерівномірність течії і посилює інтенсивність взаємодії потоків. Зі збільшенням швидкості газу і витрат рідини зона емульгування поступово розширюється до верхнього рівня насадки. За перевищення швидкості газового потоку емульгована рідина може викидатися з апарата.

Оскільки внаслідок випадкових порушень швидкості газу утримувати стійкий режим емульгування в апаратах з насипними насадками незручно, то використовують режим затоплення насадки, який в умовах невисоких швидкостей газу наближається до режиму емульгування, але менш ефективний від

нього, хоч і ефективніший за режим протитечійної взаємодії [1; 3]. Для цього апарат заповнюють рідиною до верхнього рівня насадки, а газ рівномірно розподіляють через барботер, розміщений над решіткою, на якій лежить насадка.

Під час роботи в затопленому стані рідка фаза стає суцільною, а газова — диспергованою: бульбашки і струминки газу барботують крізь шар рідини. Роль насадки зводиться до додаткового подрібнення потоків газу і рідини, внаслідок чого підвищується площа поверхні та інтенсивність контакту фаз.

У режимі барботажу масообмін інтенсивніше відбувається на початкових ділянках шляху газової фази в рідині внаслідок швидкого оновлення поверхні контакту фаз під час утворення й росту газових бульбашок. При подальшому підніманні бульбашок рушійна сила процесу суттєво зменшується і швидкість масообміну знижується. Внаслідок цього в барботажних апаратах немає потреби пропускати газ крізь високий шар рідини, а краще створювати умови барботажу в невисокому шарі, що досягається переходом до використання тарілчастих апаратів. У режимі емульгування фази оновлюються безперервно внаслідок постійного об'єднання та дробіння бульбашок газу і частинок рідини, тому висота емульгованого шару може бути значно більшою від висоти барботажного шару.

В апаратах з регулярними тонколистовими насадками енергія газового потоку використовується ефективніше, ніж в апаратах з насипною насадкою, внаслідок менших гідравлічних втрат під час упорядкованого руху потоків у каналах зручної обтічної форми без надмірних виступів і порожнин та необгрунтованих звужень і розширень, які можуть утворювати застійні зони, що не беруть участі в масообміні.

Традиційне використання регулярних насадок лише в апаратах з низьким гідравлічним опором заважало використовувати їх в режимі емульгування. Проте розроблення більш ефективних насадок з підвищеним гідравлічним опором розширює можливість використання їх у режимі роботи з емульгованим шаром. Для цього в листах насадки пропонується висікати видовжені зубчасті отвори [4], а також застосовувати невисокі гофри або рифлення [5], висота яких сумірна з товщиною плівки стікаючої рідини і які розміщені поперечно до напрямку течії рідини. На зубцях верхніх країв отворів формуються краплі рідини, під час утворення яких рідина інтенсивно перемішується, а газ, обтікаючи краплі, додатково турбулізується. Обтікання гофрів і рифлень також турбулізує потоки.

Гофри доцільно розміщувати між горизонтальними рядами зубчастих отворів. Це сприяє турбулізації обох фаз і підвищує ефективність масообміну, що зручно для переробки систем, у яких опір процесу масопередачі розподілений в обох фазах. Якщо опір зосереджений переважно в газовій фазі, то для посилення її турбулізації висоту гофрів збільшують до розумних меж, які не приводять до сильного зростання гідравлічного опору.

Вищою ефективністю масообміну і, відповідно, вищим гідравлічним опором характеризуються насадки з просіченими пелюстками [6]. Отвори в листах цих насадок виконують не висіканням частини листів, а просіканням листів з

трьох сторін і відгинанням просіченої частини листа по контуру четвертої сторони під певним кутом униз.

У насадках з просіченими пелюстками фіксована площа поверхні не зменшується на величину поверхні отворів, а залишається незмінною. Інтенсивність масообміну і гідравлічний опір суттєво зростають унаслідок інтенсивної турбулізації потоків відхиленими під кутом пелюстками. При цьому зрошувальна рідина стікає поверхнею листів насадки у вигляді окремих плівок та струмінців і одночасно поверхнею пелюсток у вигляді каскадів крапель.

Ступінь турбулізації потоків залежить переважно від кута нахилу пелюсток, форма яких може бути квадратною, видовженою, округленою тощо. Краї пелюсток можуть мати один або кілька зубців. Відгинання пелюсток у горизонтальне положення [7] або під кутом угору значно звужує вільний переріз насадки й утворює конструкцію, подібну за принципом дії до горизонтальної решітки, на якій утворюється барботажний або емульгований шар взаємодіючих фаз.

Характер течії рідини в режимі протитечійної взаємодії залежить від витрат обох фаз. Рух повітря з невеликою швидкістю (до 1,5 м/с) практично не змінює характеру однофазного стікання рідини по насадці, під час якого спостерігаються два типи потоків: потік першого типу з вертикальною течією рідини на ділянках між пелюстками і практично відсутнім перетіканням рідини з вертикальної поверхні листів на пелюстки, особливо на їхні нижні площини, які залишаються незмоченими, і потоки другого типу, які характеризуються послідовним стіканням рідини краплями (при низьких щільностях зрошення) або струмінцями (при збільшених витратах) з кожної вище розміщеної пелюстки на нижню. Обидва типи потоків стікають розрізнено і між собою практично не перемішуються.

Збільшення швидкості повітря на понад 2,5 м/с і витрат (щільності зрошення) рідини на понад 0,06 кг/(м с), що відповідає робочим режимам насадки, приводить до повного змочування поверхні насадки (і пелюсток), зростання інтенсивності взаємодії фаз і перемішування потоків першого й другого типів внаслідок підвисання рідини на пелюстках і відхилення напрямку течії її елементів від вертикального. Середня швидкість стікання рідини поступово зменшується і рідина починає заповнювати насадку.

Відгинання пелюсток під кутом угору в горизонтальних площинах насадки за будовою і принципом дії нагадує утворення горизонтальних решіток. На таких решітках починає збиратись рідина, звужуючи канали для проходження газу. Спочатку це спостерігається там, де потоки рідини під час течії вниз потрапляють у відкриті з боків комірки між відігнутими вгору пелюстками і тілом листів насадки, де вони, не маючи змоги продовжувати вертикальний рух вниз, змінюють траєкторію руху на горизонтальну і у вигляді струмінців рідини перекривають шлях газовим струменям. Газові струмені розбивають ці струмінці і при збільшенні витрат фаз поступово утворюють шар газорідинної емульсії.

Шар емульсії, утвореної за допомогою відхилення вгору одного горизонтального ряду пелюсток, показано на рис. 1.

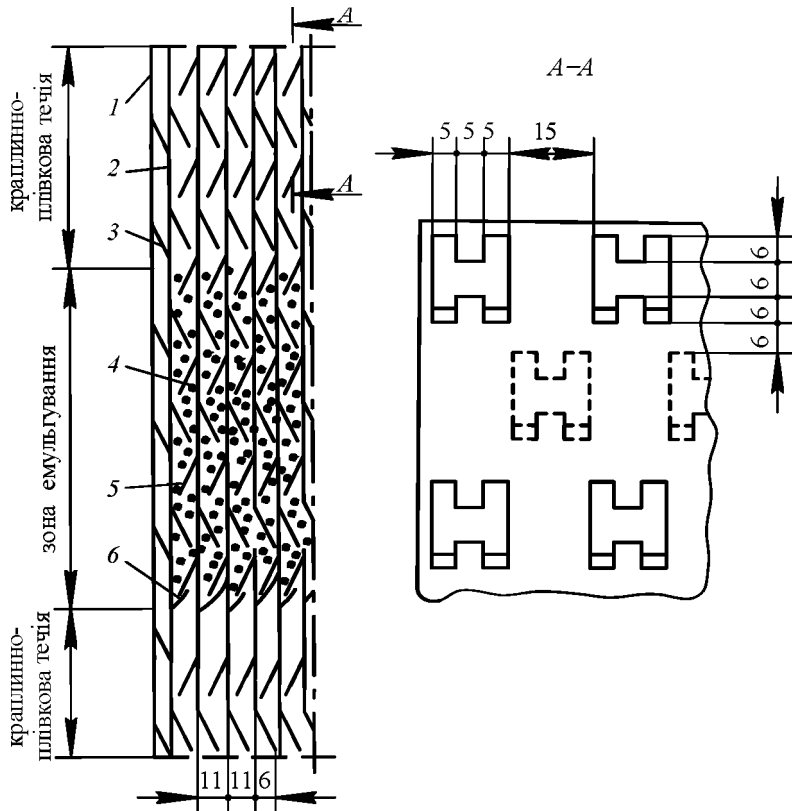


Рис. 1. Ділянка зони емульгування в насадці із зубчастими пелюстками:

- 1 — стінка колони; 2 — лист насадки; 3 — відігнута вгору пелюстка для відведення рідини зі стінки колони на насадку; 4 — відігнута вниз пелюстка; 5 — емульгований шар; 6 — відігнута вгору пелюстка для утворення зони емульгування

Пелюстки розміром 15·18 мм розміщені горизонтальними рядами на відстані 15 мм і мають вгорі по центру лінії відгинання просічений зубець та по два звисаючі зубці на нижніх краях. Відстань по вертикалі між горизонтальними рядами пелюсток 6 мм, пелюстки кожного суміжного ряду зміщені по горизонталі на ширину пелюстки (15 мм). Усі пелюстки кожного горизонтального ряду відхилені в один бік, а в сусідніх по висоті рядах — у протилежний. Каскадне стікання рідини з пелюстки на пелюстку забезпечується зміщенням листів насадки по висоті на крок між рядами пелюсток (24 мм) при наборі листів у пакети.

Режим емульгування у цій насадці створюють відхиленням у горизонтальних площинах пелюсток 6 під кутом угору. Висота шару газорідної емульсії залежить від витрат рідини і газу та від форми і кута відхилення пелюсток. Для пелюсток таких розмірів при щільності зрошення $\Gamma = 0,08$ кг/(м с) і відносній швидкості газу $w_{г,в} = 3,7$ м/с висота емульгованого шару була 40...60 мм і зростала до 190...230 мм при збільшенні швидкості газу до 4,3 м/с та до 400...450 мм при $w_{г,в} = 4,8$ м/с.

При підвищених щільностях зрошення емульгований шар утворюється за менших швидкостей газу і висота його зростає на більшу величину, ніж при

менших витратах рідини. При $\Gamma = 0,11$ кг/(м с) висота шару емульсії досягала 400 мм при $w_{г.в} = 3,7$ м/с і близько 700 мм — при $w_{г.в} = 4,1$ м/с. Верхній рівень емульгованого шару пульсує і при середній висоті шару 700 мм амплітуда пульсації становить приблизно 50... 100 мм.

Висота емульгованого шару легко регулюється зміною витрат газу. Над емульгованим шаром і під ним зберігається режим краплинно-плівкової течії, тому в апаратах підвищеної висоти можна створювати потрібну кількість і висоту емульгованих зон. Наявність насадки в зонах емульгування сприяє додатковому диспергуванню газорідної емульсії і підвищенню інтенсивності масообміну.

Гідравлічний опір емульгованого шару приймає різні значення для кожного різновиду насадки. Загальний гідравлічний опір насадки за наявності зон емульгування між зонами краплинно-плівкової течії дорівнює сумі трьох складових:

- гідравлічного опору ділянок насадки з краплинно-плівковою течією $\Delta P_{кр.пл.}$;
- опору ділянок насадки, заповнених емульгованим шаром $\Delta P_{ем}$;
- місцевих опорів звужених перерізів насадки (у цьому разі — відхилених угору пелюсток) ΔP_M :

де $h_{кр.пл}$ і $h_{ем}$ — висота відповідно ділянок краплинно-плівкової течії та емульгованого шару, м.

$$\Delta P = \Delta P_{кр.пл} h_{кр.пл} + \Delta P_{ем} h_{ем} + \Delta P_M, \text{ Па,}$$

Питомий опір емульгованого шару описаної насадки становить близько 1700 Па/м, питомий гідравлічний опір зрошуваної насадки 180 Па/м, а опір решітки $\Delta P_M = 300$ Па. Ці значення отримані в діапазоні $0,08 \leq \Gamma \leq 0,11$ кг/(м с) і $3,7 \leq w_{г.в} \leq 4,4$ м/с і справджуються з точністю $\pm 10\%$.

Наприклад, гідравлічний опір описаної насадки висотою 1 м, на якій підтримується зона емульгування висотою 0,4 м дорівнює:

$$\Delta P = 180 \cdot 0,6 + 1700 \cdot 0,4 + 300 = 1110 \text{ Па.}$$

На рис. 2 подано фрагмент розробленої і дослідженої перфорованими зубчастими отворами насадки з Z-подібними гофрами.

На рис. 2 подано фрагмент розробленої і дослідженої перфорованими зубчастими отворами насадки з Z-подібними гофрами.

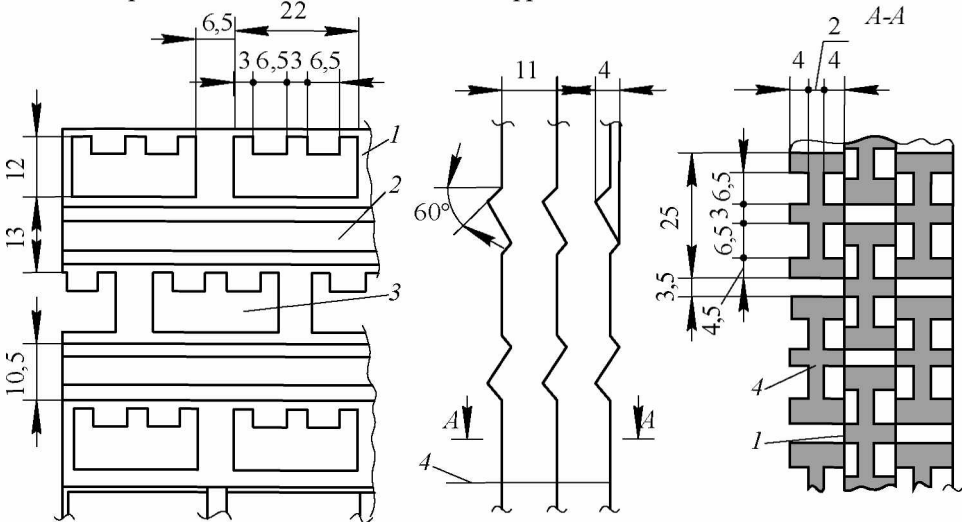


Рис. 2. Фрагмент перфорованої гофрованої насадки з відігнутими горизонтально пелюстками: 1 — лист насадки; 2 — горизонтальний Z-подібний гофр; 3 — зубчастий отвір (перфорація); 4 — відігнута пелюстка

Насадка складається з набраних у пакети листів 1, перфорованих виштампованими зубчастими отворами 3, розміщеними в шаховому порядку горизонтальними рядами, і має горизонтальні гофровані ділянки 2 між рядами отворів. Під час роботи насадки рідина надходить згори, а газова фаза рухається знизу. Стікаючи поверхнею листів насадки, рідина на нижніх краях зубців отворів утворює краплі (або окремі струмінці — при більших щільностях зрошення), які відриваються від зубців і після падіння на листи розплющуються у плівки і розтікаються на виступах гофрів, потім знову стікають на зубці отворів з подальшим утворенням крапель (і струмінців).

Оптимальна ефективність масообміну в разі краплинно-плівкової течії досягається, якщо розміри відповідних конструкційних елементів насадки узгоджуються з величиною капілярної сталої (константи Лапласа):

$$a = \sqrt{2\sigma/(\Delta\rho \cdot g)},$$

де σ — коефіцієнт поверхневого натягу на міжфазній поверхні газ-рідина, Н/м; $\Delta\rho$ — різниця густин рідини і газу, кг/м³; g — прискорення вільного падіння, м/с².

Наприклад, для абсорбції водою домішок газу із газоповітряної суміші за нормальних умов $a = \sqrt{2 \cdot 72,3 \cdot 10^{-3} / (1000 - 1,3) \cdot 9,81} = 3,8$ мм.

У дослідженій насадці крок між листами товщиною 1 мм дорівнює 11 мм, зазор між листами 10 мм, ширина зубців отворів 6,5 мм, глибина — 4 мм, загальний розмір виступів гофрів в обидві сторони від листа насадки 4 мм, що забезпечує стабільне утворення і розплющення крапель та високу ефективність масообміну без великого зростання гідравлічного опору.

Між горизонтальними рядами отворів виконували перфоровану решітку, шляхом відгинання у горизонтальне положення пелюсток, утворених просіканням з трьох сторін отворів, з дотиканням до сусідніх листів. Кожна відігнута пелюстка розміром 25·10 мм мала по 4 прямокутні отвори перерізом 6,5·4 мм. Зазор між відігнутими пелюстками у горизонтальних рядах дорівнює 3,5 мм (див. переріз А-А на рис. 2). З метою зменшення гідравлічного опору перфоровані решітки повинні мати якнайбільший вільний переріз, принаймні 50% від площі перерізу насадки, а отвори в решітці, з метою запобігання затягуванню їх плівкою і відповідного зростання опору на її руйнування, повинні перевищувати капілярну сталу.

У насадці площа однієї комірки, зайнятої відігнутою пелюсткою з кроком 28,5 мм, дорівнює 28,5·10=285 мм², а загальна площа отворів (відстань між відігнутими пелюстками 3,5 мм, розмір кожного з 4 отворів 6,5·4 мм) дорівнює 3,5·10+4·6,5·4 = 139 мм². Відносна площа вільного перерізу отворів для одночасного проходження крізь них газової фази і стікаючої рідини складає (139/285)100 = 49%, що допустимо, виходячи з умов достатньої жорсткості насадки при максимальному вільному перерізі.

Після подачі достатньої кількості газу і зрошувальної рідини на решітці утворювався шар газорідинної емульсії. Збільшення витрат кожної з фаз (або обох фаз одночасно) супроводжувалось зростанням висоти емульгованого шару.

У колоні з гофрованою насадкою ГН емульгований шар висотою 40...60 мм утворювався при відносній швидкості газу 3,9...4,6 м/с. У цілому емульгований шар утворювався при тих же витратах рідини й газу, що і в насадці з пелюстками НП, але висота його при підвищенні витрат фаз зростала повільніше.

Гідравлічні опори емульгованого шару в ГН за однакових висот шару були на 15...20% нижчі, ніж в НП.

Порівнюючи ефективність масообміну обох насадок можна відмітити, що при однаковій висоті емульгованого шару ефективність масообміну як у рідкій, так і в газовій фазі в НП була на 15...20% вищою, ніж у ГН. Це можна пояснити тим, що пелюстки інтенсивніше змінюють напрям течії потоків, краще їх диспергують і турбулізують, ніж гофри невеликої висоти.

Характеристики ГН при масообміні в обох фазах більш стабільні і менше змінюються при зміні витрат потоків. Ефективність НП в цілому дещо вища, ніж ГН і швидше зростає з підвищенням витрат фаз.

У високих апаратах доцільно організувати не одну, а кілька перфорованих решіток на певній відстані між ними і підтримувати на кожній з них потрібну висоту емульгованого шару, в той час як над шаром і під ним буде утримуватись режим краплинно-плівкового контактування фаз. Це дасть змогу розширити діапазон регулювання ефективної роботи апарату.

Висновки

В апаратах з регулярними насадками можна досить легко створювати локальні зони емульгованого шару відгинанням у горизонтальних перерізах колон під певним кутом або в горизонтальне положення просічених елементів листів насадки. При цьому над емульгованим шаром і під ним зберігається робота насадки у звичайному протитечійному режимі з плівковою або краплинно-плівковою течією.

У межах емульгованого шару потоки інтенсивно турбулізуються, внаслідок чого у кілька разів збільшується інтенсивність масообмінних процесів. Газорідинна емульсія на решітках розподіляється досить рівномірно, тому при використанні зон емульсованого шару не потрібно встановлювати перерозподільвачі зрошувальної рідини.

Застосування зон емульгування дає змогу значно розширити діапазон використання регулярних насадок для роботи в інтенсивних режимах.

Література

1. Кафаров В. В. Основы массопередачи. М.: Высшая школа. 1979. 439 с.
2. Марценюк О. С., Мельник Л. М. Процеси і апарати харчових виробництв: Підруч. К.: НУХТ, 2011. 407 с.
3. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) / Под ред. В. М. Олевского. М.: Химия, 1988. 240 с.
4. Декларативний патент на корисну модель UA 11669 Україна. МПК (2006) B01J 19/32/ Регулярна насадка з зубчастими отворами/ Марценюк О. С. Опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1.
5. Декларативний патент на корисну модель 10386 Україна. МПК B01J 19/32/ Регулярна насадка з зубчастими отворами і гофрами/ Марценюк О. С. Опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11.
6. Авторское свидетельство СССР SU 1311767 A1. Кл. B01D 53/20/ Регулярная насадка для теплообменных аппаратов / Марценюк А. С. Опубл. 23.05.87, Бюл. №19; Авторское свидетельство СССР SU 1327939 A1. Кл. B01D 53/20 / Регулярная насадка для теплообменных аппаратов с пленочно-капельным течением дисперсной фазы / Марценюк А. С. Опубл. 07.08.87, Бюл. № 29.
7. Авторское свидетельство СССР SU 1291191 A1. Кл. B01D 53/20/ Регулярная насадка / Марценюк А. С. Опубл. 23.02.87, Бюл. № 7.