

Тарілчасті апарати та їх удосконалення

Марценюк О.С., Малежик І.Ф., Зоткіна Л.В.

Національний університет харчових технологій

(опубл. наук. праці НУХТ, 2019, №2)

Розглянуті приклади будови протитечійних тарілчастих апаратів, які працюють в умовах контактування фаз у найбільш інтенсивному пінному режимі. Показані можливі варіанти удосконалення тарілчастих апаратів за допомогою збільшення шару піни на тарілках, використання баластних і нахилених клапанів з різною висотою утримувальних ніжок, підтримання гарантованого шару рідини на тарілках, застосування додаткових зон контакту фаз, використання перехресно-струминного руху на тарілках з лускою, просічками та нахиленими пластинами, зміни напрямку руху фаз, підгальмовування або початкового розгону швидкості течії рідини на тарілках, використання псевдозрідженого шару насадки, віброперемішування та спеціально розроблених контактних пристроїв для реалізації циклічного руху фаз.

У циклічному режимі послідовно змінюються два періоди роботи тарілок: більш тривалий період (наприклад 20...30 с) барботажу газової фази крізь утримуваний на тарілці незмінюваний об'єм рідини і короткий період (3...5 с) зливання рідини на нижню тарілку під час припинення подачі газу. Це сприяє майже повному досягненню фазової рівноваги на кожній тарілці.

Збільшувати відносну швидкість руху потоків на тарілках понад оптимальну практично не доцільно, оскільки дисипаційні втрати починають зростати інтенсивніше, ніж підвищується швидкість міжфазного перенесення. Удосконалення відомих тарілок значного ефекту не дає, але ускладнюється їх будова та обслуговування. Тому в найближчі десятиріччя ефективність роботи тарілчастих колон варто підвищувати за рахунок правильного вибору і застосування вже існуючих апаратів та використання оптимальних режимів роботи. При розробленні нових конструкцій тарілок слід базуватись на ідеях створення принципово нових умов контактування фаз і ретельно обґрунтовувати економічний ефект від їх впровадження.

Ключові слова. Контакткування фаз, масообмін, пінний режим, тарілчасті апарати, удосконалення.

The plate-type apparatuses and their improvement

Martseniyk A., Malejik I., Zotkina L.

National university of food technologies

The examples of the device of apparatuses with plates with the counterflow which work in conditions of contact of phases in the most intensive foamy regime are considered. Possible variants of improvement of plate-type devices with the help : increases of a layer of foam on the plates, uses of the ballast valves and inclined valves with different height of the holding legs, maintenances of a guaranteed layer of a liquid on plates, applications of additional zones of contact of phases, uses of cross-stream motion on plates with scales, slot tings and with inclined plates, changes of a direction of movement of phases, the deceleration or initial acceleration of speed of current of a liquid on plates, uses of the pseudo liquated a layer of a nozzle, the vibration mixing and the specially developed contact devices for realization of cyclic movement of phases are shown.

In a cyclic mode two periods of work of plates are consistently replaced: longer period (for example, 20 ... 30 s) of of a gas phase through the constant volume of a liquid on a plate and the short period (3 ... 5 s) of drain of a liquid to the lower plate during a stopping of delivery of gas . It promotes almost full achievement of phase balance on each plate.

The increase in relative speed of movement of streams at plates over optimum is not expedient as dissipative losses begin raise more, than the speed of interphase transfer raises. The significant effect at improvement of plates it is not predicted, but their structure and service become complicated. Therefore in the nearest decades the efficiency of work of plate columns needs to be promoted due to a correct choice and application of already existent apparatuses and use of optimum regimes of their work. At development of new designs of plates it is necessary to be based on ideas of creation of principle new conditions of phases contact and carefully to prove economic benefit of their introduction.

Keywords: Contact of phases, mass transfer, foamy regime, plate-type apparatuses, improvement.

Постановка проблеми. Тарілчасті протитечійні апарати (абсорбційні і перегонні колони) відносять до барботажних, у яких газова (парова) фаза продувається крізь шар рідини і обмінюється з нею компонентами. Ці апарати застосовують переважно у разі потреби здійснити більше 4...5 теоретичних ступенів контакту при переробці як легко- такі важкорозчинних компонентів у досить широкому діапазоні навантажень по рідині і газу. Вони прості за будовою, зручні в обслуговуванні, мають помірний гідравлічний опір, невелику матеріаломісткість на одиницю маси перероблюваного продукту.

Залежно від швидкості (витрати) газу та будови тарілок, отвори яких виконують роль барботерів, спостерігаються три основні гідродинамічні режими роботи барботажних апаратів: бульбашковий, пінний, струминний [1].

Бульбашковий (барботажний) режим реалізується при невисоких швидкостях (до 0,3...0,4 м/с) пропускання газу крізь шар рідини і характеризується утворенням окремих бульбашок газу. В момент відривання від отворів барботера бульбашки газу отримують інерційні коливальні імпульси і під час спливання продовжують коливатись (пульсують) в усіх координатних напрямках. Хаотичний коливальний рух бульбашок та їх міжфазної поверхні сприяє перемішуванню газу як всередині бульбашок, так і в прилеглих шарах рідкої фази і прискорює масообмін. Спливаючи на поверхню рідини бульбашки руйнуються з утворенням дрібних бризок. Щоб бризки осідали і не виносились на верхні тарілки, над контактною зоною тарілок незалежно від режиму контактування фаз повинен бути вільний сепараційний простір.

Пінний режим настає при збільшенні швидкості газу і утримується в діапазоні швидкостей газу від 0,4 до 3,0 м/с. Газовий потік рухається у вигляді дрібних змішаних з рідиною струменів та окремих бульбашок і утворює на тарілці суцільну рухливу піну з розвиненою безперервно оновлюваною поверхнею контакту внаслідок інтенсивної взаємодії фаз. У цьому режимі динамічні сили газового потоку значно перевищують сили поверхневого натягу і створюють інтенсивні коливально-пульсаційні рухи.

Струменевий режим утворюється при подальшому збільшенні швидкості газу до значень, при яких ці струмені пронизують шар рідини і викидаються на поверхню над рідиною. Утворення нерівномірно пульсуючих струменів збільшеного розміру призводить до зменшення поверхні контакту і зниження інтенсивності масообміну.

Найінтенсивніше фази контактують у зонах утворення нової міжфазної поверхні на початкових ділянках руху газорідинної суміші біля полотна тарілки. Тому на тарілках підтримують шар рідини висотою до 60-70 мм, а тарілки розміщують одна над одною.

Мета статті. На основі аналізу сучасного стану розвитку тарілчастих масообмінних колон визначити перспективні напрямки збільшення ефективності їх роботи на найближчі десятиріччя.

Виклад основних результатів дослідження. Тарілчасті апарати працюють в умовах контактування фаз у найбільш інтенсивному режимі з рухливою піною. Особливістю цих апаратів є те, що тарілки розділяють об'єм апаратів на окремі досить ізольовані зони, між якими слабо передаються інтенсифікуючі фактори, які можуть бути використані в апаратах з суцільним об'ємом рідини: низькочастотні гідродинамічні коливання, акустичні і кавітаційні впливи, коливання від роторно-пульсаційних пристроїв, електричні і магнітні поля. В газорідинних емульсіях, що утворюються на тарілках, швидко розсіюється підведена енергія і затухають коливальні явища. Підводити додаткові коливання окремо на кожен тарілку технічно незручно і економічно недоцільно, оскільки тарілчасті апарати вже працюють в інтенсивному коливально-пінному режимі, а накладання додаткових коливань на спонтанно існуючі у пінному режимі пульсації не дає відчутного зростання інтенсивності контактування фаз.

Використовують апарати з ситчастими, ковпачковими, клапанними, лускатими, S-подібними, комбінованими та іншими типами тарілок. За способом перетікання рідини з тарілки на тарілку розрізняють тарілки провального типу та з переливними пристроями. В апаратах з тарілками провального типу (ситчастими, решітчастими) газ і рідина рухаються протитечійно крізь одні й ті ж самі отвори в полотні тарілок і контактують в зоні отворів і в зоні рідини над отворами з утворенням на тарілках шару піни. Підтримування оптимальної висоти піни вимагає досить точного регулювання витрат фаз, що не завжди зручно. При зниженні витрат газу висота піни зменшується і ефективність контактування знижується.

Переливні пристрої значно спрощують регулювання шару піни на тарілках і сприяють збільшенню діапазону їх стійкої роботи. Рівень переливних пристроїв (зливних стаканів, переливних перегородок, коробок) дає змогу підтримувати потрібну висоту шару піни. Цю висоту збільшують підвищенням висоти розміщених в середині корпуса апарата

переливних порогів, або організацією підпору піни за допомогою розміщених зовні циліндричного корпусу апарата переливних коробок, в яких піна додатково руйнується. Ситчасті апарати з переливними коробками працюють у більш широкому діапазоні навантажень. Але при зниженні витрат газу та при тимчасовому його відключенні рідина провалюється крізь отвори тарілок і подальше відновлення робочого режиму вимагає певного часу. Провал рідини попереджують за допомогою клапанів.

В апаратах з клапанными тарілками отвори тарілок перекривають клапанами, ступінь відкривання яких залежить від навантажень по газу. При малих навантаженнях клапани відкриваються не всі або відкриваються неповністю і живий переріз для проходження газу змінюється пропорційно його витраті. У міру збільшення навантажень відкривається все більша частина клапанів і швидкість газу в отворах залишається приблизно однаковою, забезпечуючи стійку роботу тарілок без провалу рідини. У певних діапазонах навантажень та при пульсуючій подачі газу спостерігається вібрація (періодичне відкривання і закривання) клапанів, що створює додаткові пульсації шару піни на тарілках.

Залежно від будови клапанів і наявності переливних пристроїв може бути організований протитечійний, перехресний та перехресно-прямотечійний рух фаз на тарілках. Тарілки без переливних пристроїв з симетричними клапанами у вигляді круглих або прямокутних пластин з обмежувачами висоти їх піднімання можуть працювати у протитечійному режимі: тобто газ і рідина можуть контактувати, проходячи крізь одні й ті ж отвори. Цей режим нестійкий, оскільки рівномірність течії спонтанно порушується і рідина починає зливатись через повний переріз одних отворів, а газ проходить переважно через повний переріз інших отворів із більш легкими клапанами або над якими встановлюється дещо менший рівень газорідинної суміші.

Застосування переливних пристроїв ліквідує недоліки протитечійного режиму і змінює режим контактування фаз на перехресний (рідина рухається вдовж тарілки, а газ вертикально барботує крізь її отвори) з більш широким діапазоном стійкої роботи. Для подальшого збільшення діапазону робочих навантажень використовують клапани з баластними пристроями. Під час зростання витрати газу клапан спочатку піднімається на невелику висоту, впираючись у баласт, а при збільшенні витрати

піднімається вище разом з баластом, забезпечуючи стійку роботу при кількарізній зміні навантажень по газу.

Утримувати гарантований шар рідини на тарілках і швидко вводити апарат у робочий режим при очищенні періодичних викидів газів дозволяє комбінована клапанно-ситчаста тарілка з двома зонами контакту – рис. 1. Тарілка [2] складається з двох горизонтальних полотен: нижнього, виконаного у вигляді клапанної тарілки, і верхнього - у вигляді ситчастої тарілки. Клапанна тарілка підтримує гарантований шар піни і сприяє рівномірному розподілу барботуючого газу, який при надходженні в апарат відкриває клапани і вступає в контакт з рідиною. Полотно ситчастої тарілки створює додаткову зону інтенсивного контактування фаз.

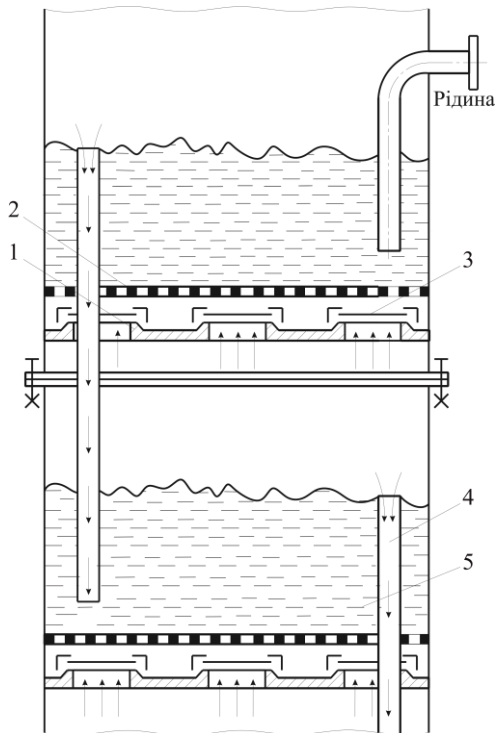


Рис. 1. Схема клапанно-ситчастої тарілки з двома зонами контакту фаз:

1 – полотно клапанної тарілки; 2 – полотно ситчастої тарілки; 3 – клапан; 4 – переливна труба; 5 - шар піни

При припиненні подачі газу клапани під дією тиску маси рідини закриваються й утримують рідину на тарілках до наступного надходження газу. У робочому режимі перетікання рідини здійснюється переливними трубами.

Для роботи апаратів з клапанними тарілками у перехресно-прямотечійному режимі використовують клапани з різною висотою

утримувальних ніжок. Внаслідок зміщення центру тяжіння в бік видовжених ніжок у перший момент подачі газу відкривається той бік клапана, де розміщена коротка ніжка. Після того, як коротка ніжка досягне фіксатора, розміщеного на полотні тарілки, клапан приймає спочатку горизонтальне, а потім нахилене положення. В робочому режимі спінена газорідинна суміш рухається вздовж полотна тарілки під дією струменів газу, які вириваючись під кутом, пронизують потік рідини і проштовхують його до зливного пристрою.

Перехресно-струминний режим руху зручно створювати за допомогою лускатих тарілок – рис.2, та тарілок з нахиленими пластинами. У цьому режимі швидкість руху рідини на тарілках прискорюється, що дозволяє не лише збільшувати навантаження по рідкій і газовій фазах, а й перероблювати рідини з вмістом твердої фази та знизити поздовжнє перемішування рідини. Найчастіше використовують луску аروحного типу та з тристороннім прорізом, розміщену на тарілці в шаховому порядку. Для підтримання рівня рідини на тарілці встановлюють переливні пороги над зливним сегментом або стаканом.

Під час перехресно-струминного режиму руху кінетична енергія газу використовується для організації і прискорення руху рідкої фази, оскільки вектор швидкості газу, що виходить з-під луски, спрямований під кутом до горизонту в бік руху рідини. Диспергована рідина у вигляді струменів піни, бризок і крапель рухається над тарілкою в завислому або напівзавислому стані. За переливним порогом в кінці тарілки рідина вдаряється об стінку колони, відокремлюється від газової фази і потрапляє в приймальний карман зливного пристрою.

В апаратах діаметром менше 1200 мм ефективність роботи може знижуватись внаслідок малої тривалості контакту газу з рідиною. Запобігають цьому частковою затримкою рідини за допомогою спрямування певної частини луски протилежно до руху газорідинного потоку, а також встановленням перегородок та відбійників.

На рис. 2 показані схеми звичайної лускатої тарілки та тарілки з підгальмовуванням швидкості газорідинної суміші, над лускою якої встановлені суцільні зигзагоподібні смуги невеликої висоти. Верхня частина потоку ударяється об ці смуги, внаслідок чого збільшується час контактування і додатково оновлюється поверхня контакту фаз.

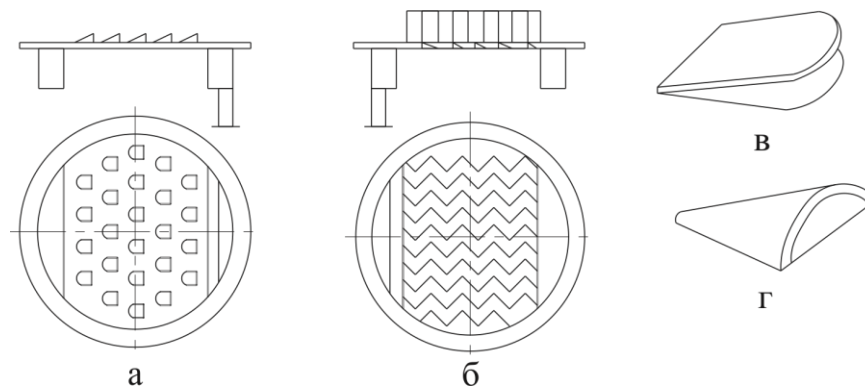


Рис. 2. Луската тарілка звичайна (а) та з підгальмовуванням течії (б) з лускою тристороннього прорізу (в) або арочного типу (г)

В апаратах з тарілками системи Кіттеля замість луски використовують просічки з нахиленими отворами. Використовують різні варіанти напрямку відхилення отворів у межах окремої розділеної на сектори тарілки, та різну компоновку тарілок (виконаних у вигляді штампованих металевих решіток). Наприклад, з метою посилення турбулізації фаз встановлюють попарно тарілки, на одній з яких організують доцентровий потік, а на сусідній – відцентровий, а між парами тарілок розміщують бризкоуловлювальні решітки з більш крупними штампованими отворами, спрямованими таким чином, щоб забезпечити обертання парогазового потоку в бік, протилежний обертанню на суміжній відцентровій решітці. З метою додаткової затримки рідини замість бризкоуловлювальної решітки встановлюють тарілки з кільцями Рашига.

На полотні тарілок з нахиленими пластинами перехресно-струминний рух створюється поступово: біля входу на тарілку спостерігається ділянка розгону рідини, де рідина внаслідок її ще недостатньої швидкості і аерації частково провалюється в отвори між першими двома-трьома пластинами. З метою надання рідині початкової швидкості і ліквідації часткового провалу рідини при вході на тарілку встановлюють нахилений відбійник – рис. 3 [3]. Розігнавшись під час стікання по відбійнику, рідина хвилеподібно переходить з пластини на пластину і на відрізках шляху між горизонтальними ділянками пластин рухається у вигляді струменів, контактуючих з парогазовим потоком.

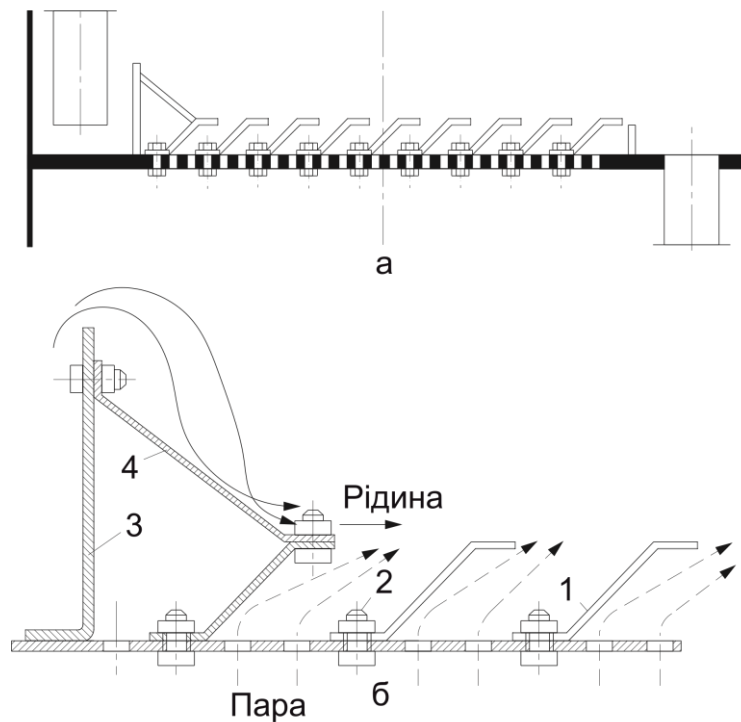


Рис. 3. Схема перехресно-струминної тарілки з нахиленими пластинами:

а – загальний вигляд; б – схема руху потоків на початковій ділянці тарілки: 1 – нахилена пластина; 2 – болт; 3 – переливна перегородка; 4 – відбійник для розгону рідини

До тарілчастих можна віднести й абсорбери з псевдозрідженою насадкою. Вони можуть працювати при підвищених навантаженнях по газу і завдяки руху й ударам тіл насадки практично виключають забивання осадами робочої зони при роботі з забрудненими продуктами навіть коли в процесі хемосорбції відбувається утворення твердої фази.

Відомі два основні режими роботи таких апаратів: з псевдозрідженою і з плаваючою насадкою [4]. В першому режимі насадка під впливом потоку газу утворює високорухливий псевдозріджений шар, який заповнює весь робочий об'єм між тарілками (решітками) і утримується від можливого винесення розміщеною вище тарілкою або обмежувальною решіткою. При подальшому підвищенні швидкості газу настає режим роботи з плаваючою насадкою, при якому насадка притискується до обмежувальної решітки, але під впливом зрошуючої рідини, що надходить згори, верхня частина шару насадки відтискується вниз і утворює рухливий плаваючий під решіткою псевдозріджений шар з інтенсивним контактуванням фаз. Абсорбер, що працює в режимі з плаваючою

насадкою, показано на рис. 4. Це також робочий режим, але краще апарат працює в режимі рівномірного псевдозрідження з заповненням насадкою всього об'єму секцій без утворення шару плаваючої насадки.

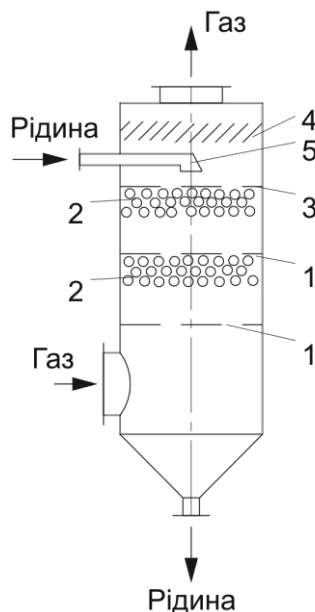


Рис. 4. Абсорбер з плаваючою насадкою:

1 – опорно-розподільна решітка; 2 – кульова насадка; 3 – обмежувальна решітка; 4 – брызкоуловлювач; 5 – зрошувач

У спокійному стані нерухома насадка займає 10...20 % висоти секцій між решітками. Як насадкові тіла використовують переважно порожнисті або суцільні кулі з поліетилену та інших пластичних мас, а також з пористої гуми діаметром від 4 до 100 мм і густиною від 100 до 900 кг/м³ та тіла іншої форми, наприклад, кільця. Швидкість газу може змінюватися від 1,5 до 9,0 м/с, щільність зрошення – від 5 до 200 м³/(м²год). Абсорбери з псевдозрідженою насадкою виготовляє фірма “KAVAC” (Германія).

Розроблена [5] конструкція абсорбера, який може працювати одночасно в режимі з псевдозрідженою і плаваючою насадкою. В такому апараті використовується ефект замикання (закривання) отворів решітки тілами насадки при розширенні псевдозрідженого шару і притисканні знизу тіл насадки до верхніх решіток.

З цією метою форму отворів і їх розміщення в решітках та форму тіл насадки підбирають так, щоб насадка при розширенні повністю перекрила всі отвори. Наприклад, у разі застосування насадкових тіл у формі куль, в опорно-розподільній решітці виконують круглі отвори, діаметр яких менший від діаметра куль і центри яких розміщені на більшій від діаметра куль відстані так, щоб при притисканні куль до решітки тіла насадки

повністю закрили круглі отвори, не заважаючи одне одному перекрити “свій” отвір. При великій швидкості газового потоку відбувається повне замикання знизу верхньої опорно-розподільної решітки тілами насадки.

Апарат працює наступним чином. При збільшенні витрати газу за одночасної подачі в абсорбер зрошувальної рідини розміщена на решітці нерухома насадка переходить у псевдо-зріджений шар, причому кожному значенню швидкості газу відповідає своя висота шару. Після заповнення всього об’єму секції абсорбера, елементи рухомої насадки притискуються до верхньої решітки і повністю закривають її отвори.

Повне закривання знизу отворів решітки призводить до припинення надходження газу і падіння швидкості газу до нуля, внаслідок чого всі тіла насадки під дією своєї ваги і ваги рідини над ними відтискуються вниз. Рухаючись вниз вони підхоплюються вихорами потоку газу, що рухається назустріч, переходять в активний псевдо-зріджений стан в усьому об’ємі секції, співударяючись одне з одним і забезпечуючи інтенсивну взаємодію потоків рідини й газу. При цьому відбувається розширення псевдо-зрідженого шару.

Коли висота розширеного шару стає рівною висоті секції абсорбера, отвори опорно-розподільної решітки знову закриваються елементами насадки і цикл повторюється. При цьому елементи рухомої насадки отримують імпульс вертикальної складової швидкості газу, яка внаслідок турбулентного руху періодично змінює напрямок. Псевдо-зріджений шар ніби “струшується”, отримуючи періодичні пульсації.

Хаотичний рух елементів насадки з їх ударами між собою, зі струменями рідини та зі стінками апарата збільшує поверхню контакту потоків та інтенсифікує гідродинамічну взаємодію фаз. Діапазон навантажень абсорбера по газу може змінюватись у широких межах від мінімальної швидкості початку псевдо-зрідження до швидкостей газу, що відповідають режиму плаваючої насадки. Розширюється також і робочий діапазон зміни густини зрошення. Пульсуючі рухи елементів насадки ефективно розбивають газові бульбашки, що виникають у псевдо-зрідженому шарі. Підвищується продуктивність абсорбера, оскільки псевдо-зріджений шар займає весь внутрішній об’єм секції абсорбера від нижньої опорно-розподільної решітки до верхньої.

Отвори в опорно-розподільній решітці можуть бути виконані у формі кола – для сферичної насадки, правильного трикутника – для насадки у

формі кубів або додекаедрів, квадрата – для тетраедрів, правильного п'ятикутника – для насадкових тіл у формі ікосаедрів.

Відомий також апарат з вібраційною системою перемішування, використаний у якості ферментатора для культивування мікроорганізмів [6, 7]. Всередині корпусу апарата (рис. 5) розміщено вертикальний шток із закріпленими на ньому рухомими дисками з соплоподібними отворами. Шток виконує поступально-зворотні (вібраційні) рухи. Під рухомими дисками до корпусу прикріплені нерухомі пластини з соплами, розміщеними співвісно з соплоподібними отворами. Рухомий диск і розміщена під ним нерухома пластина в парі утворюють віброперемішувальний пристрій. Під нижній такий пристрій через барботер підводиться повітря.

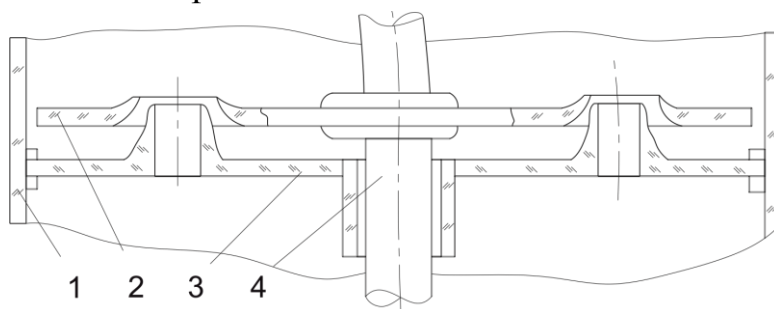


Рис. 5. Схема будови віброперемішувального пристрою з соплами:

1 – корпус; 2 – рухомий диск із соплоподібними отворами; 3 – нерухома пластина з соплами; 4 – віброшток

Апарат працює наступним чином - рис. 5, 6. Під час руху диска вгору за напівперіод коливань рідина через отвори і бічні зазори між отворами і соплами надходить у простір між диском і пластиною та в сопла, при цьому швидкість руху рідини у соплах вища від швидкості піднімання газової фази і вона притримує газ під нижньою нерухомою пластиною. В наступний напівперіод, під час руху віброуючого диска вниз, рідина крізь зазори між соплами й отворами з великою швидкістю витискується вгору, захоплюючи газову фазу. При цьому утворюється диспергованатороподібна газорідинна структура, яка за формою нагадує кільця диму в повітрі.

Завихрення відриваються від отворів при досягненні диском крайнього нижнього положення. Під час руху утвореної тороподібноі структури радіус вихорового кільця збільшується, кільце розтягується. У міру віддалення від сопла кільцевий вихор розпадається і

його локальний газовміст знижується. Ефективне диспергування газової фази збільшує загальний газовміст системи.

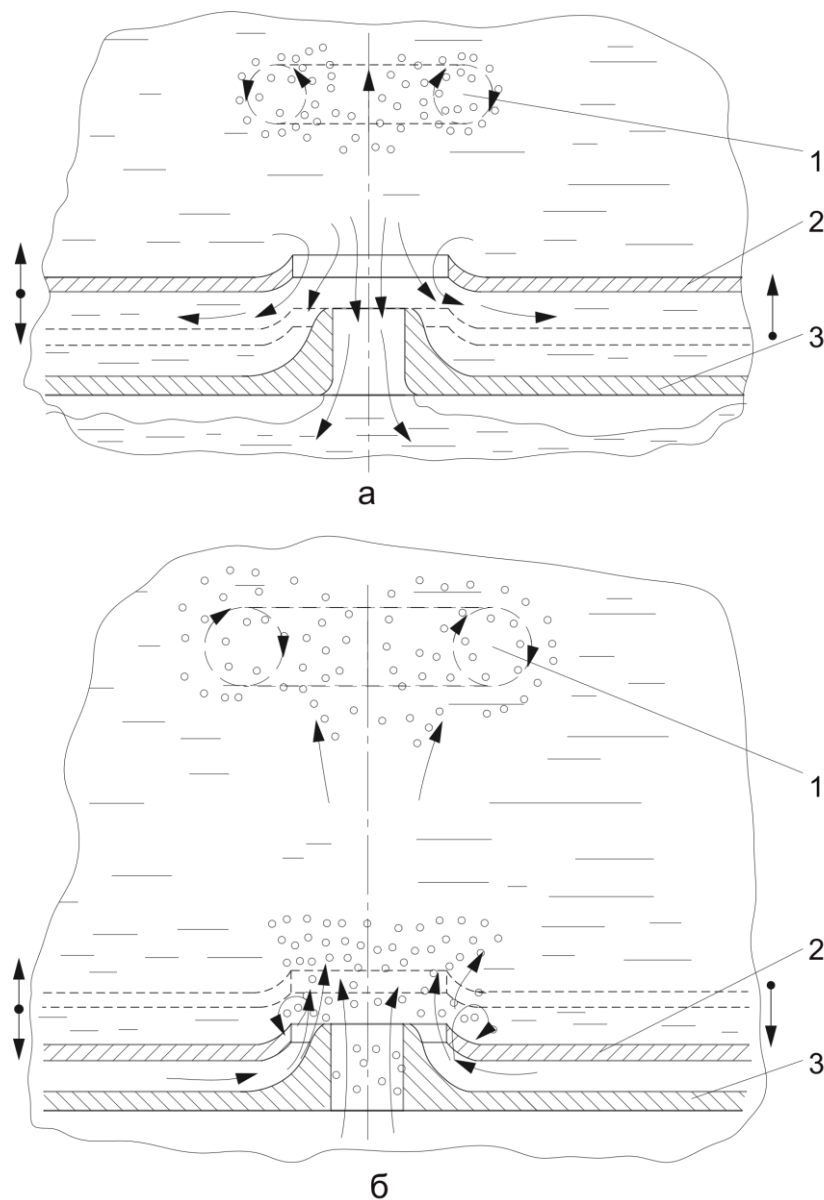


Рис. 6. Схема утворення тороподібних газорідних структур під час роботи віброперемішувального пристрою із соплами:

а – рух диска вгору; б – рух диска вниз;

1 – тороподібна структура; 2 – рухомий диск; 3 – нерухома пластина

Збільшення газовмісту та інерційна складова коливань позитивно діють на культуру мікроорганізмів, впливаючи на примежові шари поблизу скупчення клітин мікроорганізмів і посилюючи масовіддачу. Інтенсифікація процесу пов'язана з додатковим введенням енергії. Використання віброперемішувальних пристроїв дозволяє за рахунок більш

рівномірного розподілення збільшити кількість енергії, що вкладається в одиницю робочого об'єму апарата.

В описаних вище тарілчастих апаратах міжфазна рівновага на тарілках не досягається, оскільки рідина під час перетікання з тарілки на тарілку перемішується в поздовжньому напрямку (замість дотримання режиму ідеального витіснення), а тривалість контакту між рідиною і газом часто недостатня. Тому запропоновано принципово новий спосіб підвищення ефективності роботи колон шляхом переходу до роботи в циклічному режимі при використанні тарілок провального типу. Реалізувати циклічний спосіб роботи колон вдалося лише в останнє десятиріччя завдяки розробленню спеціальних контактних пристроїв [8].

За цим способом з тарілки на тарілку періодично перетікає весь об'єм рідини, не змішуючись із рідиною, яка була на тарілці раніше, тобто рідина між тарілками рухається у режимі ідеального витіснення. Перебуваючи на тарілці рідина ідеально перемішується, контактуючи з парогазовою фазою. Під час перетікання рідини з тарілки на тарілку подача пари припиняється. Рідина подається в колону безперервно, а керування режимом її течії здійснюється за допомогою пари, періодичність подачі якої задається системою автоматики. Перетікання рідини під час подачі пари виключається використанням швидкостей пари, які перевищують швидкість захлинання, а перемішування рідини на суміжних тарілках під час її перетікання виключається за допомогою використання шлюзової камери, розміщеної під тарілкою. Контактний пристрій включає два полотна: барботажне полотно тарілки з контактними елементами і розміщене нижче полотно шлюзової камери.

Кожний цикл роботи колони, тобто інтервал часу від моменту початку подачі пари до наступного моменту початку подачі пари, складається з двох періодів: періоду подачі пари, коли відбувається масообмін між парою і рідиною в режимі ідеального перемішування (наприклад, 30 с), і періоду переливання рідини на нижню тарілку в режимі ідеального витіснення (наприклад, 3 с). Експлуатація колони з 15 тарілками показала, що всі тарілки в колоні працюють одночасно без запізнення роботи верхніх тарілок при подачі пари знизу. Підвищена (в 1,5...2,0 рази) ефективність використання циклічного режиму підтверджена на прикладах концентрування домішок етанолу в колонах, що входять до складу брагоректифікаційних установок.

Запропоновані також інші варіанти будови контактних пристроїв для забезпечення циклічних режимів роботи колон. Заслугує на увагу апарат з приводом зміни положення переливних клапанів за допомогою механічних тяг, встановлених вгорі колони [9]. У цьому апараті по чергові працюють усі парні, а потім усі непарні тарілки.

Досвід експлуатації технологічних апаратів показує, що в газорідних системах найшвидше відбувається і найлегше інтенсифікується перенесення кількості руху, важче переноситься теплота і найповільніше проходять дифузійні процеси. Оскільки процеси перенесення взаємопов'язані, то загальноприйнятими способами прискорення масообміну є турбулізація потоків і диспергування робочого середовища з метою зменшення відстані дифузійного перенесення компонентів.

У тарілчастих колонах, які працюють у пінному режимі, інтенсивне диспергування та тісне контактування середовищ значною мірою вже досягнуто. Збільшувати ступінь диспергування за рахунок підвищення відносної швидкості потоків понад оптимальну не доцільно, оскільки дисипаційні втрати починають зростати інтенсивніше, ніж збільшується швидкість міжфазного перенесення, а в дуже дрібних частинках рідин і газів розміри примежових шарів стають сумірними з розмірами частинок і основна частка опору дифузійному перенесенню концентрується в зоні повільної молекулярної дифузії. Крім того, підвищення швидкостей потоків супроводжується посиленням зростання гідравлічного опору та необхідністю збільшувати висоту сепараційного простору над зонами контакту. Подальше удосконалення тарілчастих апаратів часто вимагає значного ускладнення їх будови та обслуговування за незначного підвищення ефективності їх роботи.

З метою оцінки доцільності удосконалення тарілчастих колон було проведено порівняння витрат на розділення в ректифікаційній колоні, обладнаній найбільш ефективними базовими тарілками й ідеальною тарілкою [10]. За базову була прийнята клапанна баластна тарілка з розширеним діапазоном навантажень, а за ідеальну тарілку прийнята гіпотетична конструкція, що має найбільшу постійну ефективність розділення в усьому робочому інтервалі навантажень, мінімальний гідравлічний опір і вирізняється простотою виготовлення, низькою металомісткістю і вартістю на рівні звичайної ситчастої тарілки.

Розрахунки за програмою оптимізації на прикладі атмосферної колони розділення сирої нафти показали, що використання ідеальної тарілки дає змогу знизити виробничі витрати на розділення лише на 15,5 % порівняно з базовою моделлю. Це підтверджує думку про те, що резерви підвищення ефективності тарілчастих апаратів за рахунок удосконалення будови тарілок незначні, тому потрібно ретельно оцінювати витрати на розроблення нових конструкцій і освоєння виробництва та порівнювати їх з можливим економічним ефектом.

Висновки. Підвищувати ефективність роботи тарілчастих колон в першу чергу варто не за рахунок ускладнення їх будови, а на основі правильного вибору і застосування вже існуючих апаратів та використання оптимальних режимів їх роботи, а також заміною існуючих традиційних колон більш прогресивними конструкціями. Розроблення нових конструкцій повинно базуватись на ідеях створення принципово нових умов контактування фаз і економічно обґрунтовуватись.

Література

1. *Рамм В.М.* Абсорбция газов - М., Химия, 1976. – 665 с.
2. *Оборудование для санитарной очистки газов: Справочник / И.Е. Кузнецов, К.И. Шмат, С.И. Кузнецов; Под общей ред. д-ра техн. наук И.Е. Кузнецова.* – К.: Техника, 1989. – 304 с.
3. *Анистратенко В.А.* Модернизация ситчатых тарелок / Анистратенко В.А., Меньяло П.И. Научно-техн. реф. сб.: Химическое и нефтяное машиностроение. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979, № 4, - С.3-4.
4. *Заминян А.А., Рамм В.М.* Абсорберы с псевдооживленной насадкой. – М.: Химия, 1980. – 184 с.
5. Патент RU2125479, B01D 47/14, B01J 19/30, B01J 19/32. Абсорбер с псевдооживленной насадкой/ Беккер В.Ф. Акционерное товарищество “Уралкалий”; заявл.18.02.1997, опубл. 27.01.1999.
6. *Карлаш Ю.В.* Исследование закономерностей интенсификации газожидкостных массообменных процессов в ферментаторах с виброперемешивающими устройствами // Автореф. дис. к.т.н., 05.18.12 / Киевский ордена Трудового Красного Знамени технол. ин-т пищевой пром-ти. – К., 1986. – 24 с.
7. *Карлаш Ю.В., Лобода П.П., Стабников В.Н.* Исследование гидродинамики и массопередачи в аппаратах с вибрирующей насадкой

абсорбции кислорода // Респ. межвед. Научно-техн. сб.: Пищевая пром-ть, - К.: Техніка, 1983, вып. 29, - С. 38-42.

8. *Understanding process intensification in cyclic distillation systems* // B. Maleta, A. Kiss, V. Taran, V. Maleta // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification (USA)*.— July 2011. - Volume 50, Issue 7. – P. 655-664.

9. Булій Ю.В., Шиян П.Л., Дмитрук П.А., Малигін А.І. Іноваційна технологія вилучення та концентрування органічних домішок спирту в режимі керованої ректифікації // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2013. —№ 43.- С. 38-50.

10. Лебедев Ю Н., Мамонтов Г.В. Возможности и пути совершенствования массообменных колонных аппаратов // Тезисы докладов VI Всесоюзн.конфер. по теории и практике ректификации. — Северодонецк, 1991. — С. 214-216.