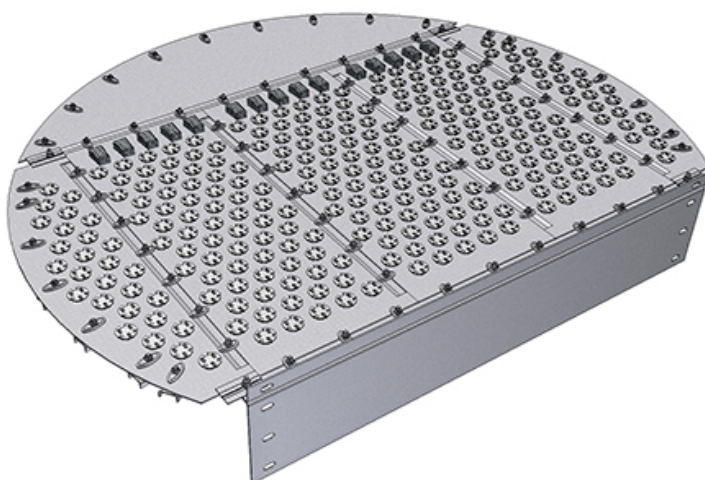
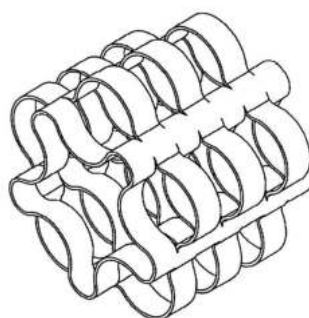


І. О. Мікульонок

КОНТАКТНІ ТА ДОПОМІЖНІ ПРИБРОЇ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ КОЛОН



І. О. Мікульонок

**КОНТАКТНІ
ТА ДОПОМІЖНІ ПРИСТРОЇ
ТЕПЛОМАСООБМІННИХ
КОЛОН**

Монографія

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

УДК 66.021.3-027.28(048.83)
М59

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту технічної теплофізики
Національної академії наук України
(Протокол № 11 від 22.07.2022 р.)*

Рецензенти: *О. М. Гавва*, д-р техн. наук, проф.,
Національний університет харчових технологій

Д. М. Корінчук, д-р техн. наук, с.н.с.,
Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Є. І. Збиковський, д-р техн. наук, проф.,
А. А. Топоров, канд. техн. наук, доц.,
Донецький національний технічний університет

Мікульонок І. О.

М59 Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон [Текст] :
монографія / І. О. Мікульонок. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. –
192 с.: іл. – Бібліогр.: с. 186–190.

У монографії розглянуто конструкції контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон, розроблені науковцями й винахідниками провідних країн світу за останні два століття.

Запропоновано розгорнуті класифікації основних контактних і допоміжних пристроїв, які дають змогу розробникам нової техніки й технології окреслити шляхи можливої модернізації існуючих та створення принципово нових пристроїв. Докладно проаналізовано конструкції елементів насадок і контактних тарілок, пристроїв для розподілу й перерозподілу важкої й легкої фаз, переливних та опорних пристроїв контактних тарілок, а також вбудованих сепараторів колон.

Для фахівців хімічного апарато- та машинобудування і споріднених галузей виробництва, а також викладачів, аспірантів і студентів інженерно-хімічних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 66.021.3-027.28(048.83)

© І. О. Мікульонок, 2022
© КПІ ім. Ігоря Сікорського,
інженерно-хімічний факультет, 2022

ВСТУП

Одними з найбільш матеріало- та енергоємних видів ємнісного технологічного обладнання хімічних, нафтохімічних, нафтопереробних, харчових та споріднених з ними виробництв є тепломасообмінні колони.

Незважаючи на достатньо велику кількість типів тепломасообмінних колонних апаратів найбільшого поширення у світовій практиці набули насадкові й тарілчасті тепломасообмінні колони. Габарити таких колон за інших однакових умов визначаються типорозміром їхніх контактних і допоміжних конструктивних елементів, насамперед елементів насадки, контактних тарілок, пристроїв для введення важкої й легкої фаз у контактну частину колон, пристроїв для перерозподілення потоку важкої фази по висоті насадкових колон, сепараторів для відокремлення крапель важкої фази від потоку легкої фази, а також переливних пристроїв тарілчастих колон.

Насадкові й тарілчасті тепломасообмінні колони довели свою ефективність для розділення багатьох рідких і газоподібних систем. Вони успішно застосовуються у процесах ректифікації, абсорбції, десорбції та рідинної екстракції. Проте потреба в розділенні все нових і нових рідких і газоподібних систем спонукає науковців, конструкторів і винахідників до пошуку й нових контактних і допоміжних конструктивних елементів колонних апаратів, які б забезпечили не лише високу ефективність і необхідну продуктивність тепломасообмінного процесу, а і його низьку матеріало- та енергоємність.

У науково-технічній літературі наявні лише розрізнені відомості стосовно порушеного питання, до того ж відповідна інформація датована переважно другою половиною минулого століття, що істотно знижує її актуальність.

У монографії розглянуто численні розробки конструктивного оформлення насадкових і тарілчастих тепломасообмінних колон, які були запатентовані винахідниками провідних країн світу впродовж останніх двох століть і можуть стати у пригоді для розроблення інноваційних конструктивних елементів тепломасообмінного обладнання.

Дослідження було проведено автором на кафедрі хімічного, полімерного та силікатного машинобудування інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- а. с. – авторське свідоцтво СРСР на винахід;
- пат. – патент;
- ГОСТ – міждержавний стандарт;
- ДСТУ – державний стандарт України;
- ОСТ – галузевий стандарт СРСР, чинний на території України;
- CA – Канада;
- CH – Швейцарія;
- CN – Китай;
- DE – Німеччина;
- EP – Європейське патентне відомство;
- ES – Іспанія;
- FR – Франція;
- GB – Велика Британія;
- IL – Ізраїль;
- IT – Італія;
- JP – Японія;
- KR – Республіка Корея;
- PL – Польща;
- RO – Румунія;
- RU – Російська Федерація;
- SU – Союз Радянських Соціалістичних Республік;
- UA – Україна;
- US – Сполучені Штати Америки;
- WO – стосується міжнародної заявки, опублікованої відповідно до Договору про патентну кооперацію (англ. *Patent Cooperation Treaty, PCT*).

1. ПРОБЛЕМАТИКА РОЗРОБЛЕННЯ КОНТАКТНИХ І ДОПОМІЖНИХ ПРИСТРОЇВ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ КОЛОН

1.1. Дослідження ретроспективи конструктивно-технологічного оформлення контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон

Одним з найбільш поширених видів тепломасообмінного обладнання для розділення рідких і газових однорідних систем у різних галузях промисловості: хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених з ними впродовж багатьох майже ста років залишаються насадкові [1–4] і тарілчасті тепломасообмінні колони [2, 5, 6].

Поширеність насадкових колон пояснюється передусім відносною простотою їхніх контактних елементів – насадки, а також відсутністю необхідності в пристроях для розподілу оброблюваних фаз по кожному окремому елементу (на відміну, наприклад, від тарілчастих і плівкових тепломасообмінних апаратів).

Поширеність же тарілчастих колон обумовлена високою ефективністю роботи в широкому діапазоні навантажень по важкій і легкій фазах, а також універсальністю, яка дає змогу не лише проводити всі основні тепломасообмінні процеси, а й обробляти широкий клас найрізноманітніших однорідних систем.

Незважаючи на достатньо ґрунтовні дослідження конструктивно-технологічного оформлення контактної частини тепломасообмінних колон і передусім елементів насадки [7–10], а також контактних тарілок [11–13], натеper не лише відсутні розширені класифікації елементів насадки й контактних тарілок тепломасообмінних колон, а й їхня систематизація та критичний аналіз.

Безумовно, ефективність проведення процесу тепломасообміну в тепломасообмінних колонах передусім залежить від механізму взаємодії між собою оброблюваних фаз – важкої (рідини) і легкої (газу, пари, рідини чи їх комбінацій). При цьому на взаємодію фаз у тепломасообмінному апараті впливає не тільки типорозмір контактних елементів – насадки й тарілок, а й допоміжні пристрої апарата: пристрої для розподілу й перерозподілу рідини, пристрої для розподілу й перерозподілу легкої фази, переливні пристрої тарілок, опорні пристрої тарілок, а також вбудовані сепаратори для виділення крапель важкої фази з потоку легкої фази.

Якщо спроби критичного аналізу контактних елементів тепломасообмінних колон – насадки й тарілок – у науково-технічній літературі й були зроблені (передусім у другій половині минулого століття [1, 2, 11–13]), то уваги аналізу розвитку конструкцій допоміжних пристроїв майже не приділялося.

Це істотно ускладнює як обґрунтований вибір контактних елементів тепломасообмінних колон для проведення певного технологічного процесу, так і шляхи подальшого удосконалення вже існуючих і розробки принципово нових видів контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон.

1.2. Методика дослідження конструктивно-технологічного оформлення контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон

Дослідження стану питання й тенденцій розвитку конструктивно-технологічного оформлення контактних і допоміжних пристроїв масообмінних колон ґрунтуються передусім на критичному аналізі науково-технічних джерел інформації й передусім – патентної інформації провідних країн світу, оскільки саме в патентній документації – насамперед в описах до заявок на винаходи або до охоронних документів на об'єкти промислової власності – наводяться відомості про інноваційні розробки в тій чи іншій галузі техніки й технології [14, 15].

За допомогою методів аналізу/синтезу систематизовано як найбільш відомі контактні, так і менш відомі допоміжні пристрої тепломасообмінних колонних апаратів, які впливають на ефективність проведення тепломасообмінного процесу. Для кожного виду пристроїв розроблено ґрунтовну класифікацію, на основі кожної з яких докладно розглянуто найбільш цікаві конструкції. Надано критичну оцінку більшості наведених конструкцій, обговорено їхні переваги й недоліки. Перевагу надано джерелам інформації початку третього тисячоліття.

На основі аналітично-синтетичного перероблення класичних і сучасних джерел науково-технічної документації в процесі її аналізу й вилучення потрібної інформації, було здійснено оцінку, співставлення та узагальнення (синтез) і представлення інформації у вигляді, прийнятному для сприйняття її фахівцями для подальшого удосконалення вже існуючих і розробки нових інноваційних контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон.

2. КОНТАКТНІ ПРИСТРОЇ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ КОЛОН

2.1. Насадки тепломасообмінних колон

2.1.1. Формування класифікаційних ознак насадок тепломасообмінних колон

Одним із найбільш поширених видів тепломасообмінного обладнання впродовж тривалого часу залишаються насадкові апарати [1–4]. Це пояснюється передусім відносною простотою виготовлення елементів насадки, а також відсутністю необхідності в пристроях для розподілу оброблюваних фаз по кожному окремому елементу (на відміну, наприклад, від тарілчастих і плівкових тепломасообмінних апаратів [5, 6]).

Незважаючи на досить велику кількість існуючих насадок, активні пошуки нових конструкцій дешевих та ефективних насадкових елементів тривають і в останні роки [7–10]. Це можна пояснити такими перевагами насадок порівняно з іншими видами контактних елементів тепломасообмінного обладнання як досить низька вартість, можливість їх виготовлення з різних матеріалів, відносно висока уніфікація (можливість використання в апаратах різного діаметра), простота виготовлення та експлуатації, а також деякі інші.

Аналіз існуючих насадок дає змогу класифікувати їх за такими основними групами показників, які впливають на інтенсивність та ефективність проведення процесу тепломасообміну (рис. 2.1) [16–18]:

- способом укладання в контактній частині тепломасообмінного апарата;
- еквівалентним діаметром контактного елемента;
- формою елемента;
- конструкцією елемента;
- матеріалом елемента;
- густиною матеріалу елемента;
- щільністю розміщення елементів у контактній частині тепломасообмінного апарата;
- ступенем рухливості елементів.

2.1.2. Класифікація насадок

За способом укладання в тепломасообмінному апараті розрізняють не-впорядковану (нерегулярну) і впорядковану (регулярну) насадку. Невпорядковане завантаження використовують для насадок у будь-якому діапазоні розмірів, а впорядковане – найчастіше для великих і середніх елементів (еквівалентний діаметр не менше 50 мм). Переваги регулярної насадки – менший гідравлічний опір і велика допустима швидкість легкої фази, а основні недоліки – відносна складність операцій завантаження й вивантаження (особливо для великогабаритних апаратів) і нерівномірність потоків фаз по перерізу контактної частини (навіть до виникнення режиму байпасування фаз поблизу стінок корпуса внаслідок зниженого гідравлічного опору [19]).

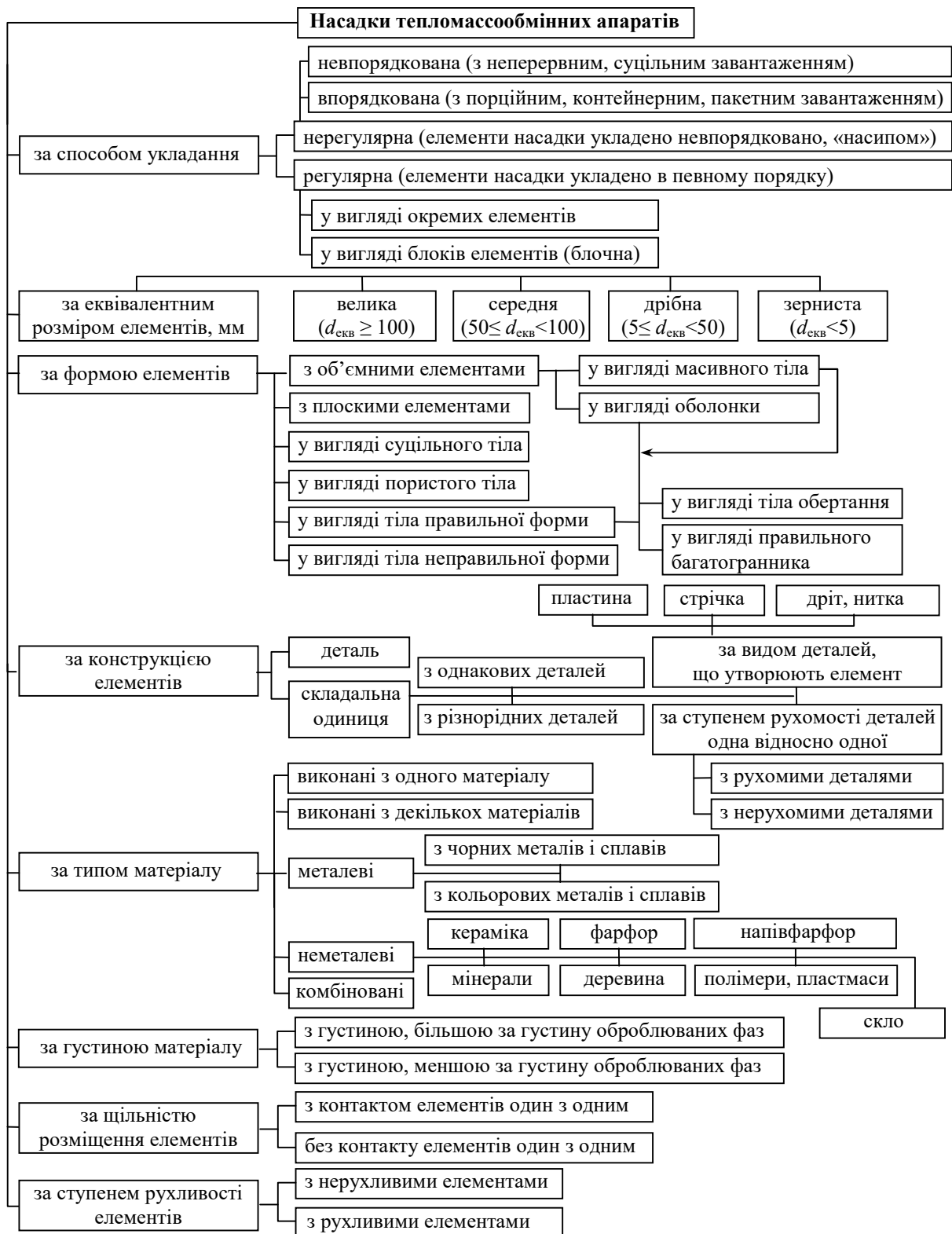


Рис. 2.1. Схема класифікації насадок тепломасообмінних апаратів [16, 17]

Упродовж останніх десятиліть запропоновано багато нових видів регулярної насадки, виконаної, наприклад, у вигляді сукупності скріплених між собою трубок, розташованих під кутом до подовжньої осі утвореного ними

циліндра, що розміщується в контактній частині тепломасообмінного апарата (пат. RU2397806C1, рис. 2.2, *a*).

Також запропоновано насадку у вигляді пакета скручених по довжині полімерних елементів хрестоподібного поперечного перерізу (пат. № RU2350877C1, рис. 2.2, *б*) і сукупності сітчастих вертикальних циліндрів з коаксіально розташованими стрижнями та змонтованими на них вільнообертливими крильчатками (пат. № RU2335724C1; рис.1.2, *в*).

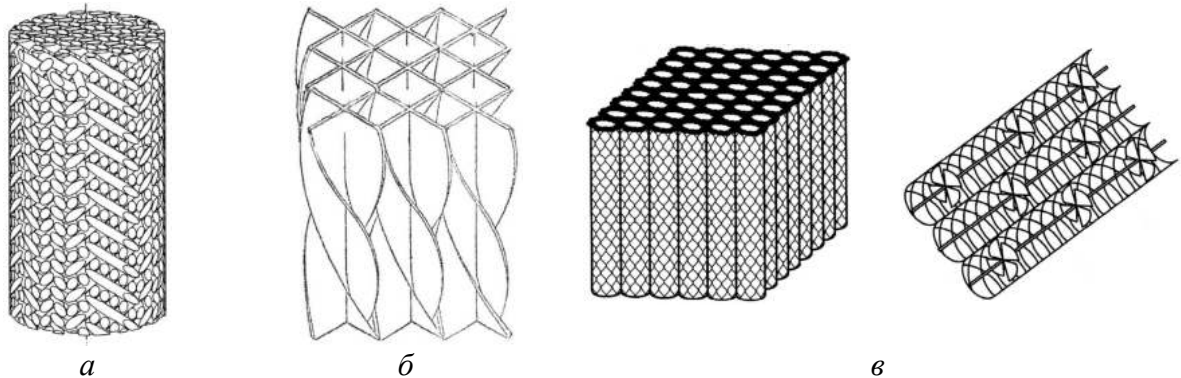


Рис. 2.2. Регулярна насадка згідно з пат. № RU2397806C1 (*a*), № RU2350877C1 (*б*) і № RU2335724C1 (*в*)

За еквівалентним діаметром елементи насадок поділяють на великі, середні, дрібні й зернисті (див. рис. 2.1). Зі зменшенням розміру елемента збільшується питома поверхня насадки, але одночасно зменшується й вільний об'єм, а отже й зростає гідравлічний опір. Тому дрібну й зернисту насадку часто застосовують для проведення тепломасообмінних процесів за підвищеного тиску, коли втрата напору в апараті незначна порівняно з робочим тиском.

Піж час вибору розміру насадки необхідно дотримуватися виконання співвідношення еквівалентних діаметрів апарата та елементів насадки, яке має бути не менше десяти [20].

За формою елемента розрізняють найпоширеніші тривимірні (об'ємні), а також двовимірні (плоскі) насадки (рис. 2.1, 1.3). Об'ємні при цьому можуть представляти собою тіла неправильної форми (зазвичай кускова насадка) або бути виконані у вигляді тіл обертання та багатогранників (як суцільних, так і порожнистих – у вигляді оболонки). При цьому насадки правильної форми укладаються в апаратах як неупорядковано, так і упорядковано.

Упродовж багатьох десятиліть досить успішно використовується насадка у вигляді короткої циліндричної труби – кільця Рашига, надалі багаторазово вдосконалені. Так, запропоновано трубчасту насадку з подовжніми прямолинійними та гвинтовими перегородками й ребрами (як внутрішніми, так і зовнішніми), отворами в стінці насадки, відігнутими всередину й назовні пелюстками, подовжніми та поперечними виступами, пазами та рифлями різних форм і розмірів і т. д. (рис. 2.4). Проте наявність рифлів не стільки збільшує питому поверхню та інтенсифікує перемішування оброблюваних фаз в апараті

(пат. № UA4980U), скільки призводить до ускладнення конструкції елементів насадки та збільшення її гідравлічного опору. При цьому насадки, наведені на рис. 2.4, б, в, повністю виготовляються з листового матеріалу, що суттєво знижує їхню вартість.



Рис. 2.3. Класифікація насадок за геометричною формою

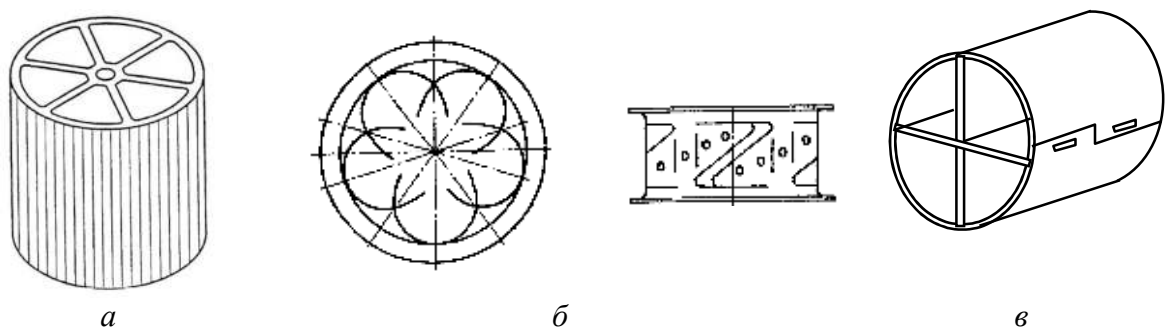


Рис. 2.4. Конструкції трубчастої насадки: а – пат. № US5730916А; б – кільце Назіма (пат. № RU2027504С1); в – пат. № UA28581U

На рис. 2.5 наведено приклади технологічних насадок, що виготовляються штампуванням з тонкостінних заготовок: листової (рис. 2.5, а, б, в), трубчастої (рис. 2.5, г) і сферичної (рис. 2.5, д).

Аналогічні удосконалення стосуються й елементів у вигляді оболонки-багатогранників (пат. № UA1321U, UA1675U, UA1724U, UA2229U, UA3069U та UA12700U).

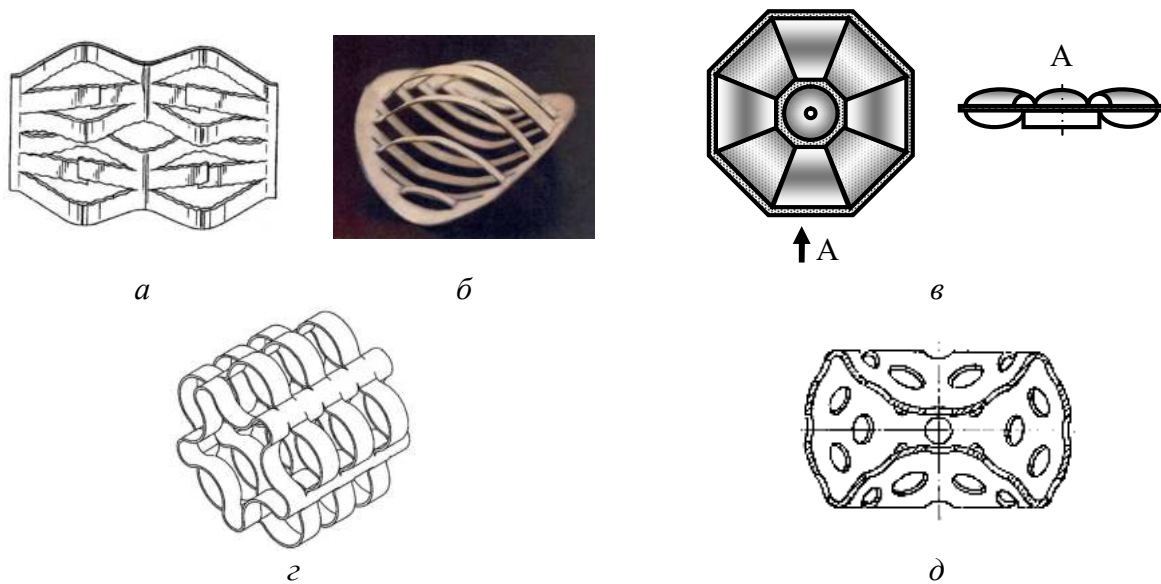


Рис. 2.5. Конструкції насадок, виготовлених з тонколистової, трубчастої та сферичної заготовок: *a* – пат. № US5543088A; *б* – пат. № RU2398627C1; *в* – пат. № UA25416U; *г* – пат. № RU2290992C1; *д* – а. с. № SU1064962A1

Елемент виконано у вигляді каркаса, що має форму правильного багатогранника, зокрема додекаедра (пат. № KR20200044159A, заявка № US2018/093207A1; рис. 2.6).

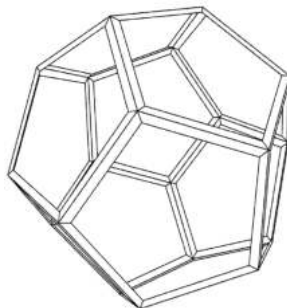


Рис. 2.6. Елемент у вигляді каркаса, що має форму додекаедра (пат. № KR20200044159A, заявка № US2018/093207A1)

В удосконаленому елементі зі збільшеною питомою поверхнею до ребер каркаса приєднано спрямовані всередину його пластини (пат. № UA130524U).

Елемент у вигляді оболонки з двома паралельно розташованими відкритими основами та плоскими ділянками на її зовнішній поверхні, при цьому основи оболонки виконано у вигляді правильних шестикутників, плоскі ділянки – у вигляді рівносторонніх або рівнобедрених трикутників, а основа кожного з трикутників з боку основ оболонки збігається зі стороною ребра відповідної основи, а всі трикутники утворюють поверхню, близьку до прямого циліндра (пат. № UA132065U; рис. 2.7). Також між основами оболонка може мати непарну кількість шарів плоских ділянок.

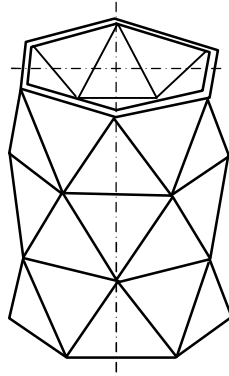


Рис. 2.7. Елемент у вигляді оболонки-багатогранника (пат. № UA132065U)

Елемент, виготовлений з листового матеріалу у вигляді шестигранної правильної прямої призматичної оболонки з відкритими основами на бічних гранях, містить надрізані та відігнуті всередину трикутні пелюстки (пат. № UA1321U). При цьому на сусідніх гранях пелюстки рознесено по висоті оболонки, що виключає проскакування оброблюваних фаз (проходження фаз без їх взаємодії одна з одною) за умови незначного збільшення гідравлічного опору. Удосконалений аналогічний елемент запропоновано в пат. № UA12700U.

Елемент аналогічної форми, але із закріпленою по висоті оболонки похилою перегородкою у вигляді прямокутника або рівнобедреного трикутника, вершини яких збігаються з вершинами оболонки (пат. № UA1675U). Конструкція елемента також виключає проскакування та утворення застійних зон оброблюваних фаз. При цьому в пат. № UA1724U на зовнішній поверхні граней оболонки виконано виступи, що забезпечують гарантований проміжок із сусідніми елементами насадки, а отже й збільшення поверхні контакту фаз порівняно з щільно прилеглими один до одного елементами без зазначених виступів.

Елемент аналогічної форми із закріпленими по висоті оболонки двома протилежно спрямованими похилими перегородками у вигляді зігнутих по довжині рівнобедрених трикутників (пат. № UA3069U).

Елемент насадки тепломасообмінного апарата, що має форму прямої правильної шестикутної порожнистої призми з відкритими основами, при цьому він має три відокремлені між собою бічні грані, з'єднані між собою подовжніми ребрами, розташованими всередині зазначеної порожнистої призми (пат. № UA124348C2, UA140362U; рис. 2.8). Також бічні грані елемента можуть бути з'єднано між собою подовжніми ребрами через оболонку у формі прямої правильної багатокутної, наприклад, трикутної або шестикутної, порожнистої призми з відкритими основами. Конструкція забезпечує участь у процесі тепломасообміну зовнішніх поверхонь елементів за умови їх щільного впорядкованого укладання в контактній частині тепломасообмінного апарата, що істотно збільшує поверхню контакту фаз та підвищує ефективність процесу тепломасообміну.

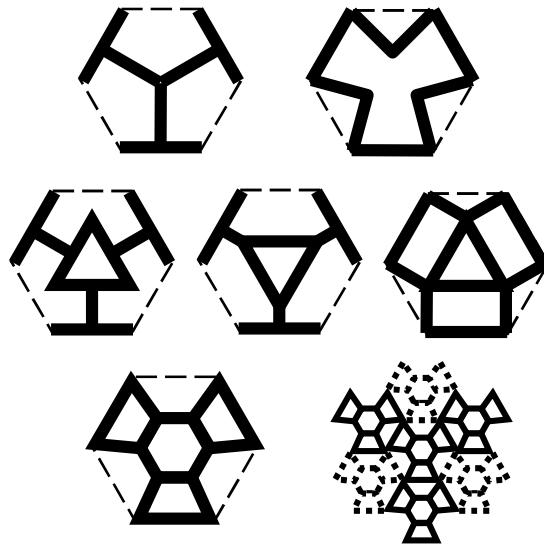


Рис. 2.8. Вигляд з торця регулярної насадки згідно з пат. № UA124348C2 та UA140362U

В удосконаленому елементі сусідні бічні грані з'єднано між собою рознесеними по висоті призми щонайменше двома поперечними перемичками (пат. № UA150776U). При цьому бічні грані можуть бути з'єднані між собою подовжніми перегородками зі спільним бічним ребром (рис. 2.9).

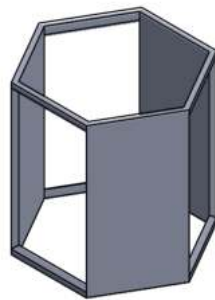


Рис. 2.9. Загальний вигляд елемента насадки згідно з пат. № UA150776U

Елемент у вигляді куба з відкритими основами та трикутними поперечними пелюстками, основи яких збігаються з ребрами основ куба (пат. № UA2229U). На кожній основі пелюстки виконано парними та розташованими на протилежних ребрах основи, а пари пелюсток на різних основах розташовано під прямим кутом один відносно одного, що виключає проскакування оброблюваних фаз крізь елемент. Елемент виготовляється з однієї листової заготовки, що є розгорткою оболонки з пелюстками.

У пат. № UA150573U запропоновано елемент насадки, що має форму правильної шестикутної призми з подовжніми циліндричними каналами та подовжніми циліндричними пазами на її бічних гранях, радіус яких дорівнює радіусу каналів, при цьому центри каналів і пазів розташовано по вершинах правильних трикутників, а центри каналів і пазів розташовано з кроком 1,2–1,8 діаметра каналів (рис. 2.10). У найприйнятніших прикладах виконання

елемента він має сім каналів, а також форму похилої правильної шестикутної призми. Технічне рішення забезпечує розвинену гідродинаміку оброблюваних фаз як всередині елементів насадки, так і в проміжках між ними.

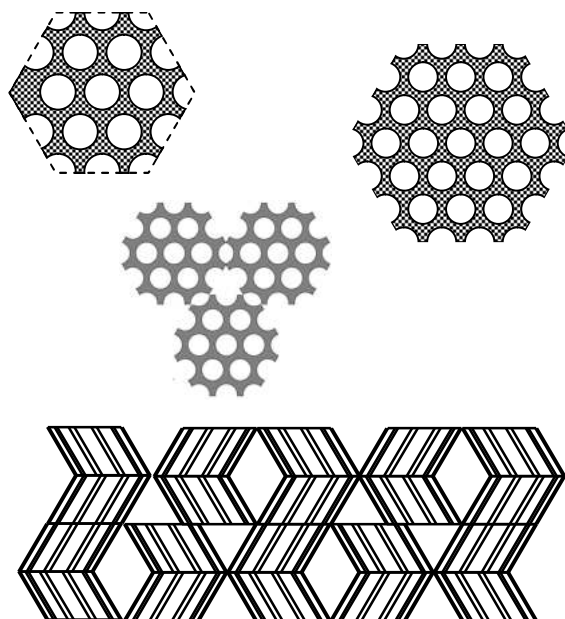


Рис. 2.10. Елемент насадки у вигляді правильної косої шестикутної призми (пат. № UA150573U)

При цьому в пат. № UA150574U запропоновано спосіб укладання регулярної насадки із зазначених елементів у вигляді правильної шестикутної призми, за якого після укладання щонайменше одного горизонтального шару елементів насадки між ними розміщують подовжні вставки, кожна з яких у поперечному перерізі має форму правильної трипроменевої зірки. При цьому між елементами насадки розміщують подовжні вставки, кінці променів яких взаємодіють зі стінками пазів сусідніх елементів насадки, або подовжні вставки, кінці променів яких взаємодіють з бічними гранями сусідніх елементів насадки (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Спосіб укладання регулярної насадки з елементів у вигляді правильної шестикутної призми (пат. № UA150574U)

Технологічний у виготовленні елемент регулярної насадки у вигляді сімох правильних прямих шестикутних призм зі спільними бічними гранями та внутрішніми подовжніми перегородками (пат. № CN210646430U; рис. 2.12).

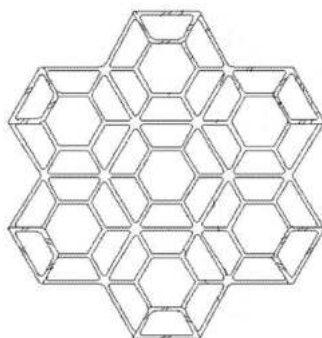


Рис. 2.12. Елемент регулярної насадки згідно з пат. № CN210646430U

Цікавими є конструкції насадки, виконаної у вигляді сітчастого тетраедра (рис. 2.13). Виготовити їх легко з металевого або полімерного сітчастого рукава зварюванням під кутом 90° протилежних торців відкритої заготовки-оболонки.

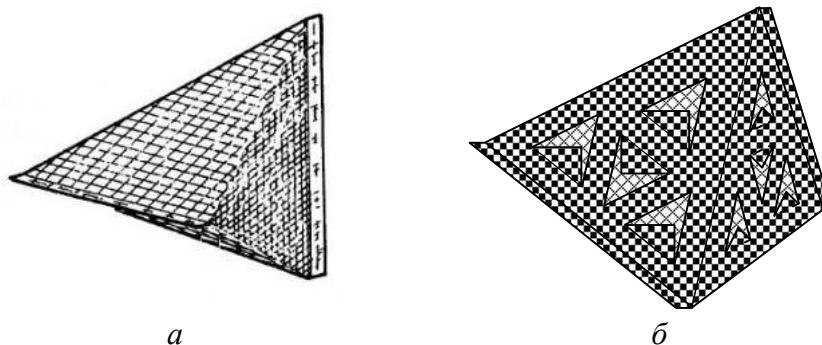


Рис. 2.13. Конструкція насадки у вигляді сітчастого тетраедра:
a – пат. № US6251227B1; *б* – пат. № UA25414U

Поширення отримали й елементи у вигляді поверхонь другого порядку: еліпсоїда, однополого гіперболоїду та гіперболічного параболоїду (рис. 2.14).

Застосовується й насадка у вигляді тора та його елементів: як у вигляді суцільних тіл (сідла «Інталокс»), так і у вигляді перфорованих елементів (пат. № UA2555U і UA2556U).

Елементи у вигляді дещо трансформованого сектора внутрішньої половини тора з розвиненою поверхнею (пат. № CN204865850U, CN210303689U, заявка № US2014/084496A1). Наприклад, в сидлоподібному елементі згідно з пат. № CN210303689U замість одного традиційного подовжнього криволінійного ребра запропоновано виконувати два або три ребра, що збільшує його питому поверхню та жорсткість (рис. 2.15).

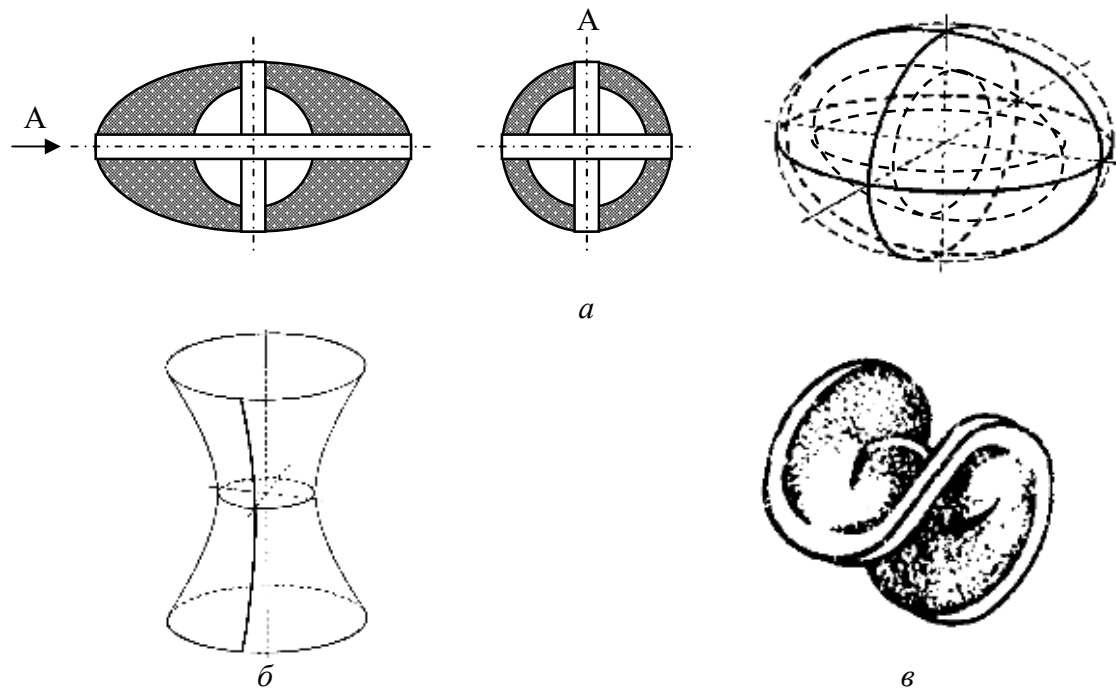


Рис. 2.14. Конструкція насадок у вигляді поверхонь 2-го порядку: *a* – еліпсоїда (пат. № UA42587U); *б* – однополого гіперболоїда (пат. № UA2396U та UA6504U); *в* – гіперболічного параболоїда (сідла Берля [21])

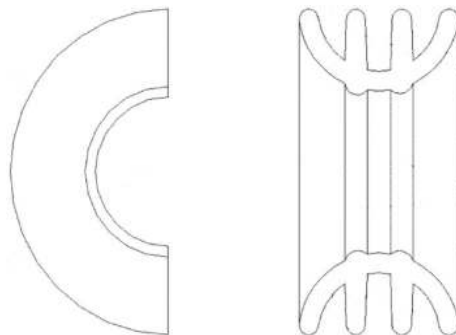


Рис. 2.15. Сідлоподібний елемент насадки згідно з пат. № CN210303689U

Модуль регулярної насадки містить щонайменше одне горизонтальне перфороване полотно, закріплені на ньому своїми кінцевими ділянками вертикальні подовжні елементи з розміщеними на них насадковими тілами (пат. № UA140146U). Кожне з насадкових тіл виконано у вигляді фрагмента торової або тороподібної опуклої оболонки з паралельними відкритими основами, при цьому сусідні насадкові тіла на кожному вертикальному подовжньому елементі контактують одне з одним своїми основами, крок розташування отворів перфорації кожного з горизонтальних перфорованих полотен менше за еквівалентний діаметр основи кожного з насадкових тіл, а розмір зазначених отворів перфорації достатній для закріплення в них кінцевих ділянок вертикальних подовжніх елементів (рис. 2.16). Технічне рішення забезпечує регулювання форми й розмірів каналів модуля (як всередині насадкових тіл, так і між ними), а отже й гідродинаміки оброблюваних фаз як всередині насадкових тіл, так і в проміжках між ними (напрямку та швидкості

руху оброблюваних фаз, а також ступеня та інтенсивності дроблення потоків фаз на мікропотоки та злиття їх між собою), що розширює технологічні можливості модуля та тепломасообмінного апарата в цілому.

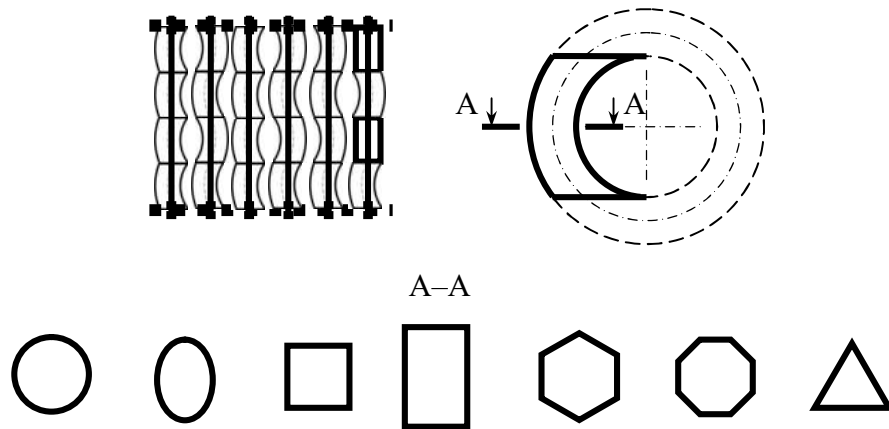


Рис. 2.16. Модуль регулярної насадки та її елемент (пат. № UA140146U)

Незалежно від форми елемента, матеріал, з якого його виготовлено, може бути суцільним і пористим. В останньому разі дещо збільшується питома поверхня і змочуваність елемента, проте зростає його схильність до забруднення.

Елемент насадки у вигляді гелікоїда або подвійного гелікоїда (заявка № US2020/171437A1; рис. 2.17).

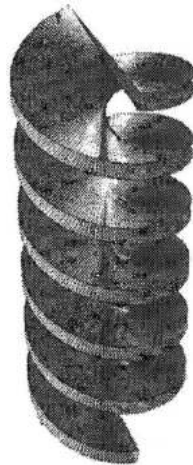


Рис. 2.17. Елемент насадки у вигляді гелікоїда (заявка № US2020/171437A1)

За конструкцією елементи насадки можуть представляти собою як окремі деталі, так і складальні одиниці, що складаються з декількох деталей: однотипних і різнорідних, рухливих і нерухливих один відносно іншого. Виконання елементів з декількох деталей збільшує питому поверхню насадки, а також у разі відносної рухливості деталей сприяє додатковому диспергуванню й перемішуванню фаз (наприклад, а. с. № SU1678437A1 і SU1703171A1, пат. № UA6504U).

Елемент насадки у вигляді деталі в формі тонкостінної полімерної сфери з наскрізними отворами (пат. № RU199476U1).

Конструкції насадок, виконані з дротяного або ниткового матеріалу, досить прості, проте схильні до ущільнення і взаємного переплетення, що ускладнює їх відділення один від одного (рис. 2.18).

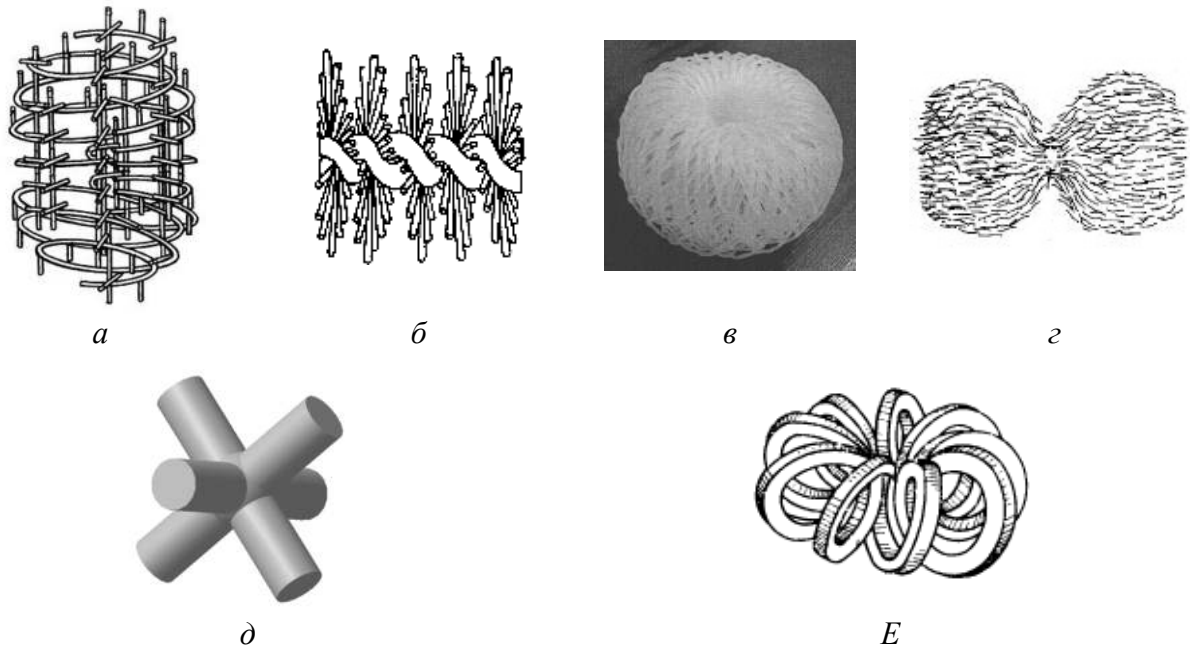


Рис. 2.18. Конструкція насадок з дротяного (ниткового) матеріалу:
a – пат. № US5714097A; *б* – а. с. № SU1669533A1; *в* – пат. № RU2289472C1;
г – пат. № US5587239A; *д* – пат. № UA23562U; *e* – розетка Теллера [21]

Цікавим є елемент насадки у вигляді складальної одиниці, що містить жорсткий скелетний сферичний каркас з приміщеним всередині нього моно- або поліволоконистим пучком (пат. № US6631890B1).

Елемент насадки у вигляді складальної одиниці, що виконано у вигляді сфери з двома діаметрально видаленими сегментами, а також розміщеною в ній на поперечній осі вільнообертовою крильчаткою (пат. № RU135532U1; рис. 2.19).

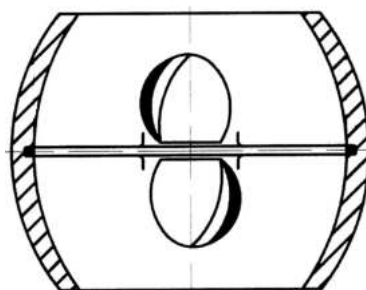


Рис. 2.19. Елемент насадки згідно з пат. № RU135532U1

За матеріалом елементи поділяють на металеві, неметалеві та комбіновані. Останні можуть бути виконані у вигляді складальних одиниць або у вигляді окремої деталі з покриттям з іншого матеріалу, наприклад зі звичайної вуглецевої сталі з антикорозійним покриттям (а. с. № SU1761250A1).

Продовжують удосконалюватися насадки й з керамічних матеріалів [22], при цьому елементи пропонуються як з криволінійною, так і з прямолінійною поверхнею (рис. 2.20).

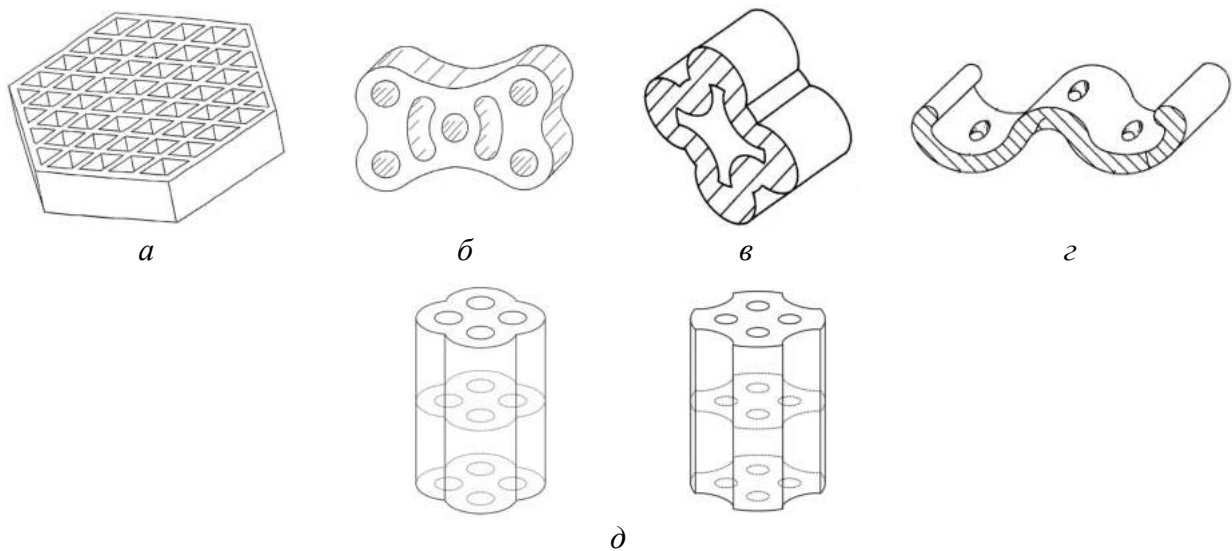


Рис. 2.20. Конструкція насадок з керамічних матеріалів: *a* – пат. № RU2288778C2; *б* – пат. № RU2281156C2; *в* – заявка № EP0579234A1; *г* – пат. № US5747143A; *д* – заявки № WO2020/108872A1 та EP3659703A1

Широкі можливості розробникам надають полімерні матеріали, технологічні властивості яких дають змогу виготовляти насадки різноманітних форми й розмірів (рис. 2.21).

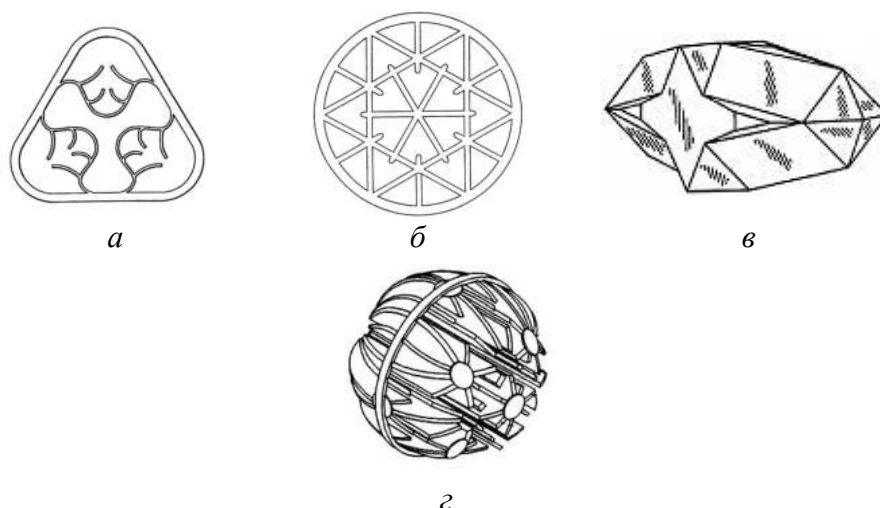


Рис. 2.21. Конструкція насадок з полімерних матеріалів: *a* – пат. UA43451C2, заявка № WO98/04343; *б* – пат. № RU2207902C2; *в* – заявка № WO96/40432A1; *г* – пат. № US5690819A

За густиною матеріалу елементи поділяють залежно від співвідношення густин матеріалу насадки та оброблюваних фаз, передусім важкої фази.

Якщо густина матеріалу насадки менше від густини оброблюваних фаз, то елементи насадки за умови їх вільного розміщення в контактній зоні апарата під час його роботи починають рухатися, що сприяє інтенсивному перемішуванню фаз [2].

Останній приклад показує також ще дві можливі групи насадок: насадки, елементи якої розрізняються за щільністю розміщення елементів у контактній зоні апарата (як з контактом елементів один з одним, так і без зазначеного контакту), а також за ступенем рухливості елементів один відносно одного.

У разі застосування насадки з рухливими елементами крім інтенсифікації диспергування й перемішування фаз також досягається й можливість ефективного оброблення забруднених середовищ, оскільки взаємне зіткнення елементів насадки сприяє їх самоочищенню від відкладень різної природи.

За характером руху насадкових елементів тепломасообмінні колони можна поділити на апарати:

- із завислою насадкою [2];
- із завислим компонентом насадки; як приклад можна навести насадку, що представляє собою сукупність ситчастих сфер з розміщеними всередині них кульками, виконаними з матеріалу з густиною, відмінною від густини оброблюваних фаз (а. с. № SU1782642A1);
- з фонтануючою насадкою [2];
- з циркулюючою насадкою [2];
- з обертовою насадкою (наприклад, у вигляді крильчаток, що обертаються під дією висхідного потоку легкої фази та змонтованих на вертикальних стрижнях безпосередньо (а. с. № SU1678437A1) або в напрямному патрубку (а. с. № SU174188A) ;
- з комбінованим (складним) рухом насадки [2].

Докладно рухливі елементи насадки, а також елементи насадки з рухливими елементами буде розглянуто в п. 1.1.5.

Як бачимо, навіть виходячи із запропонованої класифікації, а не конкретних варіантів виконання насадок, можна зробити висновок про їх різноманітність, що дає змогу їм успішно конкурувати з іншими типами контактних пристроїв тепломасообмінних апаратів. Цьому сприяють також і сучасні досягнення матеріалознавства та технології, які можуть оперативнo реагувати на необхідність виготовлення насадок, призначених для оброблення найрізноманітніших речовин та їхніх сумішей.

2.1.3. Кільцеві насадки

Одними з найпростіших, але й одночасно достатньо ефективних контактних елементів насадкових тепломасобмінних апаратів є кільцеві насадки [16, 17, 19, 23, 24] і насамперед запропоновані понад століття тому німецьким хіміком-технологом Фрідріхом Августом Рашигом (також іменованим Фріцем Рашигом) (Raschig Fritz Raschig), 1863–1928) металеві або керамічні кільцеві контактні елементи, названі на його честь «кільцями Рашига» (Raschig rings), для заповнення ними колонних апаратів з метою фракційної дистиляції органічних речовин [25].

Традиційні кільця Рашига представляють собою прямий круговий кільцевий циліндр, зовнішній діаметр якого дорівнює його висоті (прямий – з круглими основами, перпендикулярними його подовжній осі; рис. 2.22).



Рис. 2.22. Керамічні кільця Рашига

Згодом цю насадку було вдосконалено. Так з'явилися рифлені кільця, кільця з подовжніми перегородками й кільця Палля, які були дещо складніші за кільця Рашига, але за однакових габаритів відрізнялися від них більшою питомою поверхнею й більш розвиненою гідродинамікою оброблюваних фаз.

Кільця Рашига, як і сідла Берля, належать до першого покоління насадок, активне використання яких тривало впродовж 1895–1950 рр. Для другого покоління насадок (кінець 1950-х – початок 1970-х рр.) характерно використання кілець Палля й сідел Інталокс, для третього (кінець 1970-х – 1990-і рр.) – кілець CMR, Nutter та IMTR. До четвертого покоління насадок, що почалося з 1990-х рр., належать суперкільця Рашига (Raschig super-rings) [26].

Однак «кільця» останніх двох поколінь насадки кільцями в прямому розумінні цього слова не є, оскільки представляють собою насадки, виготовлені штампуванням з переважно прямокутної металевої або полімерної (пластмасової) заготовки з численними надрізнаними та вигнутими фрагментами. Тому надалі будуть розглянуто лише дійсно кільцеві насадки, основу яких складає замкнена оболонка з двома відкритими основами (за винятком оболонок-багатогранників з плоскими або майже плоскими гранями, наприклад, згідно із заявками № WO2005/021152A1 і WO03/07416, пат. № UA1321U, UA1675U, UA1724U, UA2229U, UA3069U, UA12700U та RU2456070C2).

Незважаючи на широке поширення зазначених типів кільцевих насадок, розробниками нової техніки та технології пропонуються все нові конструкції кільцевих насадок з різних матеріалів [16, 17].

На рис. 2.23 наведено класифікацію кільцевих насадок за такими основними групами показників:

- способом укладання в контактній частині апарата;
- еквівалентним діаметром;
- матеріалом;
- зовнішньою формою;
- конструкцією;
- ступенем суцільності оболонки;
- ступенем рухливості конструктивних компонентів насадки один відносно одного;
- можливістю регулювання питомої поверхні;
- можливістю регулювання насипної густини;
- реалізованою гідродинамікою оброблюваних фаз;
- можливістю підтримки заданої температури.

За способом укладання в апараті розрізняють неупорядковану (нерегулярну) і упорядковану (регулярну) насадку.

Як уже згадувалося в п. 1.1.1, неупорядковане завантаження використовують для насадок довільного розміру, а упорядковане – найчастіше для великих і середніх елементів насадки (еквівалентний діаметр не менше 50 мм). Переваги регулярної насадки – менший гідравлічний опір і велика допустима швидкість легкої фази, а основні недоліки – відносна складність операцій завантаження й вивантаження (особливо для великогабаритних апаратів) і нерівномірність потоків фаз по перерізу контактної частини (навіть до виникнення режиму байпасування фаз поблизу стінок корпусу внаслідок зниженого гідравлічного опору [19]).

Традиційні кільця Рашига (залежно від розміру) і більшість інших кільцевих насадок у багатьох випадках можна використовувати як неупорядковану, так і упорядковану насадку. У той же час розроблені конструкції кільцевих насадок, призначені тільки як упорядкована насадка (пат. № UA6504U та UA36110U).

Для забезпечення певної відстані між сусідніми в межах кожного шару елементами упорядкованої насадки, що у свою чергу сприяє вирівнюванню режимів потоків фаз всередині та ззовні елементів насадки, запропоновано спеціальний пристрій у вигляді m-подібної скоби (пат. № UA75745U; рис. 2.24).

З цією самою метою на одному з торців оболонки елемента виконують виступи й западини, що чергуються між собою та забезпечують фіксацію елемента насадки відносно зміщених елементів сусідніх шарів насадки (пат. № UA42586U).

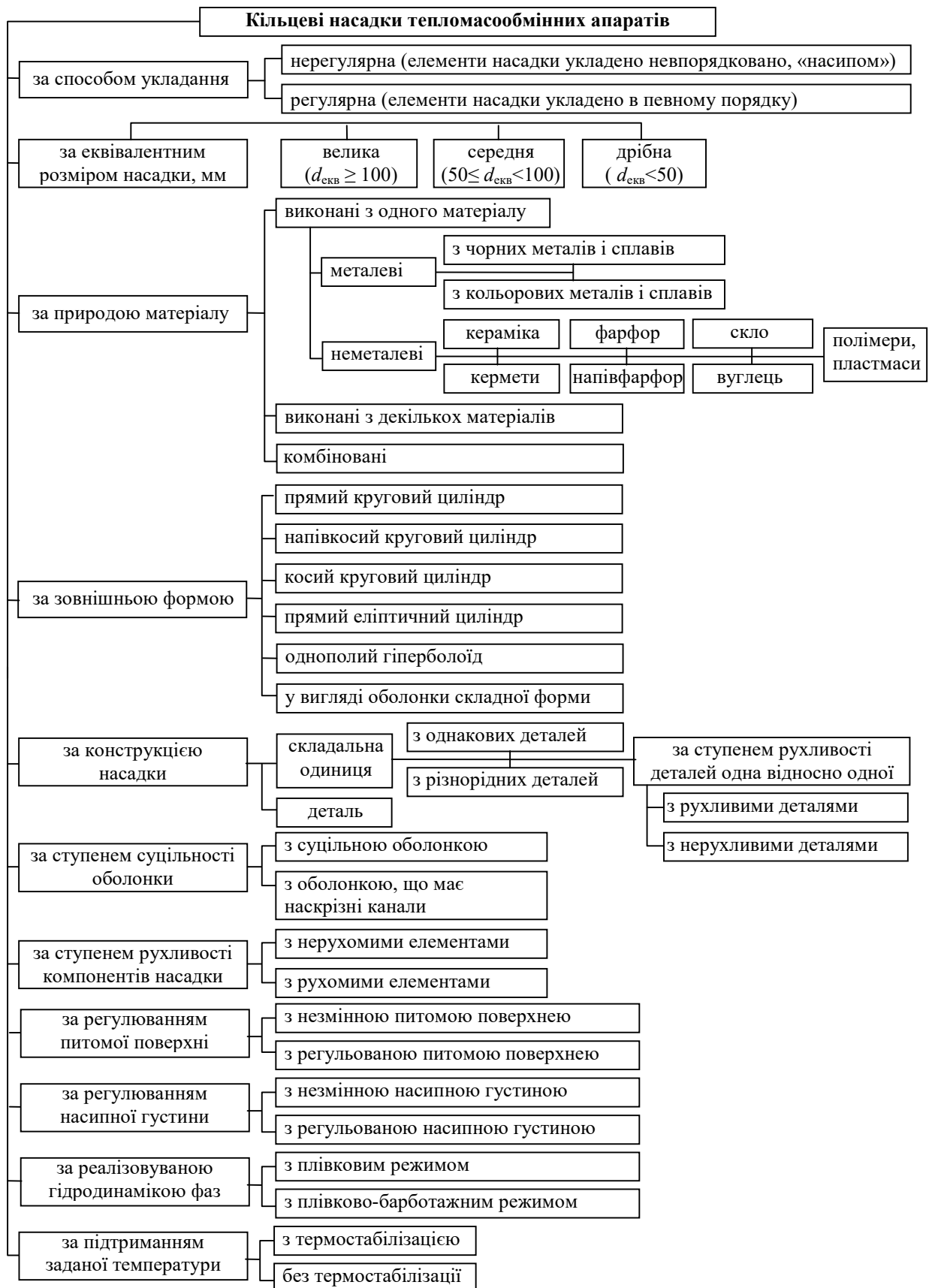


Рис. 2.23. Класифікація кільцевих насадок тепломасообмінних апаратів [25]

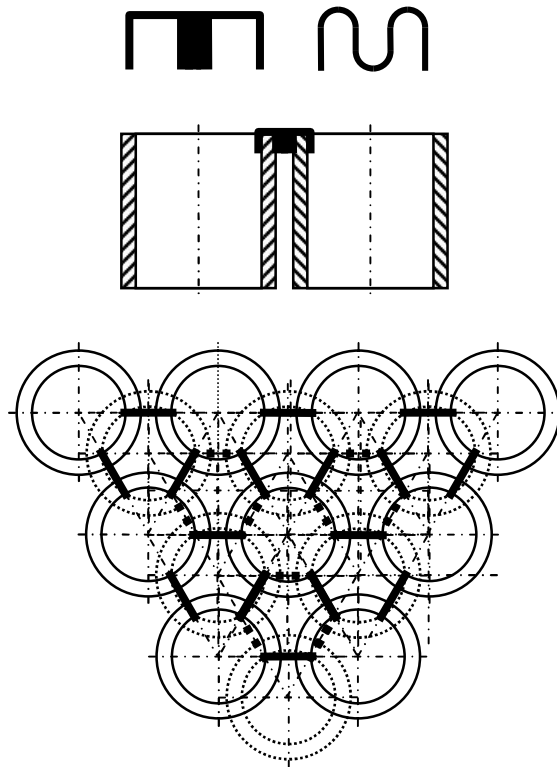


Рис. 2.24. Пристрій для дистанційного розташування кілець Рашига та його застосування (пат. № UA75745U)

Для забезпечення потрібної відстані між сусідніми в межах кожного шару елементами впорядкованої насадки також запропоновано ще декілька пристроїв (пат. № UA107206U, UA107208U та UA107209U; рис. 2.25).

Аналогічно елементу згідно з пат. № UA107206U розроблено елемент для дистанційного укладання кільцевих насадкових феромагнітних тіл у тепломасообмінному апараті, але при цьому кожний з фіксаторів виготовлено у вигляді постійного магніту, наприклад, з полімерного композиційного матеріалу (пат. № UA150593U). У цьому разі дуга кола кожного з фіксаторів може мати центральний кут α менше 180° , що знижує матеріалоемність як кожного з фіксаторів, так і елемента в цілому.

Під час вибору розміру насадки для забезпечення ефективної й рівномірної гідродинаміки фаз у контактній зоні апарата необхідно дотримуватися певного співвідношення еквівалентних діаметрів апарата та елементів насадки, яке має бути не менше десяти [24].

За еквівалентним діаметром елементи насадок поділяють на великі (еквівалентний діаметр не менше 100 мм), середні (від 50 до 100 мм) і малі (менше 50 мм). Зі зменшенням розміру елементів насадки збільшується питома поверхня насадки, але водночас зменшується вільний об'єм, а отже і зростає гідравлічний опір. Тому малу насадку часто застосовують лише за умови підвищеного тиску, коли втрата напору в апараті незначна порівняно з робочим тиском.

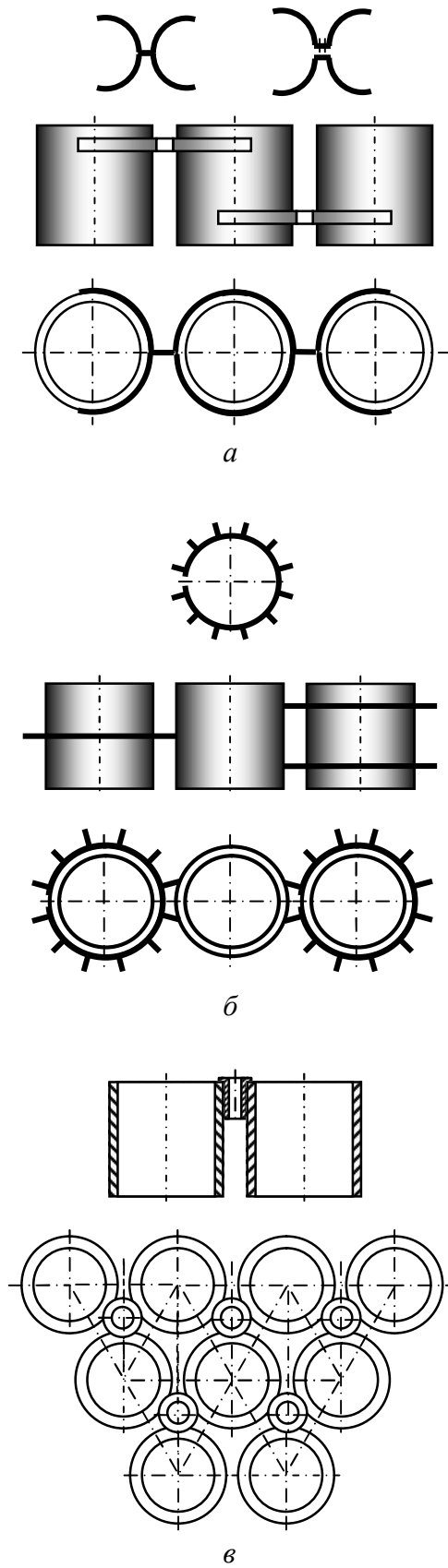


Рис. 2.25. Пристрої для дистанційного розташування кілець Рашига та його застосування:
a – пат. № UA107206U; *б* – пат. № UA107208U; *в* – пат. № UA107209U

За матеріалом кільцеві насадки поділяють на виготовлені з кераміки, фарфору, напівфарфору, скла, вуглецю, керметів (кераміко-металевих матеріалів), металів та їхніх сплавів, полімерів, а також пластмас та інших композиційних матеріалів [16, 17, 27, 28].

Так, разом з традиційними керамічними й металевими насадками останніми роками набувають поширення полімерна й пластмасова насадка, яка характеризується високими експлуатаційними властивостями й виготовляється переважно з поліолефінів (у тому числі поліпропілену, наповненого скловолоконом), фторполімерів, поліефірсульфону й поліфеніленсульфіду [29–31]. Завдяки високим технологічним властивостям полімерних матеріалів з них можна виготовляти насадки найрізноманітнішої форми, наприклад литтям під тиском, екструзією або 3D-друком.

Також запропоновано вуглецеву кільцеву насадку із зовнішнім діаметром від 13 до 76 мм, що відрізняється високою міцністю, тепловою та хімічною стійкістю, великим терміном служби, а також низькими насипною густиною (від 333 до 602 кг/м³) і коефіцієнтом теплового розширення [32].

Матеріал, з якого виготовлено насадку, може бути суцільним і пористим. В останньому разі збільшується його питома поверхня та змочуваність, проте підвищується схильність до забруднення.

Також розроблено насадки, повністю або частково виготовлені з кількох матеріалів – однакової чи різної природи. При цьому їх може бути виконано у вигляді складальних одиниць або у вигляді окремої деталі з покриттям з іншого матеріалу, наприклад з вуглецевої сталі з антикорозійним покриттям.

За формою елемента розрізняють найбільш поширені насадки у вигляді прямого кругового циліндра (наприклад, кільця Рашига й Палля), напівкосоного й косоного кругових циліндрів (з однією або обома основами, виконаними під гострим кутом до подовжньої осі елемента, відповідно; пат. № UA110863U та CN111318160A), прямого еліптичного циліндра (у тому числі й скрученого по довжині – пат. № UA1738U), однополого гіперболоїда (пат. України № UA2396U), а також у вигляді оболонки складної форми (пат. № RU107963U1, № UA2449U та UA8371U).

За конструкцією елементи насадки можуть представляти собою як окремі деталі, так і складальні одиниці, що складаються з декількох рухливих або нерухливих одна відносно одної деталей. Виконання елементів з декількох деталей зазвичай спрямоване на збільшення питомої поверхні насадки і зміну гідродинаміки оброблюваних фаз (пат. № RU2465039C1, RU2517747C1, RU2524971C1, UA97216U, UA97518U, UA99625U, UA99875U та UA105171U).

Елемент насадки виконаний у вигляді деталі – циліндричної втулки, на внутрішній та/або зовнішній поверхні якої рівномірно по колу розташовано подовжні прямолінійні ребра, висота яких достатня для розміщення елемента

зовні та/або всередині іншого елемента насадки, також виконаного у вигляді циліндричної втулки (пат. № UA149368U; рис. 2.26). Технічне рішення збільшує питому поверхню елемента насадки, а також забезпечує аналогічні гідродинамічні умови усередині кожного елемента насадки та зовні нього, що підвищує ефективність проведення процесу тепломасообміну.

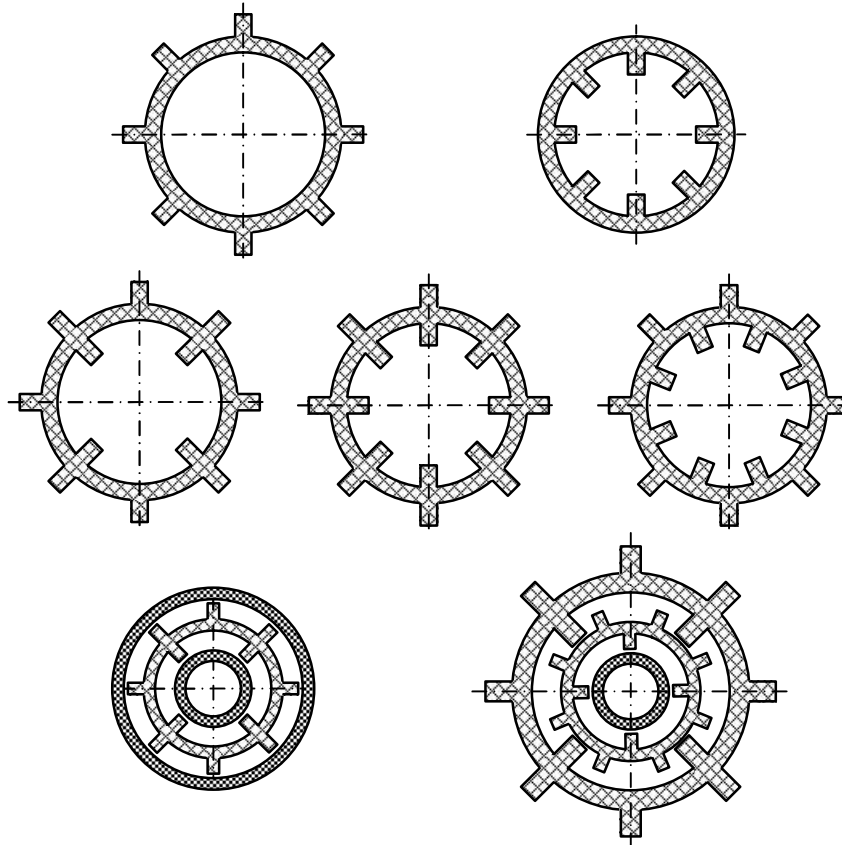


Рис. 2.26. Елемент насадки та приклад його застосування згідно з пат. № UA149368U

За ступенем суцільності оболонки насадки можна поділити на такі, що мають суцільну оболонку (наприклад, кільця Рашига), а також оболонку з наскрізними каналами для проходу оброблюваних фаз (наприклад, кільця Паля). Зазначені наскрізні канали можуть бути утворено або видаленням фрагментів оболонки, або надрізанням та відгинанням пелюсток або смужок різних кількості й форми.

До першого типу можна віднести насадки відповідно до пат. № RU107963U1, RU148733U1, RU160198U1, RU2370311C1, UA39164C2, UA1738U, UA2396U, UA2449U, UA3940U, UA70776A, UA83712U, UA90390U, UA99625U, UA105171U, UA105236U, UA105266U, UA105267U, CN105163844A, TW231973B, TW280805B, заявки № EP0579234A1, а до другого – а. с. № SU580888A1, пат. № RU42767U1, RU45650U1, RU50869U1, RU2290992C1, CN202962480U, CN203525723U та CN204865856U (наприклад, в а. с. № SU580888A1 прямокутні пелюстки розташовано по висоті оболонки в

кілька рядів, при цьому пелюстки в сусідніх рядах розташовано перпендикулярно один до одного, що підвищує турбулізацію потоків фаз і знижує ймовірність їх проходження крізь елементи насадки без взаємодії одна з одною).

У більшості випадків додаткові поверхні або турбулізуючі елементи виконують з боку внутрішньої поверхні оболонки. У той же час запропоновано й конструкції з подовжними прямолінійними або гвинтовими зовнішніми ребрами, пазами та рифлями різних форм і розмірів, які в разі регулярної насадки також дистанціонують елементи між собою, забезпечуючи подібні режими руху фаз як усередині, так і ззовні елементів (пат. № ES1109280, UA40347A, RU148733U1 і RU160198U1). Проте наявність рифлів часто не стільки збільшує питому поверхню та інтенсифікує перемішування оброблюваних фаз, скільки призводить до ускладнення конструкції насадки та збільшення її гідравлічного опору (пат. № UA72542U), а також утворенню застійних зон за певної орієнтації насадки в просторі (пат. № RU2370311C1).

Елемент кільцевої насадки, що має як зовнішні, так і внутрішні подовжні ребра й перегородки характеризується великою питомою поверхнею, при цьому його можна одержати методом екструзії профілю відповідної форми з наступним розрізанням на відрізки потрібної довжини, що відповідають висоті елемента насадки (заявка № EP3851416A2; рис. 2.27).

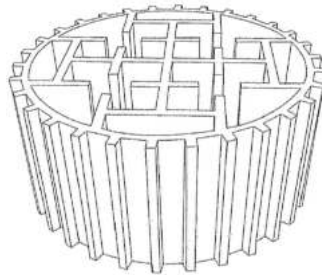


Рис. 2.27. Елемент кільцевої насадки із зовнішніми й внутрішніми подовжніми ребрами й перегородками (заявка № EP3851416A2)

Елемент кільцевої насадки з внутрішніми перегородками, що розділяють порожнину елемента на прямо- і криволінійні трикутні призматичні канали, описано в пат. № CN210875357U (рис. 2.28).

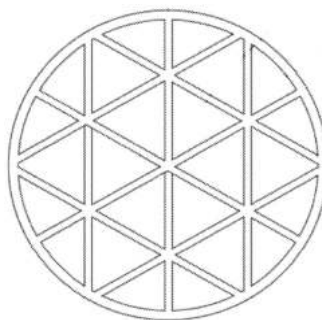


Рис. 2.28. Елемент кільцевої насадки з внутрішніми перегородками (пат. № CN210875357U)

За ступенем рухливості конструктивних компонентів насадки один відносно одного розрізняють насадку з нерухомими (пат. № UA3940U) та рухомими компонентами (а. с. № SU1678437A1 і SU1703171A1, пат. № UA6504U). При цьому рухливі компоненти сприяють додатковому диспергуванню й перемішуванню фаз, а також ефективному обробленню забруднених середовищ (внаслідок можливого взаємного зіткнення компонентів насадки між собою здійснюється їх самоочищення від різних відкладень).

За можливістю регулювання питомої поверхні розрізняють насадку з незмінною (фіксованою) і регульованою питомою поверхнею. До останньої можна віднести насадку згідно з пат. № UA97233U, робота якої заснована на використанні в її конструкції деталей з феромагнітного матеріалу з певною точкою Кюрі, під час досягнення якої поверхня насадки стрибкоподібно змінюється.

За можливістю регулювання насипної густини розрізняють насадку з незмінною (фіксованою) і з регульованою насипною густиною. Наприклад, до насадки з регульованою насипною густиною належить насадка у вигляді прямої циліндричної оболонки з основами, закритими кришками знімними (пат. № UA105266U). Заповнюючи закрити кришками оболонку певним об'ємом сипкого матеріалу або рідини, можна в широких межах змінювати масу елемента й таким чином насипну густину насадки в цілому.

При цьому залежно від співвідношення значень густини матеріалу насадки та оброблюваних фаз, зокрема важкої фази, може змінюватися характер поведінки насадки в контактній частині тепломасообмінного апарата. Якщо густина матеріалу насадки менше від густини важкої фази, то елементи насадки за умови їх вільного розміщення в контактній частині апарата під час його роботи починають рухатися, що сприяє ефективному перемішуванню фаз [16, 17].

За реалізованою гідродинамікою фаз розрізняють насадки з плівковим та з плівково-барботажем режимом. До елементів першого типу можна віднести більшість кільцевих насадок, а до другого – насадки, в яких реалізується механізм масопередачі, характерний як для традиційних насадок, так і для тарілчастих колон.

Наприклад, згідно з пат. № UA105236U у прямій циліндричній оболонці поперек її подовжньої осі встановлено перфоровану перегородку, при цьому цю насадку використовують як упорядковану. Відповідно до пат. № UA105267U щонайменше одну основу прямої циліндричної оболонки закрито знімною кришкою із зануреним всередину оболонки перфорованим дном. В обох випадках на перфорованих елементах насадок (поперечній перегородці та одній або двох кришках) реалізується барботажем режим взаємодії оброблюваних фаз.

За можливістю підтримки заданої температури розрізняють традиційні елементи насадки без термостабілізації, а також елементи з термостабі-

лізацією, що забезпечують майже постійну температуру, яка відповідає температурі перебігу тепломасообмінного процесу.

Наприклад, у разі розміщення насадки з феромагнітного матеріалу (або з кермету, до складу якого входить металевий феромагнетик) з точкою Кюрі, що відповідає температурі перебігу тепломасообмінного процесу в електромагнітному полі феромагнетик внаслідок індукції розігрівається. Після досягнення насадкою температури, що відповідає точці Кюрі, феромагнетик втрачає магнітні властивості й перестає нагріватися. За подальшого охолодження він знову набуває магнітних властивостей і знову починає нагріватися. Таким чином підтримується практично постійна температура насадки та фаз, які обробляються в апараті (пат. № UA52742U).

Також розроблено конструкції досить технологічних у виготовленні та надійних в експлуатації насадок, що виготовляються штампуванням з тонкостінних листових заготовок (пат. № CN203525723U і TW288992B), при цьому часто навіть без утворення відходів (пат. № UA28581U, UA97216U і UA97518U)

Як бачимо, незважаючи на більш ніж сторічний вік кільцевих насадок, їхні конструкції продовжують удосконалюватися. Конструкторами й винахідниками пропонуються насадки різних типорозмірів, виготовлені з найрізноманітніших матеріалів, а досягнення в галузі матеріалознавства й технології дає змогу насадкам і сьогодні успішно конкурувати з іншими типами контактних пристроїв тепломасообмінного обладнання, призначеного для розділення найрізноманітніших рідких і газоподібних сумішей.

2.1.4. Насадки з поверхнею другого порядку

Одними з найпростіших і найефективніших контактних елементів у насадкових тепломасообмінних колон є насадки у формі тіл різної форми: багатогранників, тіл обертання, зокрема кругових циліндрів (наприклад, «кілець Рашига» (Raschig rings) [25]) і сфер, а також поверхонь другого порядку, що забезпечують розвинену гідродинаміку фаз і відносно низький гідравлічний опір. Істотною перевагою елементів насадок з іншими поверхнями є їхня висока технологічність, у тому числі можливість використання у процесі виготовлення високоефективних операцій штампування [33, 34].

Аналіз конструктивного оформлення елементів насадок тепломасообмінних колон з формою поверхонь другого порядку дає змогу запропонувати їх класифікацію (рис. 2.29) [35].

За наявності центра симетрії – елементи з центром симетрії та елементи без центра симетрії.

За формою поверхні елементів з центром симетрії розрізняють еліпсоїд обертання, однополий гіперболоїд і конус.



Рис. 2.29. Класифікація елементів насадок тепломасообмінних колон у вигляді поверхнь другого порядку

Елемент насадки у вигляді еліпсоїда обертання з вісьмома меридіональними западинами на його поверхні, осьовим наскрізним отвором, а також виконаними перпендикулярно наскрізному отвору двома або чотирма наскрізними каналами (пат. № CN201969559U; рис. 2.30). Елемент вирізняється простотою виготовлення й досить високою питомою поверхнею.

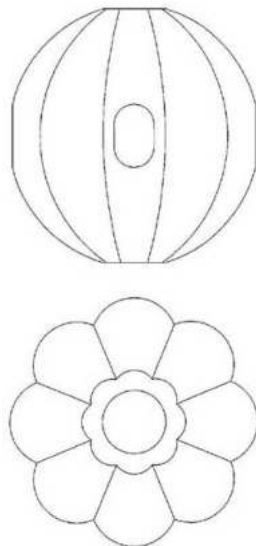


Рис. 2.30. Елемент насадки у вигляді еліпсоїда обертання (пат. № CN201969559U)

Елемент насадки у вигляді еліпсоїда обертання з оксиду алюмінію зі співвідношенням довжин осей 1:5 і виконаними на його поверхні вздовж дов-

гої осі S-подібними западинами, при цьому вздовж довгої осі елемента виконано наскрізний отвір (пат. № CN205182741U).

Регулярна насадка у вигляді гірлянд, підвішених у контактній частині тепломасообмінної колони і які містять з'єднані між собою металеві тіла у формі еліпсоїдів обертання, при цьому кожне із зазначених тіл представляє собою набір стрижнів і пластин з відігнутими пелюстками (пат. № CN2373175Y).

Елемент насадки у вигляді скріплених між собою хвилястих стрижнів з утворенням еліпсоїда обертання (пат. № RU2656483C1).

Елемент нерегулярної насадки у вигляді двох розташованих у паралельних площинах кілець, з'єднаних між собою вигнутими меридіональними стрижнями з утворенням еліпсоїда обертання (пат. № EP1923133A1). Розміщені всередині еліпсоїда обертання додаткові стрижні значно збільшують питому поверхню елемента. Недолік конструкції – труднощі очищення внутрішніх додаткових стрижнів.

Технологічний у виготовленні елемент нерегулярної насадки абсорбера у формі еліпсоїда обертання з подовжніми каналами й поперечним перерізом, обмеженим хвилястою лінією (пат. № GB255770A; рис. 2.31).

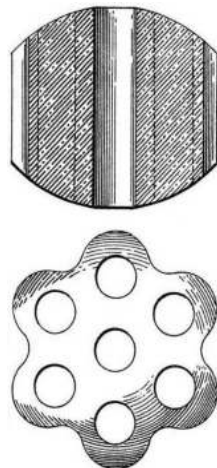


Рис. 2.31. Елемент насадки у вигляді еліпсоїда обертання (пат. № GB255770A)

Елементи нерегулярної насадки у формі еліпсоїда обертання з наскрізними каналами та кільцевими западинами (пат. № CN107159086A, CN205146236U та CN207025345U).

Виготовлений з кераміки низької густини елемент насадки абсорбера у формі еліпсоїда обертання з численними відкритими й закритими порами характеризується малою масою й високою питомою поверхнею (пат. № JPS61286278A).

Технологічний у виготовленні елемент насадки має форму еліпсоїда обертання виконано з трьох розташованих у взаємно перпендикулярних площинах еліптичних кілець (пат. № UA42587U).

Технологічний і зручний в очищенні елемент виконано з трьох секцій (двох кульових сегментів і розташованої між ними діаметральної перегородки), що складаються у вигляді еліпсоїда обертання може бути виготовлений з полімерних матеріалів методом лиття під тиском (заявки № US2005/098908A1 та US2006/202364A1; рис. 2.32).

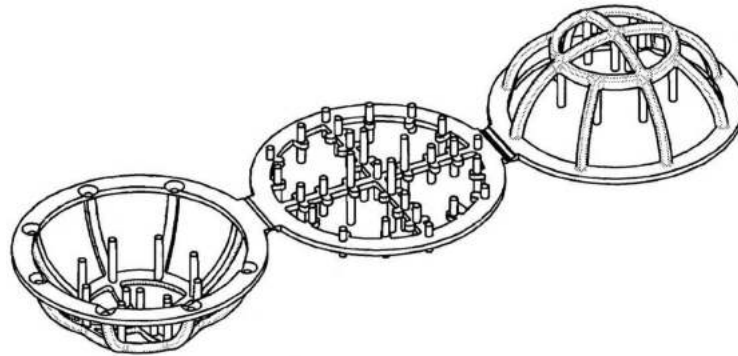


Рис. 2.32. Елемент насадки у вигляді еліпсоїда обертання в розкладеному вигляді (заявки № US2005/098908A1 та US2006/202364A1)

Удосконалений елемент підвищеної питомої поверхні містить не три, а чотири секції: два кульових сегменти, поперечну перегородку, а також центральну секцію у вигляді прямої правильної призми (заявка № US2006/202364A1).

Технологічний елемент, що виготовляється методом екструзії [36], має форму еліпсоїда обертання й виконаний у вигляді сукупності меридіональних керамічних стрижнів (заявка № US2017/190075A1).

Елемент насадки у формі однополого гіперboloїда (пат. № UA2396U; рис. 2.33).

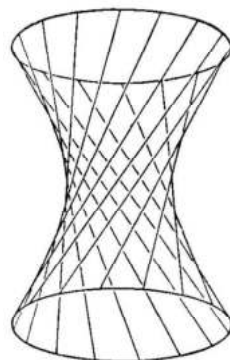


Рис. 2.33. Елемент насадки у вигляді однополого гіперboloїда (пат. № UA2396U)

Елемент у формі однополого гіперboloїда із зубчастими основами та перфорованою стінкою (пат. № CN208554215U).

Всередині елемента насадки у вигляді перфорованої сфери на осі з можливістю обертання встановлено додаткову оболонку у вигляді однополого гіперboloїда (пат. № CN207970866U).

Елемент насадки, середню частину якого виконано у вигляді однополого гіперболоїда, а кінцеві – у вигляді кругових циліндрів (а. с. № SU1375302A1).

Елементи насадки у вигляді конічної оболонки з відкритими торцями та внутрішніми (заявка № DE2310434A1), а також внутрішніми й зовнішніми подовжніми ребрами (пат. № ES1109280U, заявка № EP2119499A1; рис. 2.34).

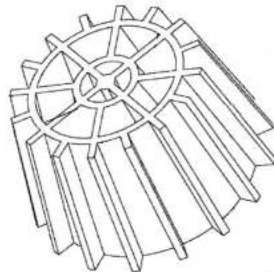


Рис. 2.34. Елемент насадки у вигляді зрізаного конуса (пат. № ES1109280U, заявка № EP2119499A1)

Елемент насадки у вигляді сітчастої оболонки, що має форму конуса з розвиненою поверхнею (пат. № GB2577054A).

Елемент насадки у вигляді листової оболонки у формі зрізаного конуса з надрізнаними та відігнутими як назовні, так і всередину оболонки пелюстками (а. с. № SU743685A1).

Елемент насадки у вигляді листової оболонки, що має форму конуса з подовжніми зовнішніми та внутрішніми ребрами (а. с. № SU940817A1).

Елемент насадки у вигляді стрижневої оболонки, що складається з двох конусів різної висоти із спільною основою (пат. № CN108435123A та CN208642682U).

Елемент насадки у вигляді конічної оболонки зі спіральними перфорованими гофрами (пат. № CN1843613A та CN2899929Y; рис. 2.35).



Рис. 2.35. Елемент насадки у вигляді гофрованого конуса (пат. № CN1843613A, CN2899929Y)

Регулярна насадка у вигляді зрізаних конусів, закріплених на вертикальних стрижнях, при цьому на поверхні кожного конуса можуть бути виконано турбулізувальні виступи та/або западини, а в його тілі – наскрізні канали (пат. № UA790U).

За формою поверхні елементів, які не мають центра симетрії, розрізняють еліптичний параболоїд, гіперболічний параболоїд, еліптичний циліндр, а також параболічний циліндр.

Елемент насадки, виконаний у вигляді двох перфорованих півсфер або еліптичних параболоїдів, з'єднаних між собою своїми вершинами (пат. № UA132799U).

Регулярна насадка, виконана у вигляді сукупності закріплених на вертикальних стрижнях перфорованих еліптичних параболоїдів з оберненими вгору зубчастими крайками (пат. № RU142483U1).

Елемент насадки у формі гіперболічного параболоїда із зубчастими крайками та отворами у стінці сідла [37].

Елемент насадки у формі гіперболічного параболоїда з подовжніми (пат. № CN103877924A та CN203862250U), а також поперечними й подовжніми (пат. № IL245928A, CN105848775A, CN205613428U та UA4980U, заявка № WO2015/082349A1; рис. 2.36) виступами (ребрами) для турбулізації оброблюваних фаз.

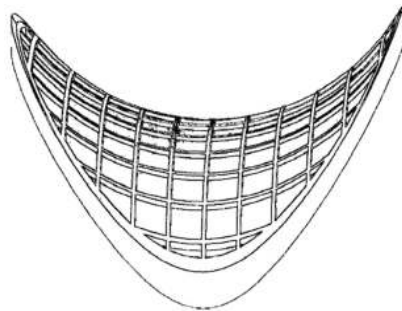


Рис. 2.36. Елемент насадки у вигляді гіперболічного параболоїда з подовжніми й поперечними виступами (пат. № IL245928A та CN105848775A, заявка № WO2015/082349A1)

Елемент насадки, виконаний у формі гіперболічного параболоїда з поперечними прорізами з перемичками, характеризується не тільки технологічністю й високою питомою поверхнею, але й достатньою жорсткістю, що забезпечує незмінність форми елемента в процесі експлуатації тепломасообмінної колони (пат. № UA126201U).

Елемент насадки у вигляді скрученого вздовж подовжньої осі еліптичного циліндра, тобто з повернутими один відносно одного еліптичними основами (пат. № UA1738U).

Елемент насадки у вигляді жолоба (півтруби) у формі параболічного циліндра (пат. № UA50963U).

Елемент у вигляді жолоба (півтруби) у формі сектора кругового циліндра з надрізнаними й відігнутими всередину пелюстками в процесі роботи масової сумісної колони може деформуватися, набуваючи форми параболічного циліндра (пат. № DE2710178A1).

За ступенем суцільності стінок елемента – елементи із суцільною стінкою та елементи зі стінкою, що має наскрізні канали.

На відміну від елементів насадки з суцільною стінкою елементи зі стінкою, що має наскрізні канали, хоча й трохи складніші у виготовленні, забезпечують розвинену турбулізацію фаз та інтенсивний перерозподіл їх потоків у контактній частині тепломасообмінної колони.

За ступенем складання – елементи у вигляді деталей і складальних одиниць.

Незважаючи на більш складне виготовлення, елементи насадки у вигляді складальних одиниць зазвичай забезпечують більш ефективну взаємодію фаз, у тому числі й завдяки наявності рухомих частин в елементі, що істотно турбулізують потоки оброблюваних фаз [38].

За матеріалом – елементи, виготовлені з металів та їхніх сплавів (пат. № CN206474174U), кераміки (пат. № CN103877924A, CN203862250U) та фарфору (пат. № CN209348651U, CN209348652U та CN210752706U), а також полімерів і полімерних композиційних матеріалів (пат. № CN204865850U).

Традиційно елементи насадок тепломасообмінних колон виготовляють із кераміки, скла, а також металів та їхніх сплавів. Однак найширші можливості розробникам обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв надають композиційні матеріали, у тому числі полімерні [27, 28]. Підбором якісного та кількісного складу таких матеріалів, а також ефективної технології їх перероблення можна забезпечити необхідні технологічні та експлуатаційні властивості виготовлених з них контактних насадкових елементів.

Незважаючи на обмежену кількість класичних поверхонь другого порядку, завдяки сучасним методам проектування, а також досягненням матеріалознавців і технологів, дослідники й винахідники безперервно поліпшують експлуатаційні характеристики розроблюваних елементів насадок.

2.1.5. Штамповані насадки

Більшість елементів насадки прості у виготовленні та експлуатації, при цьому найбільш технологічними є елементи, що виконуються штампуванням (переважно з листового металевого прокату).

Аналіз конструкцій штампованих насадкових елементів тепломасообмінних апаратів дає змогу запропонувати їх класифікацію (рис. 2.37).

За способом укладання елементів насадки в тепломасообмінному апараті розрізняють нерегулярну насадку (елементи насадки укладено неупорядковано, «навалом») і регулярну насадку (елементи насадки укладено в певному порядку).

Елемент упорядкованої насадки у вигляді вертикального листа з дискретними виступами на одній або обох поверхнях, що забезпечують турбулізацію потоків фаз і потрібний проміжок з сусідніми елементами (пат. № UA14503U).

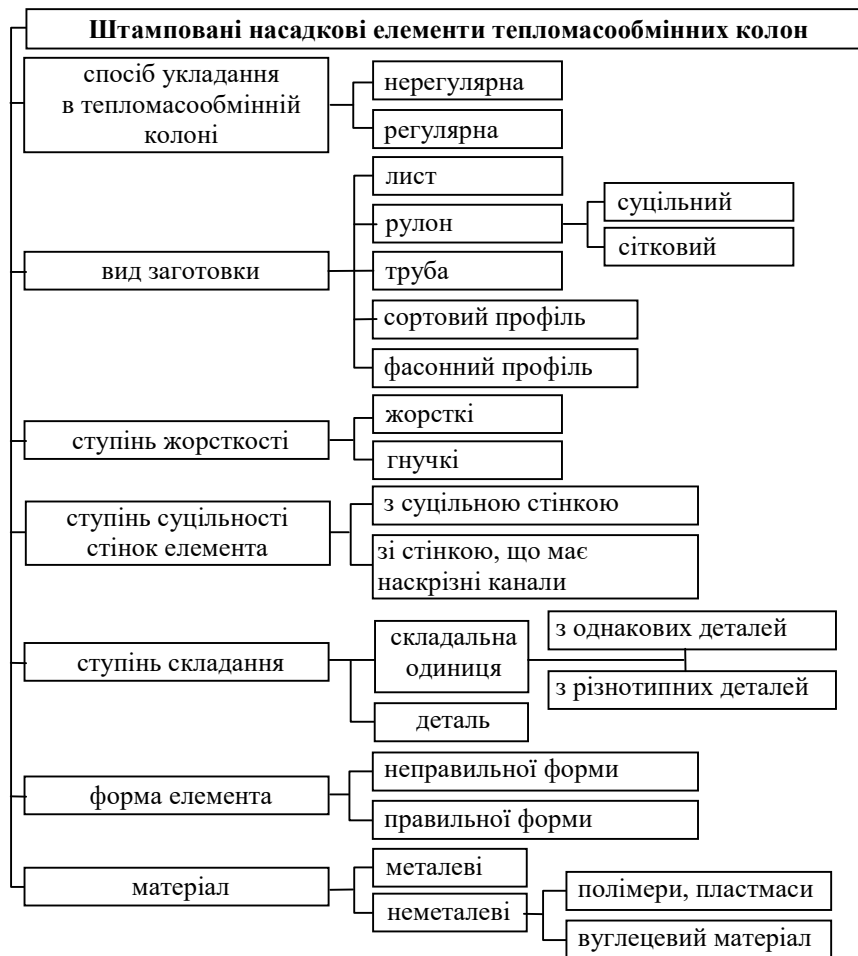


Рис. 2.37. Штамповані насадкові елементи тепломасообмінних колон

Елемент регулярної насадки у вигляді пакета перфорованих півциліндрів, стягнутих між собою за допомогою шпильок, при цьому півциліндри сусідніх рядів розташовано під прямим кутом (пат. № UA50963U).

Регулярна насадка у вигляді вертикальних смуг з подовжніми гофрами (пат. № CH559571A5). Смуги виконано у вигляді кутика, швелера або зетового профілю з надрізаними та відігнутими пелюстками.

Елемент регулярної насадки у вигляді смуги з трикутними і трапецієподібними гофрами (при цьому смуги з гофрами різної форми чергуються між собою) для укладання в тепломасообмінний апарат шарами попарно – з розміщенням трикутних гофрів однієї смуги всередині трапецієподібних гофрів іншої смуги (а. с. № SU1368011A1).

Регулярна насадка у вигляді вертикальних листів з похилими дискретними виступами у вигляді пірамід (пат. № RU53934U1), а також у вигляді вертикальних листів з надрізаними й відігнутими по черзі в різні боки від площини кожного листа пелюстками із зубчастими крайками (а. с. № SU1443949A1).

Регулярна насадка у вигляді пакета вертикальних листів з похилими гофрами, при цьому суміжні листи повернуто один відносно одного на 180°

(пат. № RU67888U1). Аналогічні насадки з прорізами й надрізами в листах (пат. № RU171603U1 і CN87106057A), а також відігнутими всередину гофрів пелюстками (пат. № CN107020063A).

Регулярна насадка у вигляді вертикальних листів з поперечними гофрами V-подібної форми, при цьому суміжні листи розташовано з проміжком між собою та обернено основами гофрів один до одного з утворенням горизонтальних каналів (пат. № RU77406U1). Аналогічна насадка у вигляді вертикальних листів з поперечними трапецієподібними гофрами (пат. № RU2533722C1). При цьому в а. с. № SU1634306A1 сусідні листи регулярної насадки розташовано еквідистантно, а їхні V-подібні гофри входять один в одного.

Багаторівнева регулярна насадка у вигляді сукупності укладених на горизонтальних стрижнях гофрованих стрічок зі зміщенням сусідніх стрічок одного рівня на половину кроку гофрів (пат. № RU2461419C1).

Елемент нерегулярної насадки виконано у вигляді півциліндричної оболонки з надрізами й відігнутими всередину півциліндра у взаємно перпендикулярних площинах пелюстками (пат. № RU70820U1).

Елемент нерегулярної насадки у вигляді витягнутого диска (пат. № RU2398627C1) або ромба (а. с. № SU704648A1) з поперечними паралельними прорізами, що утворюють смуги різної довжини, вигнуті в різні боки.

Елемент нерегулярної насадки, виконаний з листової хрестоподібної перфорованої заготовки, містить центральну квадратну пластину із загнутими по обидва боки від її площини протилежними плоскими виступами (а. с. № SU1650222A1), при цьому виступи також можуть бути загнуті у формі подвійних (а. с. № SU1526784A1) або одинарних півциліндрів (а. с. № SU1011207A1). Аналогічний елемент, але з виступами півкруглої або трикутної форми (а. с. № SU1583159A1). Також запропоновано кожен виступ заготовки надрізати вздовж, а частини виступів відгинати по різні сторони від площини центральної квадратної пластини (а. с. № SU1386258A1), у тому числі у вигляді літери V (а. с. № SU1321448A1) або L (а. с. № SU1301473A1; рис. 2.38).

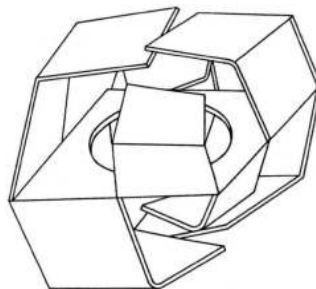


Рис. 2.38. Елемент нерегулярної насадки згідно з а. с. № SU1301473A1

Елемент насадки виконано у вигляді згорнутого зі смугового матеріалу фігурного кільця з численними надрізами на різних рівнях і відігнутими всередину кільця смужками й пелюстками (пат. № CN105107453A та

CN204952911U). Аналогічні елементи запропоновано в пат. № CN108499513A.

Елементи насадки виконано у вигляді згорнутого зі смуги фігурного кільця з численними надрізнаними на одному рівні й вигнутими всередину кільця прямокутними смужками із зубчастими (пат. № CN204952905U, CN204952910U) або гладкими (пат. № CN204952906U, CN204952912U та CN204952913U) крайками. При цьому в зазначених смужках надрізнано й відігнуто всередину кільця подовжні пелюстки.

Елемент у вигляді згорнутого зі смуги циліндричного кільця з надрізнаними на декількох рівнях й відігнутими всередину кільця пелюстками із зубчастими крайками (пат. № CN207446267U).

Елементи насадки виконано у вигляді згорнутого зі смуги циліндричного кільця з відбортовками, а також надрізнаними на одному рівні й відігнутими всередину кільця пелюстками із зубчастими (пат. № CN203525723U) або гладкими (пат. № CN204952908U, CN209005755U та CN209093382U) крайками. Аналогічні елементи з пелюстками на різних рівнях (пат. № CN204952907U та CN204952909U).

Елементи насадки виконано у вигляді одержаного з прямокутної листової заготовки сідла з відбортовкою, а також надрізнаними й вигнутими всередину сідла смужками (пат. № CN203678392U, CN204865852U та CN205627966U, заявка № WO2018/094563A1). Відбортовка істотно підвищує жорсткість елементів.

Згорнутий у кільце зі смуги S-подібний елемент (а. с. № SU473510A1). Аналогічний елемент з повернутими в площині центральної перегородки S-подібними кінцевими ділянками (а. с. № SU665934A1).

Виготовлений з L-подібної листової заготовки елемент з центральною квадратною перегородкою та двома півциліндрами із взаємно перпендикулярними подовжніми осями (а. с. № SU709144A1), при цьому в перегородці та півциліндрах можуть бути виконано прямокутні отвори (а. с. № SU696654A1).

Елемент регулярної насадки у вигляді спіралі, виготовлений з рулонного матеріалу з надрізнаними й відігнутими вертикальними пелюстками з фігурними крайками (а. с. № SU1318269A1).

За видом заготовки – елементи, виготовлені з листового та рулонного матеріалу, сортового та фасонного профілів, а також з труб.

Сортовий профіль має простий поперечний переріз, що не перетинається з жодною дотичною до нього або з продовженням однієї з його сторін (до сортового профілю відносяться круглий, квадратний, шестигранний і смуговий профілі), а фасонний профіль – це профіль, поперечний переріз якого перетинається щонайменше з однієї дотичною до нього або з продовженням однієї з його сторін (до фасонних профілів відносяться, наприклад, тавр, швелер, кутик, зетовий профіль) [39].

Конструкції елементів насадки, що виготовляються з труб, докладно проаналізовано в [25].

Також елемент нерегулярної насадки, що виготовляється з трубчастої заготовки за аналогією з виготовленням відводів трубопроводів [40] описано в пат. № UA120635U; рис. 2.39). Цей елемент виконано у вигляді перфорованої оболонки з подовжньою віссю, що збігається з дугою кола, при цьому оболонку в поперечному напрямку виконано еліптичною, а її основи повернуто одна відносно одної, переважно на прямий кут.

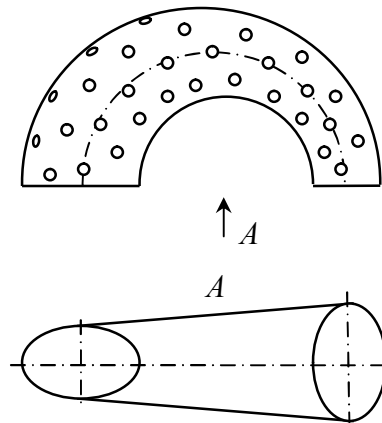


Рис. 2.39. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA120635U

Елемент нерегулярної насадки виконано у вигляді кільця з сортового або фасонного профілю, при цьому кільце виконане замкненим і скрученим вздовж його діаметральної осі (пат. № UA146330U; рис. 2.40). Кільце може бути виконане з подовжньою зовнішньою западиною, наприклад, U- або V-подібною, а кут скрутки кільця становить 90° . Технічне рішення забезпечує великий вільний об'єм елемента, що зменшує його гідравлічний опір та матеріаломісткість елемента за умови достатньої міцності й жорсткості.

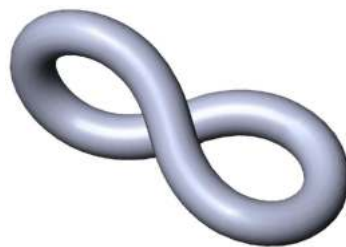


Рис. 2.40. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA146330U

Технологічний елемент нерегулярної насадки виготовлено з прямокутної листової заготовки з подовжніми надрізами та спільними перемичками по кінцях і в середній частині, при цьому утворені надрізами смужки та пелюстки відігнуті по обидва боки від площини заготовки (пат. № US5543088A, CN1125637A, заявка № EP0697246A2; рис. 2.41).

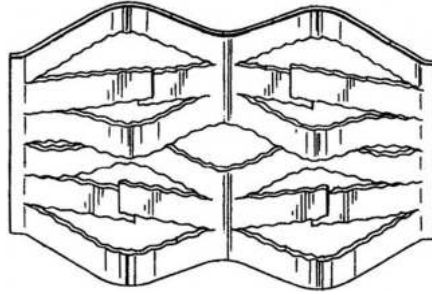


Рис. 2.41. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № US5543088А та CN1125637А, а також заявкою № EP0697246А2

Удосконалені аналогічні елементи запропоновано в заявках № DE102016010501A1 (рис. 2.42), DE102018119693A1, DE202013009576U1, US2008/085400A1, US2016/228848A1, US2021/316270A1, WO2015/062722A1, WO2020/035484A1 та JP2016536118A, а в пат. № RU2443467C2, RU6727U1, RU102200U1, RU113175U1, US5112536A, TW201410318A, CN105396545A, CN210229985U та JP2010505622A (рис. 2.43) – дещо спрощені елементи (без центральних перемичок). При цьому в пат. № CN207446266U центральні перемички виконано лише у смужок, розташованих по краях елемента.

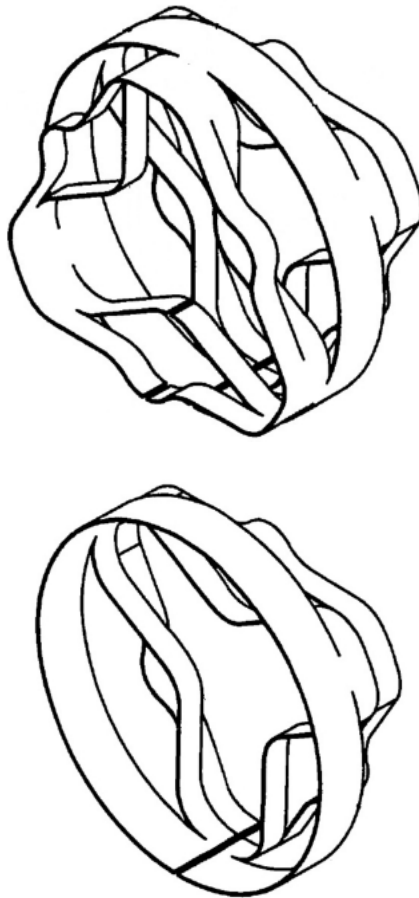


Рис. 2.42. Елемент нерегулярної насадки згідно із заявкою № DE102016010501A1

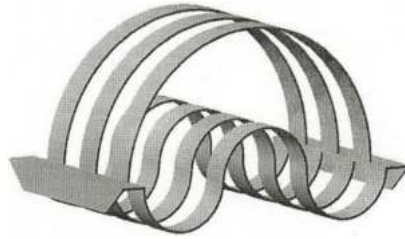


Рис. 2.43. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № RU113175U1

Аналогічний елемент, але виготовлений з Н-подібної листової заготовки, забезпечує більш інтенсивну турбулізацію фаз (пат. № US5882772A, CN105682788A, заявка № DE19531151A1).

В елементі нерегулярної насадки, виготовленому з прямокутної листової заготовки, виконано поперечні паралельні надрізи з утворенням смужок, відігнутих у різні сторони від площини заготовки (пат. № CN204816551U). При цьому в кожній смужці виконано подовжні паралельні надрізи з утворенням аналогічних внутрішніх смужок, що значно підвищує ефективність елемента.

Елемент, виготовлений з листової заготовки у вигляді рівнобедреного трикутника з глухими надрізами, паралельними його основі, відігнутими по черзі в протилежні сторони від площини заготовки у формі парабол (а. с. № SU1480862A1).

Елемент, виготовлений з листової заготовки у вигляді пластини з відігнутими по різні сторони її площини частинами, при цьому листову заготовку елемента насадки виконано у вигляді правильного шестикутника, а його відігнуті частини – у вигляді трикутників, при цьому по один бік листової заготовки на прямий кут відносно її площини відігнуто три її зовнішні частини у вигляді рівнобедрених трикутників, основи яких збігаються з лініями відгину та є сторонами правильного трикутника, вершини якого збігаються з вершинами листової заготовки, по інший бік листової заготовки відігнуто шість надрізнаних у ній внутрішніх частин у вигляді правильних трикутників, основи яких збігаються з лініями їх відгину та є сторонами правильного шестикутника, три сторони якого лежать на основах відігнутих зовнішніх частин листової заготовки, причому три з шести внутрішніх частин листової заготовки відігнуто на прямий кут відносно її площини, а три інших, лінії відгину яких збігаються з лініями відгину зовнішніх частин листової заготовки, – на кут 180° (пат. № UA136501U; рис. 2.44). Таке рішення збільшує вільний об'єм елемента насадки, зменшує гідравлічний опір та забезпечує раціональний розкрій листового матеріалу, з якого одержують листові заготовки елементів насадки, за повної відсутності відходів.

Елемент нерегулярної насадки містить центральну подовжню скручену частину з поперечними симетрично розташованими відносно її подовжньої осі виступами, при цьому кожний з виступів повністю або частково відігнуто від площини прилеглої ділянки подовжньої скрученої частини (пат.

№ UA139913U; рис. 2.45). Забезпечується висока питома поверхня елемента, а також його жорсткість, що стабілізує геометричні властивості елемента (питомі поверхню та об'єм) під час експлуатації масо обмінної колоні.

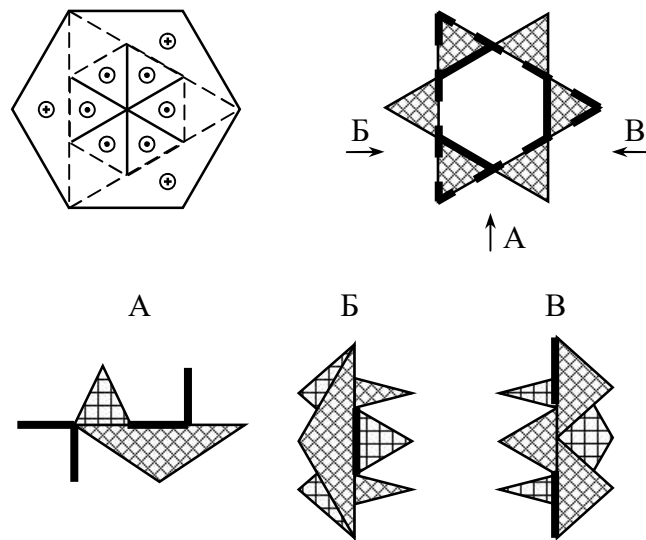


Рис. 2.44. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA136501U (листова заготовка елемента з позначеними штриховими лініями відгину та суцільними внутрішніми лініями надрізу її частин (крапка в колі означає напрям відгину частини листової заготовки – до спостерігача, а символ «+» у колі – від спостерігача)

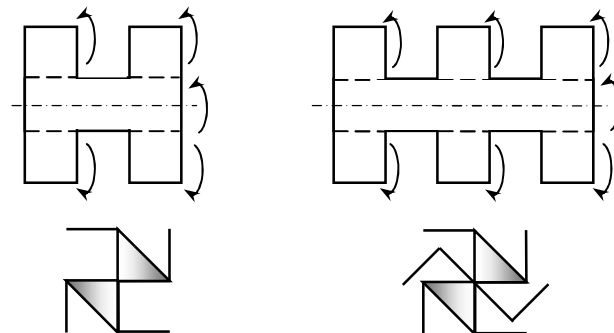


Рис. 2.45. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA139913U

Листовий елемент з численними ділянками на його поверхні, кожен з яких конструктивно аналогічний попереднім індивідуальним елементам, може бути використаний як регулярна насадка (заявка № US2018/297006A1).

Елемент у вигляді вузької прямокутної стрічки з надрізнаними на ній лучочками може бути використаний як регулярна насадка (пат. № US6182950B1). Аналогічна заготовка у вигляді вузької трапецієподібної стрічки після згортання утворює елемент у вигляді ступінчастої кулі з розвиненою поверхнею контакту фаз (пат. № US5714097A, заявка № WO95/12451A1).

Елемент у формі кулі також виготовляється з листової заготовки у вигляді центральної смуги з поперечними відгалуженнями, довжина яких зростає до її центра (пат. № CN209501693U; рис. 2.46).

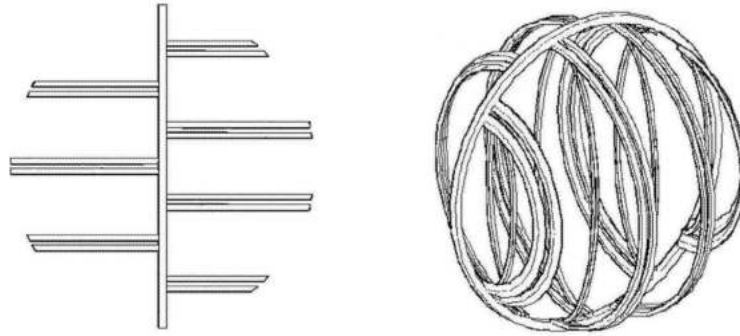


Рис. 2.46. Заготовка та елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № CN209501693U

Кульовий елемент підвищеної жорсткості утворюється після згортання й розташування у взаємно перпендикулярних площинах двох заготовок у вигляді з'єднаних між собою вузькими перемичками кіл з поперечними надрізами (пат. № UA71358U).

Елемент у вигляді сідла виготовляють з прямокутної листової заготовки, при цьому для збільшення його питомої поверхні на його зовнішній поверхні виконано подовжні, а на внутрішній – поперечні виступи й западини, які чергуються між собою (пат. № UA4980U). Аналогічний елемент у вигляді сегмента внутрішньої частини тора, при цьому зазначений сегмент виконано несиметричним відносно діаметральної площини тора (пат. UA122691U).

Елемент у вигляді сідла з радіальними прорізами з боку зовнішньої западини (пат. № CN206474174U), а також елемент, в якому зазначені прорізи оснащено перемичками (пат. № UA126201U).

Елемент у вигляді правильної восьмикутної пластини з витягнутими по обидві сторони центральною й радіальною ділянками (пат. № UA25416U; див. рис. 2.5, в).

Елемент, виконаний у вигляді сукупності розрізних кілець, з'єднаних між собою за допомогою центрального кільця (пат. № UA73415U; рис. 2.47). Також запропоновано елемент, виконаний у вигляді розрізного кільця з відігнутими по різні боки від площини кільця вільними кінцями (пат. № UA73416U).

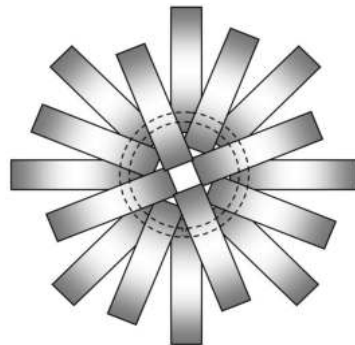


Рис. 2.47. Заготовка та елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA73415U

Елемент нерегулярної насадки, зігнутий зі стрижня у вигляді двох кілець, розташованих у різних площинах, запропоновано в пат. № UA105169U (рис. 2.48), а в пат. № UA108598U – елемент, зігнутий зі стрижня у вигляді кільця з кінцевими ділянками у вигляді двох півкілець, розташованих під кутом до площини кільця в межах сфери, описаної навколо кільця (рис. 2.49).

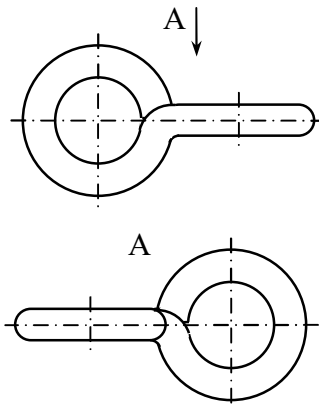


Рис. 2.48. Заготовка та елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA105169U

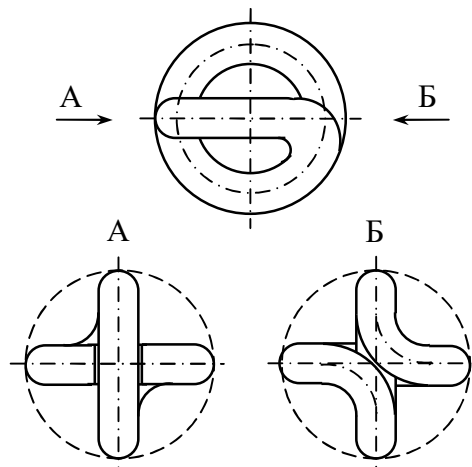


Рис. 2.49. Заготовка та елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA108598U

Елемент нерегулярної насадки у вигляді подовженого центральної та скрученої по довжині ділянки з двома й більше поперечними виступами, наприклад, у вигляді літери Н (пат. № UA113934U; рис. 2.50).

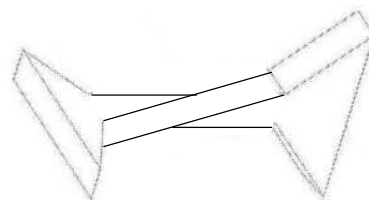


Рис. 2.50. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA113934U

Також поперечні виступи відігнуто в один або різні сторони від площини центральної плоскої ділянки (пат. № UA126675U; рис. 2.51).

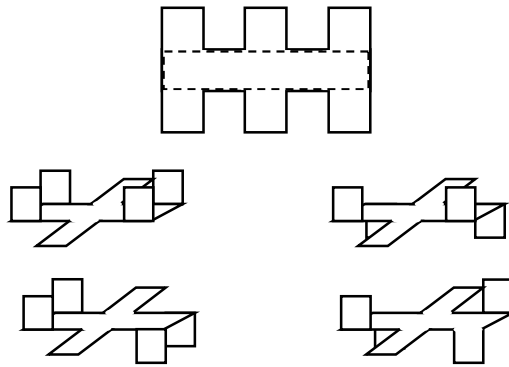


Рис. 2.51. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA126675U

Зігнутий із дроту елемент нерегулярної насадки у вигляді трьох повернених один відносно одного кілець із загальною точкою контакту та утворенням між сусідніми кільцями кута 120° (пат. № UA123741U; рис. 2.52).

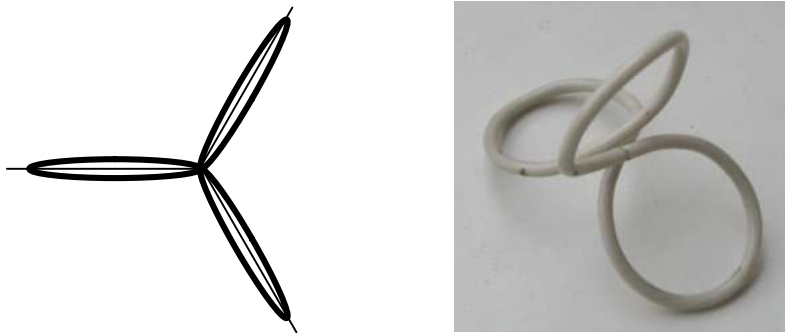


Рис. 2.52. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA123741U (вид згори та загальний вигляд)

Елемент у вигляді стрічки з кінцями, скрученими на 180° у протилежні боки, незважаючи на високу технологічність, має малий питомий об'єм і значний гідравлічний опір (а. с. № SU1057084A1).

Елемент містить дві зчеплені між собою плоскі складові контактні частини, розташовані у взаємно перпендикулярних площинах, при цьому кожену з плоских складових контактних частин виконано у вигляді спіралі, а витки обох плоских складових контактних частин розташовано між собою (пат. № UA124645C2). Елемент також може містити додаткову плоску складову контактну частину, виконану у вигляді спіралі, зчепленої з двома плоскими складовими контактними частинами та розташованої в площині, перпендикулярній площинам плоских складових контактних частин, при цьому витки додаткової плоскої складової контактної частини розташовано між витками плоских складових контактних частин (рис. 2.53). Спрощується виготовлення та обслуговування елемента, а також збільшується його питома поверхня.

За ступенем жорсткості – жорсткі та гнучкі елементи.

Жорсткі елементи використовуються для формування як нерегулярної, так і регулярної насадки, а гнучкі – переважно регулярної насадки.

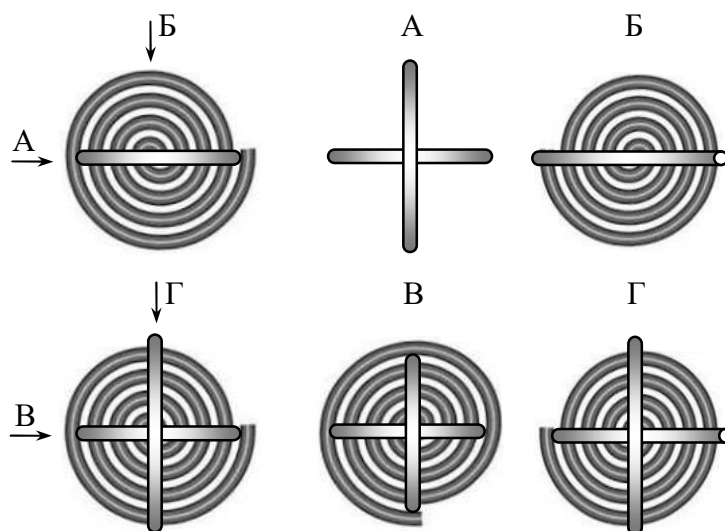


Рис. 2.53. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA124645C2

Гнучка регулярна насадка у вигляді згорнутого рулонного перфорованого матеріалу з похилими півциліндричними односторонніми гофрами (пат. № CN103611488A; рис. 2.54).

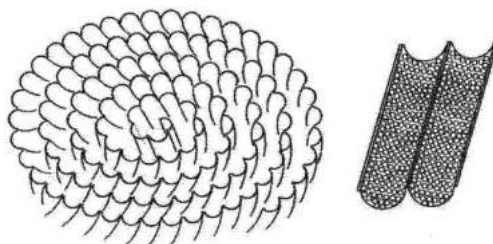


Рис. 2.54. Елемент регулярної насадки згідно з пат. № CN103611488A

За ступенем суцільності стінок елемента – елементи із суцільною стінкою та зі стінкою, що має наскрізні канали для проходу фаз (наприклад, у вигляді сітки).

Виготовлений із сітки елемент у вигляді шестигранної правильної прямої призматичної оболонки з відкритими основами на бічних гранях містить надрізані й відігнуті всередину трикутні пелюстки, при цьому відігнуті пелюстки розташовано в одній площині (пат. № UA105258U).

Сітчастий елемент у вигляді правильного тетраедра може бути заповнений гранульованим адсорбентом (пат. № US6251227B1). Також запропоновано аналогічний елемент із надрізаними та увігнутими всередину нього пелюстками (пат. № UA25414U).

Виготовлений із сітки гофрований довгомірний лист (у вигляді шиферу – азбоцементних листів хвилястої форми) може бути згорнутий різними способами й застосований як регулярна насадка (заявка № EP1704916A1).

За ступенем складання – елементи у вигляді деталі та складальної одиниці, складеної як з однакових, так і з різних деталей. Виконання елементів з

декількох деталей зазвичай спрямовано на збільшення питомої поверхні насадки та зміну гідродинаміки оброблюваних фаз.

Елемент у вигляді двох розташованих у взаємно перпендикулярних площинах і сполучених між собою взаємопроникних однакових стрічок Мебіуса (пат. № CN107899533A; рис. 2.55). Більш технологічний елемент підвищеної жорсткості описано в пат. № UA131559U.

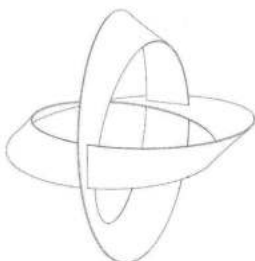


Рис. 2.55. Елемент регулярної насадки згідно з пат. № CN107899533A

Елемент нерегулярної насадки у вигляді двох з'єднаних між собою своїми вершинами перфорованих півсфер (пат. № UA132799U; рис. 2.56), а також елемент у вигляді перфорованої сфери, що складається з двох півсфер, на основах яких виконано виступи для створення з'єднання типу «твіст-офф».

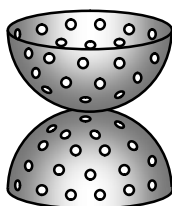


Рис. 2.56. Елемент нерегулярної насадки по пат. № UA132799U

Елемент у вигляді деталі, що має форму півкільця з однією С-подібною та другою О-подібною кінцевими ділянками, при цьому О-подібну кінцеву ділянку може бути зафіксовано в С-подібній кінцевій ділянці іншого елемента з утворенням елемента, виконаного у вигляді складальної одиниці, що містить дві однакові деталі – півкільця (пат. № UA105167U; рис. 2.57).

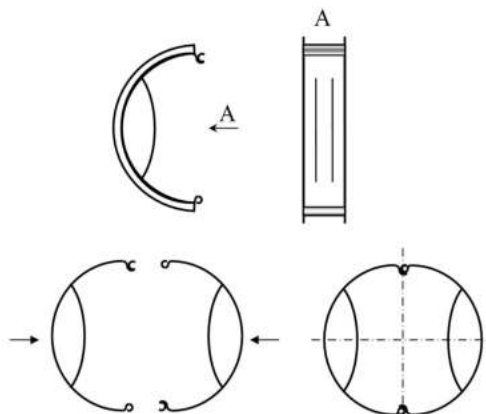


Рис. 2.57. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA105167U

Елемент насадки виготовлений з двох з'єднаних між собою трикутних деталей з виконаними прорізами та вигнутими виступами з боку їх основ (а. с. № SU1701363A1; рис. 2.58).

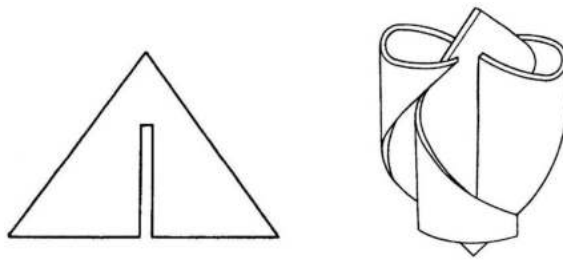


Рис. 2.58. Заготовка та елемент нерегулярної насадки згідно з а. с. № SU1701363A1

За формою елемента – елементи неправильної та правильної форми.

Елемент у вигляді листа (стрічки) Мебіуса (а. с. № SU631185A1), у тому числі з отворами (а. с. № SU776630A2). Довгі країки заготовки, з якої виготовлений елемент у вигляді листа (стрічки) Мебіуса, виконано з плавними виступами і западинами, що чергуються між собою (а. с. № SU1699594A1).

Аналогічний елемент, але із заготовкою, попередньо складеною по ширині вдвічі (пат. № RU190583U1), має підвищену жорсткість, проте можливе утворення застійних зон оброблюваної рідини в щілині, утвореній у місці згину заготовки.

Виконані в листі Мебіуса перфорації, а також покриття його поверхні дротяною сіткою (пат. № CN207756157U; рис. 2.59) підвищує питому поверхню контакту фаз елемента. Аналогічний елемент з виступами та западинами на його поверхні описано в пат. № UA133095U.

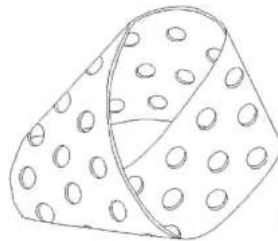


Рис. 2.59. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № CN207756157U

Елемент у вигляді «подвійного» листа Мебіуса виготовляють з Н-подібної заготовки (пат. № CN107008220A, CN207463238U; рис. 2.60), при цьому в листі можуть бути надрізані й відігнуті пелюстки для турбулізації потоків фаз. Виготовлений з аналогічної заготовки елемент насадки замість двох листів Мебіуса містить дві циліндричні, конічні або багатогранні спіралі (пат. № RU2208478C1).

Елемент у вигляді сфери або еліпсоїда обертання, утворений трьома розташованими у взаємно перпендикулярних площинах еліптичними кільцями (пат. № UA42587U). Також розроблено аналогічний елемент, кільця яких

виконані із зовнішньою западиною й виготовлені штампуванням з кутика або півциліндра (пат. № UA133098U).

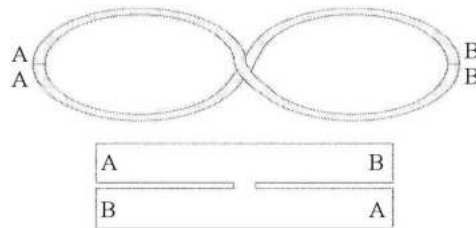


Рис. 2.60. Заготовка нерегулярної насадки згідно з а. с. № CN107008220A

Розроблено конструкції технологічних у виготовленні та надійних в експлуатації кільцевих насадок, що виготовляються штампуванням з тонкостінних листових заготовок (пат. № CN106492740A, CN202725186U, TW288992B і KR940018591A). При цьому раціональний розкрій листових заготовок майже виключає утворення відходів (а. с. № SU1088762A1, пат. № UA28581U, UA97216U, UA97518U та UA105168U).

Аналогічний елемент з розташованими на різних рівнях надрізаними поперечними смужками, підданими деформації різного ступеня та напрямку, з утворенням кільця з розвиненою поверхнею контакту фаз (заявки № EP3290106A1 і DE102016010501A1).

Елемент регулярної насадки у вигляді орієнтованої вершиною догори перфорованої півсфери (пат. № CN207307874U). Регулярна насадка у вигляді перфорованих півсфер, орієнтованих вершинами догори на одному рівні, та аналогічних півсфер, орієнтованих вершинами донизу на сусідніх рівнях, при цьому сусідні рівні зміщено в горизонтальному напрямку на половину діаметра кожної з півсфер (пат. № CN207839009U).

Елементи у вигляді конічної оболонки з гвинтовими гофрами та отворами в них (пат. № CN1843613A та CN2899929Y; див. рис. 2.35), а також у вигляді конічної оболонки з надрізаними й відігнутими пелюстками (а. с. № SU743685A1).

Насадки у вигляді згорнутого зі смуги кільця з діаметрально розташованою подовжньою перегородкою (пат. № CH221556A, а. с. № SU1761250A1), у тому числі із сітчастої смуги (пат. № RU2641920C1, RU2642572C1, RU2642672C1 і RU2646076C1), а також у вигляді трипроменевої зірки, зігнутої в подовжньому напрямку зі смуги (пат. № CH87746A).

Елемент, згорнутий з листової заготовки у вигляді гвинтової поверхні – гелікоїда (пат. № FR3021557A1).

Елемент у вигляді циліндричної спіралі, виготовлений зі смуги у вигляді жолоба із зовнішньою западиною, збільшує поверхню контакту фаз і виключає утворення застійних зон (пат. № RU2241534C1).

Елемент у вигляді циліндричної спіралі з дроту круглого (пат. № RU174234U1) і фігурного поперечного перерізу (а. с. № SU1562021A1), а також стрічки (пат. № RU170601U1).

Елемент у вигляді косої дротяної спіралі, у якій сусідні витки зміщені один відносно одного в площині контакту витків, знижує ймовірність проскакування фаз при проході ними елемента (а. с. № SU1311768A1 і SU1562021A1).

Елемент у вигляді дротяної спіралі, кожен еліптичний виток якої повернутий відносно сусіднього на певний кут (а. с. № SU967533A1).

Недоліком елемента у вигляді тонкостінного циліндра з кільцевими гофрами є утворення застійних зон в нижній частині западин гофрів за умови горизонтального або похилого положення елемента (а. с. № SU1212524A1).

Елемент у вигляді згорнутої з перфорованої смуги (а. с. № SU1627229A1), а також із сітки (а. с. № SU1487959A1) спіралі Архімеда. Аналогічний елемент у вигляді згорнутої із суцільної смуги спіралі Архімеда з надрізаними лусочками (а. с. № SU899104A1).

За матеріалом – елементи з металів та їх сплавів, полімерів і пластмас (зокрема полімерних композиційних матеріалів) та інших неметалевих матеріалів, зокрема армованого волокном вуглецевого матеріалу (заявки № DE102018221652A1 та US2021220799A1).

Елемент спіральньо-циліндричної або спіральньо-конічної форми, виготовлений з металеві або полімерної стрічки, характеризується високою технологічністю (пат. № RU2232631C1). Недолік – використання стрічки підвищеної товщини для забезпечення необхідної жорсткості елемента.

Кільцеві насадки виготовлені з пластмаси на основі полівінілхлориду (а. с. № SU899594A1), елементи регулярної насадки у вигляді гофрованої сітки з поліетилену (пат. № RU47505U1) та гофрованого полімерного листа (а. с. № SU1101284A1).

Елемент у вигляді циліндричної прямої або вигнутої по довжині спіралі з поліетилену або поліпропілену (пат. № JPS63197600A). Стрічка посилена центральним порожнистим стрижнем, що дещо ускладнює конструкцію елемента. Елемент аналогічної форми, виготовлений зі стрічки з виконаними на її крайках зубцями, що турбулізують потоки фаз (пат. № FR2403818A1).

Незважаючи на велику різноманітність штампованих насадкових елементів тепломасообмінних апаратів, їхні конструкції завдяки високій технологічності та відносно низькій вартості безперервно вдосконалюються.

2.1.6. Рухлива насадка

Разом з насадковими тепломасообмінними колонами з нерухомою насадкою [1–4] розроблено конструкції апаратів з рухомою насадкою, різновидом яких є колони з трифазним псевдозрідженим шаром [21, 41].

Турбулізація потоків оброблюваних фаз в апаратах з рухомою насадкою на порядок вища, ніж в апаратах з нерухомою насадкою [2]. Особливо ефективними є ці апарати за умови високого дифузійного опору в легкій фазі, а також під час оброблення забруднених фаз [21].

Аналіз конструктивного виконання рухливої насадки тепломасообмінних колон дає змогу запропонувати її укрупнену класифікацію (рис. 2.61).

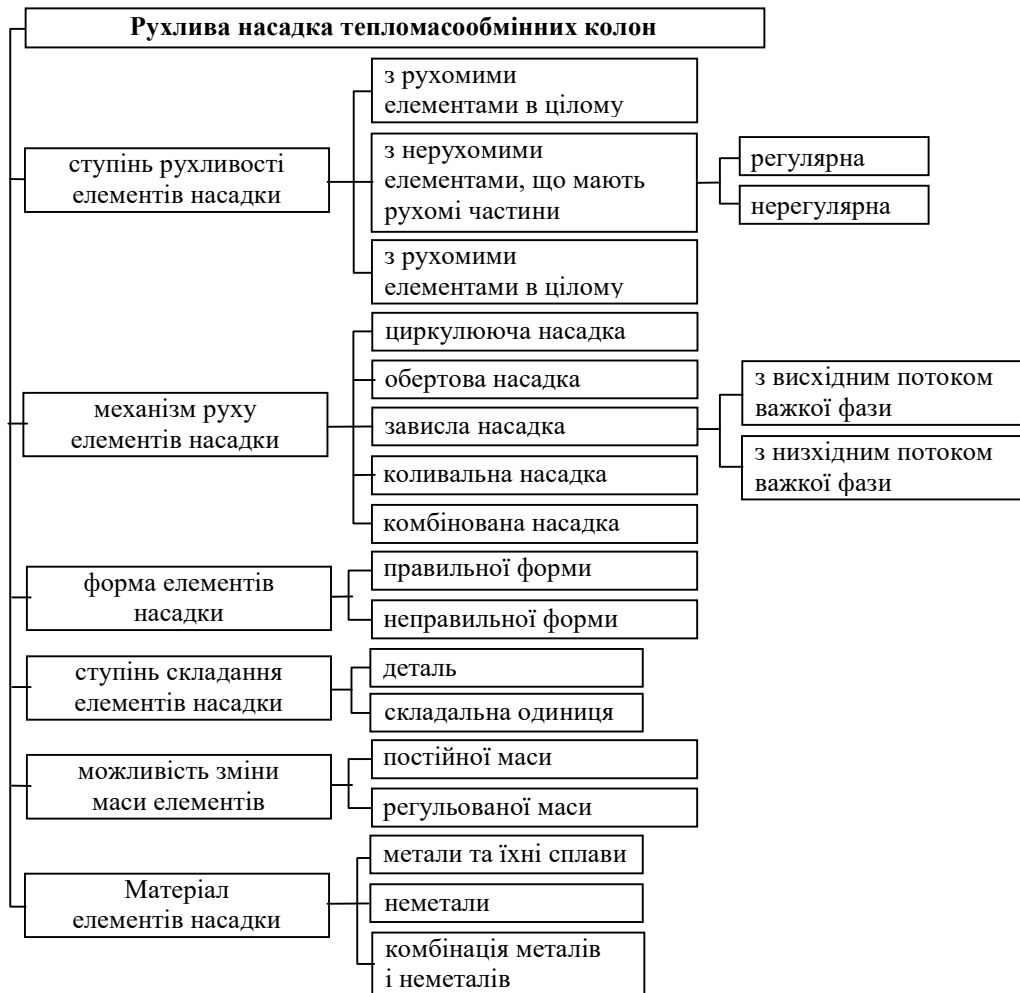


Рис. 2.61. Класифікація рухливої насадки тепломасообмінних колон

За ступенем рухливості елементів насадки – колони з рухомими елементами в цілому, щонайменше з однією рухомою складовою кожного елемента, а також з комбінованими елементами.

У більшості колон з рухливою насадкою рухомими є елементи насадки в цілому, проте розроблено нерухомі елементи з однією або декількома рухомими частинами. При цьому нерухомі елементи з рухомими частинами можуть формувати регулярну й нерегулярну насадки.

Елемент регулярної насадки виконано у вигляді вертикального порожнистого циліндра із закріпленою всередині нього на пружинах трубчастою вставкою (пат. № RU174152U1, RU189422U1, RU196444U1 і RU198655U1). Під час роботи вставка інтенсивно вібрує.

Елемент аналогічної форми з циліндричною пружиною, що проходить крізь стінку, і закріпленими на її кінцях внутрішнім і зовнішнім вантажами у вигляді коротких трубок (пат. № RU160198U1). Для надійного колювання зовнішніх вантажів сусідні елементи необхідно розташовувати з проміжком між ними.

Елемент регулярної насадки у вигляді закритого перфорованими кришками вертикального порожнистого циліндра з сипким матеріалом усередині нього, який під впливом легкої фази псевдозріджується (пат. № UA110925U; рис. 2.62).

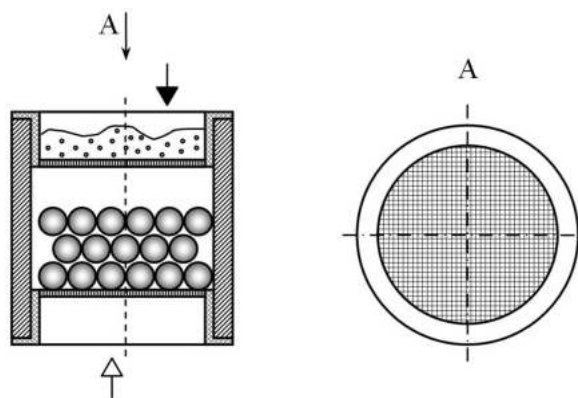


Рис. 2.62. Елемент насадки згідно з пат. № UA110925U

Елемент регулярної насадки у вигляді вертикального порожнистого циліндра з конічною пружиною та відбійником на її вершині (а.с. № SU1632451A1). У процесі роботи пружина вібрує, додатково диспергуючи потоки фаз.

Сферичний елемент нерегулярної насадки з додатковим вантажем усередині нього складається з двох перфорованих півсфер, з'єднаних за допомогою з'єднання типу «твіст-офф» (пат. № UA132063U; рис. 2.63). За низьких швидкостей фаз елементи насадки нерухомі, а коливається лише додатковий вантаж. Зі збільшенням швидкостей фаз настає режим псевдозрідження елементів.

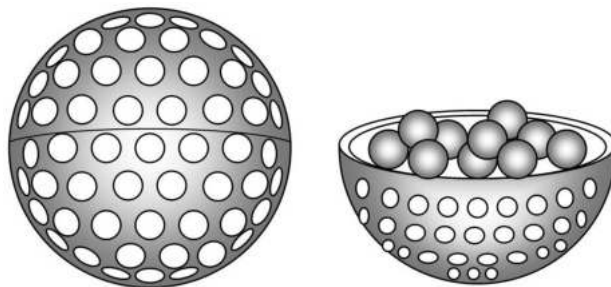


Рис. 2.63. Елемент насадки згідно з пат. № UA132063U

До комбінованих належить елемент насадки у вигляді перфорованого циліндричного кільця з внутрішньою вставкою, закріпленою за допомогою

пружних стрижнів (а. с. № SU1400649A1). У процесі роботи колони утворюється псевдозріджений шар з вставкою, що вібрує всередині кожного елемента.

Аналогічний комбінований елемент, але із вставкою, нахиленою до подовжньої осі циліндричного кільця (пат. № RU148733U1).

Комбінований елемент у вигляді порожнистого циліндра з поперечним еластичним бандажем, що вібрує під впливом фаз (а. с. № SU1528545A2).

Елемент насадки містить оболонку у вигляді прямого кругового циліндра з відкритими основами й розміщеним у ньому вкладишем, виконаним у вигляді твердого тіла з відкритими порами з можливістю проходження оброблюваних фаз крізь оболонку та унеможливлення утворення в ній застійних зон. При цьому вкладиш виконано у вигляді пружного пучка скрученого дроту та/або переплетених між собою волокон, елементи якого коливаються під дією потоків оброблюваних фаз (пат. № UA124388C2 та UA136499U; рис. 2.64).

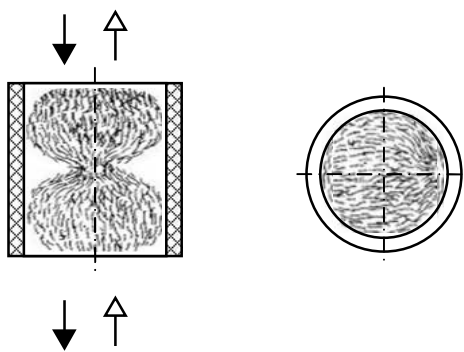


Рис. 2.64. Елемент насадки згідно з пат. № UA124388C2 та UA136499U

За механізмом руху елементів насадки – апарати із завислою (псевдозрідженою), циркулюючою, обертовою, коливальною (вібруючою) і комбінованою насадкою.

Апарати з завислою насадкою поділяють на апарати з висхідним, а також з низхідним потоком важкої фази (а. с. № SU901798A1). У першому разі густина матеріалу насадки більша за густину важкої фази, а в другому – менша. Такі апарати характеризуються хаотичним і пульсаційним рухом елементів насадки в завислому стані (псевдозрідженому шарі).

Колона з перфорованими конічними тарілками, спрямованими вершинами догори (пат. RU173764U1). У процесі роботи рухлива гофрована насадка утворює псевдозріджений шар між сусідніми тарілками.

Корпус колони виконано у вигляді зрізаного конуса з більшою основою вгорі, горизонтальними розподільними тарілками, а також розміщеними на кожній тарілці рухливими насадковими елементами, густина яких знижується від нижньої тарілки до верхньої (а. с. № SU1247068A1). Колона вирізняється високою ефективністю в широкому діапазоні навантажень по легкій фазі.

У контактній зоні колони з завислою насадкою розміщено вертикальні стрижні або струни з вільно розташованими на них сферичними елементами насадки (а. с. № SU682255A1). Аналогічні елементи в нижній частині мають радіальні циліндричні голки (а. с. № SU1287927A1).

В удосконаленій колоні густина встановлених на кожному стрижні елементів знижується знизу-вгору (а. с. № SU793620A2). Під дією висхідного потоку легкої фази елементи «розтягуються» по висоті контактної частини, знижуючи гідравлічний опір колони.

Елементи насадки нерухомо встановлені на гнучких струнах, закріплених у розподільних решітках, при цьому одна з решіток може змінювати своє положення по висоті колони (пат. № UA56771U). Регулюванням відстані між решітками досягають потрібної амплітуди коливань елементів.

Контактний елемент у вигляді вертикального шнура з пучками коротких волокон на ньому (пат. № RU2264252C2). Недолік – складність очищення елементів.

Колона зі встановленими на вертикальних стрижнях обертовими елементами у вигляді тіл обертання з похилими виступами, западинами або наскрізними каналами (пат. № UA790U).

Вільно встановлені на вертикальних стрижнях елементи з профілем крила (а. с. № SU841656A1), а також у вигляді крильчаток (а. с. № SU1500353A1 і SU1678437A1), що обертаються під впливом потоків фаз.

Крильчатки встановлено на кульових опорах, що забезпечують зміну їх перекосу під час обертання крильчаток (а. с. № SU1187855A1). Також крильчатки розташовують всередині сітчастих напрямних елементів, що підвищують насосний і диспергувальний ефекти насадки (а. с. № SU1741884A1).

Елементи встановлено на гнучких струнах, консольно закріплених у перфорованій опорній решітці (а. с. № SU850183A1, SU791401A1). Недолік – струни можуть переплутатися, що знижує надійність роботи колони.

Замість струн використовують вертикальні ланцюги, з'єднані між собою горизонтальним ланцюгом для унеможливлення взаємного переплетення ланцюгів під час роботи (а. с. № SU1152630A1).

Колона з насадкою у вигляді вертикальних ланцюгів, закріплених своїми кінцями на двох вібруючих розподільних решітках (пат. № RU2465957C1). Недолік колони – додаткові витрати енергії, що споживається електромагнітними коливальними пристроями решіток.

Насадка у вигляді багатопетльового ланцюга під час обтікання її оброблюваними фазами безперервно коливається, турбулізуючи потоки фаз і знижуючи ймовірність їх проскакування без взаємодії одна з одною (пат. № DE202014101190U1).

У верхній частині колони змонтовано горизонтальний барабан, що взаємодіє з кількома замкненими ланцюгами, що вільно висять на ньому (а. с.

№ SU1041136A1). Під час обертання барабана ланцюги не тільки турбулізують потоки фаз, але й забезпечують їх самоочищення від різних відкладень.

Колона містить дві рознесені по висоті розподільні решітки із закріпленими на них одним або двома кінцями контактними елементами у вигляді вертикальних стрічок (а. с. № SU1214178A1).

Порожнистий перфорований елемент з розташованою в ньому кулькою з феромагнітного матеріалу, що вібрує під впливом електромагнітного поля (пат. № CN108144419A).

Елемент виконано у вигляді двох розміщених одна в одній сферичних оболонок з отворами в стінках, при цьому порожнини оболонок заповнено рухомими вставками (пат. № CN206613502U).

Елементи у вигляді кульок закріплено над розподільною решіткою за допомогою коротких пружних струн, що забезпечують взаємне віддалення сусідніх кульок лише на невелику відстань (а. с. № SU1142131A1). Кульки, що коливаються, не тільки збільшують поверхню контакту фаз, але й підвищують рівномірність розподілу легкої фази на виході з розподільної решітки.

Розподільний пристрій колони складається з двох перфорованих тарілок з розміщеними між ними елементами рухомої насадки у вигляді порожнистих циліндрів з суцільною або перфорованою стінкою, а також стрічкових циліндричних спіралей (заявка № WO2004/060524A1). Елементи насадки не лише поліпшують розподіл фаз, а й підвищують поверхню їх контакту.

Елемент регулярної насадки у вигляді циліндричної оболонки з відігнутими всередину радіальними пелюстками, між якими на осі з можливістю обертання встановлено гвинтову турбінку (а. с. № SU1333387A1).

Елемент регулярної насадки у вигляді циліндричної оболонки з вільно встановленою всередині неї на поперечній осі короткою трубкою зі скошеними паралельними торцями (пат. № UA126202U; рис. 2.65).

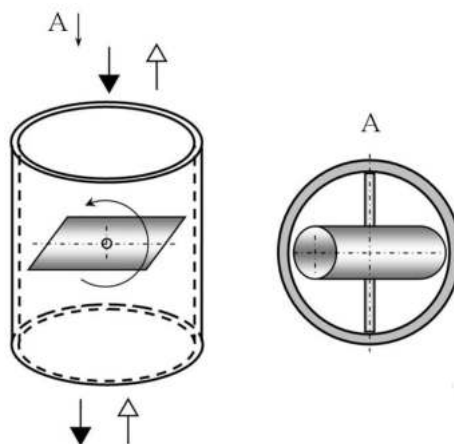


Рис. 2.65. Елемент насадки згідно з пат. № UA126202U

В аналогічному елементі на взаємно перпендикулярних поперечних осях встановлено дві крильчатки (пат. № CN206701289U).

Елемент у вигляді порожнистого перфорованого циліндра з днищами та розміщеною в його порожнині на подовжній осі крильчаткою (пат. № CN207839008U).

Елемент у вигляді перфорованої сфери з крильчаткою (пат. № CN207970865U) і вільно встановленим на осі обертовим порожнистим однопологим гіперболоїдом (пат. № CN207970866U). Недолік зазначених елементів – складність виготовлення та очищення від забруднень і відкладень.

Елемент насадки у вигляді трьох кілець, розташованих в ортогональних площинах і з'єднаних між собою, при цьому на поперечній осі всередині кілець встановлено обертовий елемент (пат. № UA131563U; рис. 2.66). У разі встановлення на поперечній осі додаткових обертових елементів сусідні обертові елементи встановлено з можливістю обертання в протилежних напрямках, що підвищує турбулізацію оброблюваних фаз.

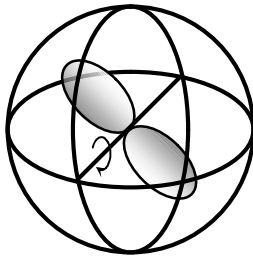


Рис. 2.66. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA131563U

Контактну зону колони за допомогою сіткового каркаса поділено на окремі секції, у кожній з яких встановлено кульку (пат. № CN207628427U). Фази інтенсивно переміщуються й диспергуються не тільки проходячи крізь комірки сітки, але й обтікаючи кульки, що хаотично рухаються в секціях.

Елемент регулярної насадки виконано у вигляді увігнутої оболонки обертання, всередині якої встановлено дві вставки у вигляді двох дипірамід, з'єднаних між собою пружиною (пат. № UA6504U). За вертикального розташування елемента під впливом висхідного потоку й відповідної жорсткості пружини верхня дипіраміда буде коливатися, турбулізуючи потоки фаз.

Елемент насадки у вигляді циліндричної оболонки із закріпленою в її порожнині на пружних елементах кулькою, що коливается під дією оброблюваних фаз (пат. № UA101453U). В удосконаленому елементі всередині порожнистої кульки розміщено тіло обтічної форми (пат. № UA110926U).

Елемент насадки містить оболонку у вигляді порожнистого кільцевого циліндра з двома відкритими основами, всередині якої з проміжком відносно неї розташовано об'ємну вставку обтічної форми, зафіксовану між розпірними пружинами, при цьому на внутрішній поверхні стінки оболонки поблизу її основ виконано кільцеві або спіральні пази, розпірні пружини виконано конічними, а більший виток кожної розпірної пружини розміщено у відповідному кільцевому або спіральному пазу оболонки (пат. № UA147972U; рис. 2.67).

Технічне рішення спрощує складання й розбирання елемента, збільшує питому поверхню елемента, а також забезпечує рухомість вставки в усіх напрямках, що інтенсифікує процес тепломасообміну.

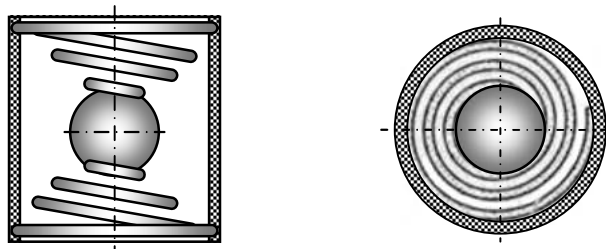


Рис. 2.67. Елемент насадки згідно з пат. № UA147972U

Елемент насадки містить оболонку у вигляді порожнистого кільцевого циліндра з двома відкритими основами, на внутрішній поверхні стінки якої поблизу однієї її основи більшим витком закріплено конічну пружину з розташованим вздовж подовжньої осі оболонки вільним кінцем у її вершині зі встановленою на ньому з можливістю вільного обертання крильчаткою (пат. № RU200832U1). Недолік конструкції – потреба в додатковій фіксації крильчатки на вільному кінці конічної пружини для унеможливлення її скидання з нього під час роботи елемента. Також консольне розташування крильчатки на конічній пружині не виключає можливості відхилення осі обертання крильчатки від подовжньої осі оболонки, порушення динамічної рівноваги крильчатки та виходу з ладу елемента насадки.

Елемент насадки містить оболонку у вигляді порожнистого кільцевого циліндра з двома відкритими основами, на внутрішній поверхні стінки якої поблизу однієї її основи більшим витком закріплено конічну пружину з розташованим вздовж подовжньої осі оболонки вільним кінцем у її вершині зі встановленою на ньому з можливістю вільного обертання крильчаткою, при цьому його оснащено додатковою конічною пружиною, аналогічною конічній пружині й закріпленій на внутрішній поверхні стінки оболонки поблизу другої її основи, при цьому крильчатку встановлено й на вільному кінці додаткової конічної пружини (пат. № UA147973U; рис. 2.68). Спрощується складання й розбирання елемента, збільшується питома поверхня елемента, а також унеможливується відхилення осі обертання крильчатки від подовжньої осі оболонки, що підвищує надійність елемента насадки.

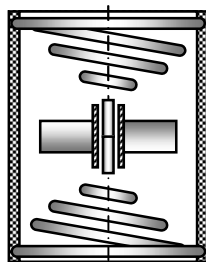


Рис. 2.68. Елемент насадки згідно з пат. № UA147973U

На горизонтальні стрижні нанизано короткі циліндричні трубки (пат. № GB1171958A). Під впливом висхідного потоку легкої фази трубки піднімаються на стрижнях і починають коливатися або обертатися.

Регулярна насадка складається з блоків у вигляді двох паралельних багатокутних пластин, з'єднаних між собою центральним стрижнем і циліндричними спіралями, що коливаються під впливом потоків фаз у подовжньому та поперечному напрямках (пат. № GB1083945A).

Апарати з насадкою, що коливається (вібрує), розроблені для мокрого газоочищення запиленних газів, але можуть бути використані й як абсорбери. Елементи насадки вільно укладено на оснащений вібратором еластичній розподільній тарілці (пат. № RU2286834C1 і RU2286835C1) або на жорсткій розподільній тарілці, закріпленій на корпусі, що вібрує (пат. № UA77166U та UA77167U). В аналогічному апараті еластичними виконані не тільки оснащені вібраторами розподільна та обмежувальна тарілки, але й елементи насадки (пат. № RU2280492C1).

Елемент насадки у вигляді еластичного циліндричного кільця з розміщеною всередині нього хрестовиною, взаємно перпендикулярні плечі якої мають різну довжину (пат. № RU107963U1). Для виготовлення елементів насадки можна використовувати відходи еластичних трубчастих виробів, наприклад шлангів [42].

Положення сферичних елементів насадки визначається розмірами комірок горизонтальних сіток, а також відстанню між ними (пат. № СН506446А; рис. 2.69). Варіюванням зазначених параметрів, а також густиною матеріалу елементів досягають бажану рухливість цих елементів.

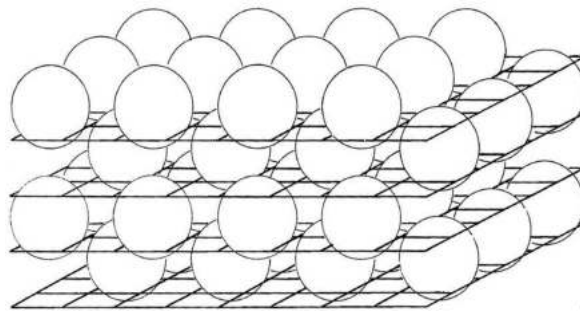


Рис. 2.69. Елемент регулярної насадки згідно з пат. № СН506446А

Елемент у вигляді трьох розташованих у взаємно перпендикулярних площинах відрізків трубок з косими паралельними торцями (а. с. № SU1063446A1). Елементи не тільки хаотично рухаються в псевдозрідженому шарі, але й інтенсивно обертаються, сприяючи турбулізації та диспергуванню фаз.

До апаратів з комбінованим механізмом руху елементів насадки можна віднести колону з рухомою насадкою, кожен елемент якої виконано у вигляді сфери, що складається з двох півсфер, з'єднаних між собою пружним елемен-

том (а. с. № SU430872A1). Під впливом потоків фаз сам елемент перебуває у режимі псевдозрідження, а його півсфери коливаються.

За формою елементів насадки – апарати з насадкою правильної та неправильної геометричної форми.

Найчастіше використовуються елементи насадки у вигляді тіл правильної геометричної форми, що забезпечує однорідність структури шару насадки з метою виключення взаємного проскакування фаз без їхньої взаємодії одна з одною.

Елементи у вигляді кулі (пат. № JPS60212206A), а також сфер з гладкою (пат. № US3122594A і US3350075A), ребристою (а. с. № SU793634A1 і SU892185A1) та перфорованою поверхнею (а. с. № SU1212523A1, пат. № UA71359U).

Елемент з високою питомою поверхнею виконано у вигляді складеної з двох перфорованих півсфер сфери з розміщеною в ній кулею, при цьому кожну з півсфер з боку її внутрішньої поверхні оснащено стрижнями для фіксації кулі, а на основах півсфер виконані виступи для утворення з'єднання типу «твіст-офф» (пат. № UA134266U; рис. 2.70).

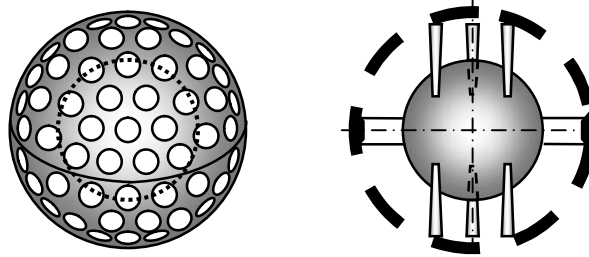


Рис. 2.70. Елемент нерегулярної насадки згідно з пат. № UA134266U

Елемент насадки у вигляді сфери з місцевим стовщенням з боку внутрішньої поверхні (а. с. № SU698639A1). У висхідному потоці зріджувального агента елемент розташовується стовщенням вниз, що підвищує стійкість його положення та знижує гідравлічний опір шару насадки.

Елемент насадки у вигляді сфери з місцевою перфорованою ділянкою (а. с. № SU728892A1). Під час псевдозрідження крізь перфорацію всередину елемента потрапляє певний об'єм важкої фази, що змінює масу елемента. В результаті елемент набуває нерівномірного, пульсуючого характеру руху. Однак наявність в елементі неконтрольованого об'єму рідини не забезпечує стабільності гідродинаміки процесу псевдозрідження.

Елемент у вигляді кулі з глухими отворами, зміщеними відносно осей симетрії кулі (а. с. № SU915918A1). Під впливом легкої фази елемент не лише хаотично рухається в псевдозрідженому шарі, а й відносно свого центру мас. Однак глухі отвори схильні до забруднення, що змінює масу елемента та характер його руху.

Сферичний елемент виконано у вигляді згорнутої в спіраль стрічки змінної ширини (а. с. № SU570387A1), у вигляді пучка радіальних голок, закріплених між трьома взаємно перпендикулярними кільцями, при цьому кільця перешкоджають зчепленню елементів між собою (а. с. № SU441028A1), а також у вигляді розташованих одна в одній сфер, кожна з яких виконано у вигляді трьох взаємно перпендикулярних кілець (а. с. № SU523705A1).

Елемент у вигляді сфери з розташованою в її центрі кулею, густина матеріалу якої вища за густину матеріалу сфери, при цьому простір між сферою й кулею заповнено пористим матеріалом (а. с. № SU1271549A1). Залежно від співвідношення розмірів і густин матеріалів частин елемента насадки забезпечується його ефективне обертання в процесі роботи.

Для підвищення диспергувальних властивостей кулястих елементів у них виконують наскрізні діаметральні канали (а. с. № SU880455A2), наскрізні канали, що не перетинаються між собою (а. с. № SU572284A1), а також виконують на їхній поверхні кільцеві виступи, розташовані поза діаметральними площинами (а. с. № SU1586774A1).

У кулястому елементі наскрізні криволінійні або східчасті канали, що не перетинаються, забезпечують інтенсивне обертання елемента (а. с. № SU1095971A1). Недоліки елемента – складність виконання каналів.

Для виключення «злипання» кулястих елементів між собою їх забезпечують радіальними виступами (пат. US2198861A, а. с. № SU614806A1). Недоліки насадки – складність виготовлення, а також інтенсивне зношування виступів у результаті взаємних зіткнень елементів.

Кулястий елемент виконано у вигляді трьох круглих дисків, розташованих у взаємно перпендикулярних площинах (а. с. № SU237100A1). Елемент не виключає утворення застійних зон у місці перетину дисків.

Зазначеного недоліку позбавлено кулястий елемент у вигляді горизонтального круглого диска з центральним отвором і скріплених з ним трьох круглих вертикальних кілець, розташованих під кутом 120° між собою (а. с. № SU990278A1). Проте цей елемент досить складний у виготовленні.

У загальному випадку форма елементів рухомої насадки може бути найрізноманітнішою (за відповідної густини матеріалу насадки). При цьому елементи насадки не повинні мати гострих виступів і западин для виключення їх взаємного зчеплення один з одним.

Елемент рухомої насадки у вигляді сплюснутої кулі з подовжніми западинами на широких ділянках виготовлено з полімеру (заявка № WO94/29019A1).

Елемент насадки у вигляді порожнистого тіла краплеподібної форми з прямолінійними або гвинтоподібними лопатями (а. с. № SU403423A1). В удосконаленому елементі гвинтоподібні лопаті виконано у вигляді частини порожнистого тора (а. с. № SU556827A1). Недолік елементів – складність у виготовленні.

Елемент у вигляді порожнистого циліндра із зовнішніми лопатями та внутрішньою вставкою, що має форму гіперболічного параболоїда (а. с. № SU691171A1). Елемент складний у виготовленні та не гарантує стабільної гідродинаміки фаз за умови зміни його положення в просторі.

Елементи у вигляді зрізаних конусів із зовнішніми лопатями мають такий самий недолік (а. с. № SU740266A1 і SU940817A1).

Елемент виконано у вигляді опуклого багатогранника зі зміщеною відносно його центра кулею, що стабілізує положення елемента в процесі роботи (а. с. № SU1576191A2, пат. № RU2124941C1).

Елементи рухомої насадки у вигляді перфорованого куба та півсфери з дном (пат. № GB1204781A).

Елемент у вигляді циліндричної оболонки з протилежно розташованими косими зрізами стінок поблизу торців (а. с. № SU654275A1).

Елемент у вигляді короткого відрізка циліндричної трубки з косими непаралельними торцями (а. с. № SU980790A1). Елемент технологічний у виготовленні, проте внаслідок несиметричної форми не забезпечує стійкої рівномірної гідродинаміки псевдозрідженого шару.

Елемент у вигляді суцільного тіла обтічної форми з плоским стабілізатором положення елемента в просторі, при цьому кромку стабілізатора може бути виконано із зубцями, що по черзі відігнуто в протилежні боки (а. с. № SU1088763A1).

Елементи у вигляді скрученого по довжині профілю Х-подібного поперечного перерізу (а. с. № SU484715A1 і SU1150008A1).

Елемент у вигляді замкненої циліндричної оболонки з подовжніми виступами й западинами, а також відігнутими всередину оболонки пелюстками (а. с. № SU1274750A1).

Полімерний елемент у формі куба, бічну поверхню якого утворено шістьма чотиригранними пірамідами зі зрізаними вершинами, що формують канал для проходження фаз (а. с. № SU1572692A1).

Елемент у вигляді замкненої оболонки (у вигляді сфери, куба тощо) з розміщеною в його порожнині пружною вставкою, що спричинює різкі зміни напрямку руху елемента (а. с. № SU553994A1).

За ступенем складання елементів насадки – апарати з насадкою у вигляді деталей і складальних одиниць.

Елементи насадки у вигляді деталей зазвичай мають простішу форму, хоча сучасні методи перероблення матеріалів на виробі (наприклад, 3D-друк) дають змогу виготовляти виробі майже довільної форми.

Виконаний у вигляді деталі елемент, одержуваний одночасною екструзією декількох полімерних стренг і має форму сфери або еліпсоїда (заявка № US2017/190075A1; рис. 2.71). Зазначений елемент характеризується високою технологічністю та безвідхідністю під час виготовлення [36, 43].

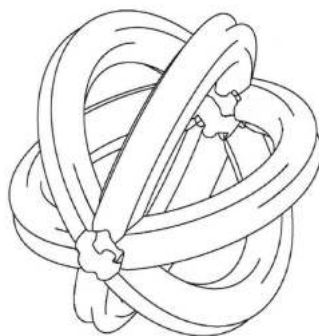


Рис. 2.71. Елемент рухомої насадки згідно із заявкою № US2017/190075A1

Елементи насадки, що розглянуто раніше й мають рухомі частини (коливальні, обертові тощо), представляють собою складальні одиниці.

Елементи насадки у вигляді складальних одиниць виконано у вигляді сітки з рухомою кулею всередині (а. с. № SU725688A1 і SU1225608A1).

У колоні, заповненій аналогічною насадкою, у сітчастих сферах сусідніх шарів рухливі кулі мають різну масу (а. с. № SU1782642A1).

Полімерний сферичний елемент, що складається з двох півсфер, основу однієї з яких виконано зубчастою (а. с. № SU915917A1). Густина матеріалу однієї з півсфер більша за густину матеріалу другої півсфери, внаслідок чого елемент у контактній зоні апарата розташовується зубцями вгору, що підвищує стабільність гідродинаміки фаз та їх гомогенізацію.

Елемент виконано у вигляді чотирьох з'єднаних між собою опуклих рівносторонніх трикутників з утворенням оболонки, при цьому вершини опуклих трикутників спрямовані до центра оболонки (а. с. № SU1018700A1). Недоліки елемента – значне утворення відходів під час його виготовлення.

Елемент у вигляді кулі з радіальними каналами, а також ежектором і стабілізатором положення, які інтенсифікують циркуляцію й диспергування фаз під час проходження ними елемента (а. с. № SU1031483A1). Цей елемент не тільки нетехнологічний, але й дуже чутливий до забруднення.

Виготовлений за допомогою 3D-друку елемент у вигляді кулі з радіальними круглими каналами та численними надрізами можна використати як носій для каталізатора (заявка № DE102020112372A1; рис. 2.72). Недолік елемента – схильність до забруднення.



Рис. 2.72. Елемент рухомої насадки згідно із заявкою № DE102020112372A1

За можливістю зміни маси елементів насадки – апарати з постійною (фіксованою) та регульованою масою елементів насадки.

Елементи насадки регульованої маси виконано у вигляді циліндричної оболонки з двома торцевими кришками (пат. № UA105266U). Наявність всередині елемента додаткового вантажу (кускового, сипкого, рідкого) дає змогу змінювати масу елемента, а отже і його плавучість в об'ємі важкої фази.

Виконаний з еластичного матеріалу сферичний елемент частково заповнено рідиною (пат. № SU967532A1). Заповнення та спорожнення елемента здійснюють за допомогою шприца, при цьому отвір, що утворюється в стінці елемента після вилучення голки, затягується. Елемент вирізняється широкими технологічними можливостями й низьким рівнем шуму під час роботи.

За матеріалом елементів насадки – апарати з металевою, неметалевою та комбінованою рухомою насадкою.

Металеві елементи з огляду на велику густину металу виготовляють рідко, наприклад, у вигляді замкненої оболонки (пат. № UA105266U).

Великі можливості для виготовлення елементів рухомої насадки надають композиційні матеріали і насамперед з використанням полімерів, у тому числі спінених (пат № FR2112104A7; [44]).

Елемент з полімерних матеріалів (поліетилен, поліпропілен, полівінілденфторид та ін.) виконано у вигляді тіла обтічної форми з кільцевим стовщенням у нижній частині (заявка № GB2551272A; рис. 2.73). У процесі роботи зазначена форма елемента забезпечує його стабільне положення у просторі.

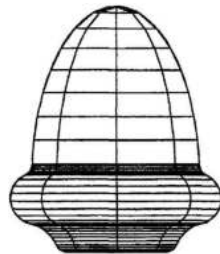


Рис. 2.73. Елемент рухомої насадки згідно із заявкою № GB2551272A

Також елементи насадки виготовляють з політетрафторетилену (а. с. № SU1782642A1), поліуретану (пат. № GB1097473A), полівінілхлориду (а. с. № SU899594A1) і гуми (а. с. № SU466038A1).

Переважає більшість конструкцій рухомих насадок належить до другої половини минулого століття, після чого кількість розробок у цьому напрямку зменшилася. Очевидно, це пов'язано з більш жорсткими режимами проведення технологічного процесу порівняно з тепломасообмінним обладнанням з нерухомою насадкою. Проте завдяки широким технологічним можливостям тепломасообмінних колон з рухомою насадкою, а також методам математичного моделювання можна очікувати появи як нових конструкцій тепломасообмінних апаратів, так і рухомих насадок для них.

2.2. Тарілки тепломасообмінних колон

2.2.1. Формування переліку тарілок тепломасообмінних колон

Разом з насадковими тарілчасті колонні апарати є одним з найбільш поширених видів тепломасообмінного обладнання. При цьому серед різноманітних конструкцій тарілчастих колон зі зливними (переливними) пристроями виділяються колони з ковпачковими тарілками, що забезпечують високу ефективність роботи в широкому діапазоні навантажень по важкій і легкій фазах, а також співвідношенням густин оброблюваних фаз [21].

До основних типів високоефективних контактних тарілок належать ковпачкові та клапанні тарілки, а також штаповані й похилі тарілки. Також розглянемо комбіновані контактні пристрої тепломасообмінних колон, до складу яких входять як тарілки, так і насадка.

2.2.2. Ковпачкові тарілки

Незважаючи на високу ефективність і надійність круглих ковпачків контактних тарілок тепломасообмінних колон [2, 19, 21, 24], що добре зарекомендували себе для оброблення найрізноманітніших середовищ, протягом останніх десятиліть продовжуються досить активні пошуки шляхів удосконалення їх конструкцій. Насамперед, це можна пояснити прагненням дослідників і проектувальників розробити конструкції не спеціалізованих, а універсальних ковпачків, що дають змогу ефективно обробляти численні середовища з різними властивостями.

Аналіз існуючих конструкцій ковпачкових тарілок дає змогу запропонувати їхню класифікацію за такими ознаками (рис. 2.74):

- формою ковпачків;
- формою й розташуванням каналів ковпачка для диспергування легкої фази;
- способом закріплення ковпачка;
- типом закріплення ковпачка;
- наявністю додаткових елементів для диспергування легкої фази;
- можливістю зміни форми та/або розмірів елементів ковпачка;
- ступенем рухливості елементів ковпачків один відносно іншого;
- наявністю зливного пристрою;
- типом матеріалу ковпачків.

За формою ковпачків розрізняють контактні тарілки з круглими [2, 11, 19, 21, 24, 45], тунельними (пат. № US1918005A і US1982226A, [2]), кільцевими (пат. UA1009U трикутними ковпачками (пат. № US1674464A), а також шестикутними (у вигляді правильної шестигранної призми) ковпачками (пат. № UA123510U та UA134267U). При цьому найбільш поширеними є круглі ковпачки, діаметр яких зазвичай становить 60, 80, 100, 150 [45], а також 300 мм [21].

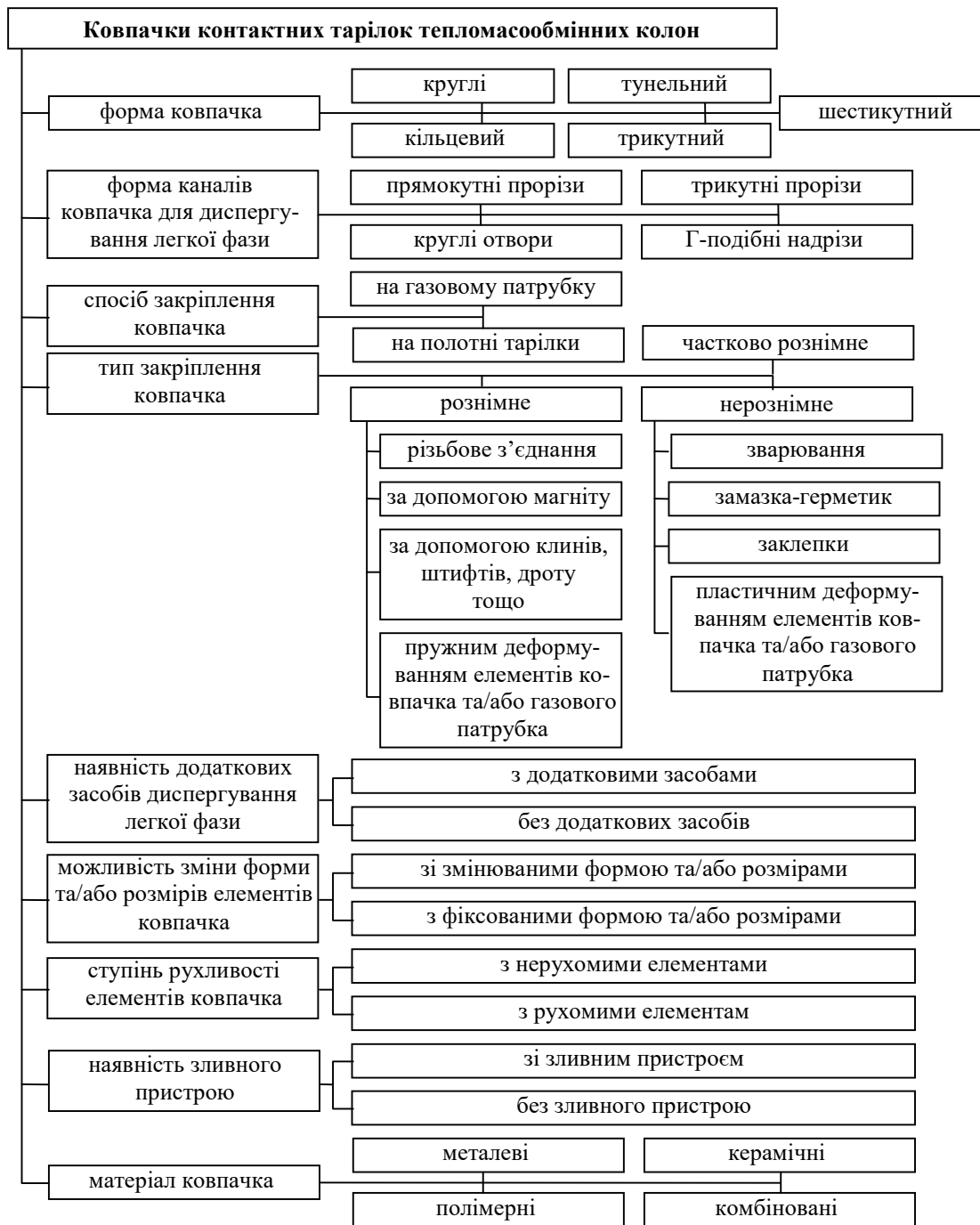


Рис. 2.74. Класифікація ковпачків контактних тарілок тепломасообмінних колон [5]

Традиційні круглі ковпачки складаються із закріпленого в отворі полотна тарілки газового патрубка та привареного до нього зсередини вигнутого стрижня з нарізкою на кінці [2, 19, 21, 24, 45]. На різбовий кінець стрижня накручується регульовальна гайка, в яку своєю кришкою впирається ковпачок, що встановлюється на стрижні й фіксується на ньому другою гайкою – затискнуою. Відстань від нижньої крайки бічної стінки ковпачка до полотна тарілки (глибина барботажу) регулюється положенням обох гайок на стрижні. Основний недолік таких ковпачків – складність конструкції та можливість корозії

різьбової ділянки стрижня, що ускладнює обслуговування та ремонт ковпачків і колони в цілому.

Для спрощення традиційних ковпачків і підвищення їхньої надійності запропоновано найрізноманітніші конструкції. Наприклад, розроблено конструкцію тарілки з круглими ковпачками, виконаної у вигляді двох полотен, у нижньому з яких сформовано газові патрубки, а у верхньому – ковпачки (пат. № UA62066U; рис. 2.75). При розташуванні полотен з проміжком один відносно одного з'являється можливість організації додаткової зони барботажу між ковпачками (за допомогою перфорації у верхньому полотні).

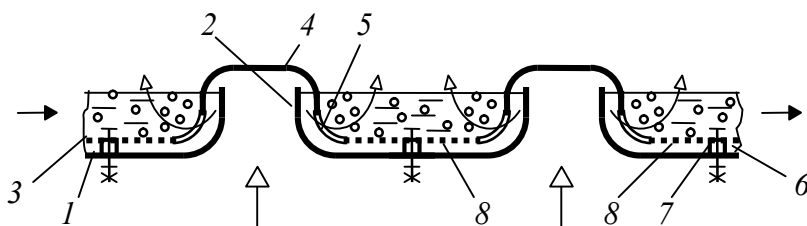


Рис. 2.75. Конструкція ковпачкової тарілки згідно з пат. № UA62066U: 1 – нижнє полотно тарілки; 2 – газовий патрубок; 3 – верхнє полотно тарілки; 4 – ковпачок; 5 – прорізи ковпачка; 6 – проміжок між полотнами тарілки; 7 – дистанційні втулки; 8 – перфоровані ділянки верхнього полотна тарілки

Тарілка містить основне горизонтальне полотно з патрубками для проходу легкої фази, розміщені над ними ковпачки з прорізами та/або щілинами в їхній нижній частині, а також розташоване паралельно основному горизонтальному полотну додаткове перфороване горизонтальне полотно, при цьому ковпачки розташовані в отворах додаткового перфорованого горизонтального полотна, встановленого над прорізами та/або щілинами ковпачків (пат. № UA129958U; рис. 2.76). Технічне рішення підвищує ступінь диспергування легкої фази під час проходження нею шару важкої фази, що збільшує питому поверхню фаз на тарілці, а отже й ефективність тарілки та колони в цілому.

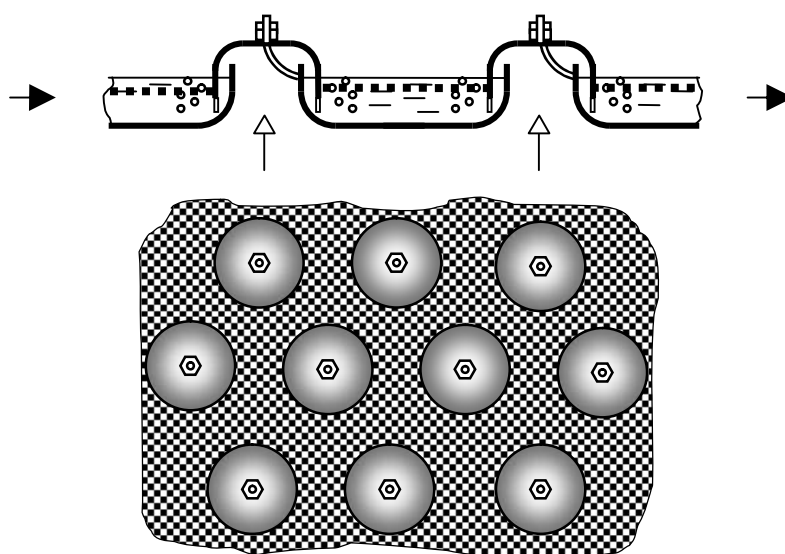


Рис. 2.76. Конструкція ковпачкової тарілки згідно з пат. № UA129958U

Аналогічна тарілка містить горизонтальне полотно з розбортованими вгору отворами з утворенням газових патрубків, над якими встановлене додаткове полотно з ковпачками, утвореними витягуванням відповідних частин додаткового полотна, ділянки якого між ковпачками виконано перфорованими, при цьому на кожному з газових патрубків виконано надрізи з утворенням відігнутих назовні пелюсток для взаємодії з внутрішньою поверхнею відповідного ковпачка (пат. № UA129730U; рис. 2.77). Забезпечується спрощення конструкції та експлуатації тарілки та апарата в цілому.

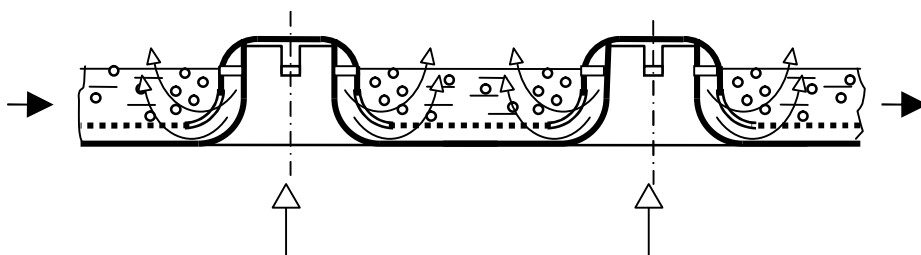


Рис. 2.77. Конструкція ковпачкової тарілки згідно з пат. № UA129958U

Тарілка містить горизонтальне полотно з патрубками для проходження легкої фази й розташованими над ними круглими ковпачками з вертикальними прорізами та/або щілинами в їхніх нижніх частинах, при цьому верхню частину кожного прорізу та/або кожної щілини для поліпшення диспергування легкої фази в шарі важкої фази оснащено відігнутою назовні горизонтальною пелюсткою – плоскою (пат. № RU2500452C2) або скрученою по довжині (пат. № UA134837U).

Також на торцях вертикальних ділянок зігнутих стрижнів нерухомих ковпачків по всій площині контактної частини тарілки може бути встановлено перфороване горизонтальне полотно, що знижує бризковинесення на вищерозташовану тарілку (пат. № UA134565U).

Ковпачкова тарілка містить горизонтальне полотно з патрубками для проходження легкої фази й розташованими над ними круглими ковпачками з отворами, прорізами та/або щілинами в їхніх нижніх частинах, при цьому кожний з ковпачків за допомогою упорного елемента та гайки зафіксовано на L-подібному стрижні, закріпленому на відповідному патрубку, а кожний упорний елемент виконано у вигляді циліндричної пружини стиску (пат. № UA147974U; рис. 2.78). Технічне рішення спрощує процес регулювання висоти розташування кожного ковпачка над горизонтальним полотном лише за рахунок поводження з однією гайкою кожного ковпачка.

Ковпачкова тарілка, кожний круглий ковпачок якої зафіксовано на відповідному L-подібному стрижні з можливістю регулювання його положення в площині полотна тарілки, для чого в центральній частині днища кожного ковпачка виконано овальний отвір або круглі отвори, центри яких розташовано по спіралі Архімеда, початок якої збігається з центром днища

ковпачка (пат. № UA150572U; рис. 2.79). Технічне рішення забезпечує регулювання інтенсивності потоку легкої фази, який виходить з-під ковпачка в простір над полотном тарілки, у площині полотна тарілки в різних напрямках, що дає змогу впливати на рух важкої фази на тарілці, а отже розширює технологічні можливості тарілки.

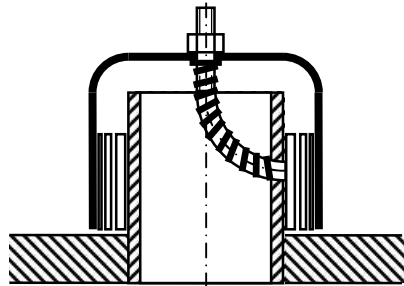


Рис. 2.78. Конструкція ковпачка згідно з пат. № UA147974U

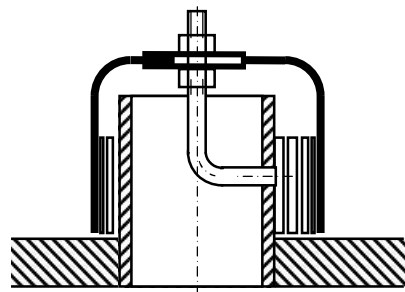


Рис. 2.79. Конструкція ковпачка згідно з пат. № UA150572U

Тунельні ковпачки забезпечують дещо гірші, порівняно з круглими ковпачками, ефективність і стабільність роботи, тому вони застосовуються набагато рідше. Тунельні занурювальні ковпачки з прорізами на їхніх кришках, що забезпечують додаткове диспергування легкої фази, дещо підвищують ефективність тепломасообміну [2]. Проте в разі зниження рівня важкої фази на тарілці такі ковпачки призводять до стрімкого зниження ефективності тепломасообміну внаслідок часткового проскакування легкої фази крізь зазначені прорізи без взаємодії з важкою фазою. Аналогічний круглий ковпачок, тільки з круглими отворами в кришці, описано в пат. № CN101444680A.

У пат. № CN202052340U наведено конструкцію тунельних ковпачків прямокутної форми, за допомогою яких на полотні тарілки формують ряди паралельних контактних елементів, складених з послідовно розташованих ковпачків.

Аналогічні недоліки притаманні й кільцевим ковпачкам, які до того ж характеризуються невисокою уніфікацією, оскільки припускають наявність широкого діапазону ковпачків або їхніх кільцевих сегментів різного радіуса (пат. № UA1009U).

Контактні пристрої ковпачкового типу можна поділяти не лише за формою ковпачків, але й за формою газових патрубків.

У більшості випадків використовують газові патрубки у вигляді кругового циліндричного кільця [2, 11, 19, 21, 24, 45], проте розроблено також конструкції у вигляді зрізаного конуса, що звужується за ходом потоку легкої фази (пат. № US2194126A), а також у вигляді сопла Вентурі (а. с. № SU145510).

Наприклад, у пат. № CN200970489Y описано ковпачок з конічним газовим патрубком і кришкою. При цьому в основі газового патрубка виконано просічки, крізь які всередину газового патрубка потоком легкої фази підсмоктується важка фаза, завдяки чому фази починають взаємодіяти вже всередині ковпачка.

Ковпачкова тарілка містить горизонтальне полотно з ковпачками у формі порожнистої призми, зокрема прямої правильної шестигранної призми, при цьому ззовні каналів для проходу легкої фази в нижніх частинах граней кожного ковпачка встановлено поворотну заслінку у вигляді плоскої пластинки (пат. № UA123510U). Така конструкція тарілки здатна змінювати прохідний переріз ковпачка, що розширює його технологічні можливості. Проте в разі збільшення витрати легкої фази й повороту в нижніх частинах граней стінки ковпачка ця фаза переважно рухатиметься не крізь канали, а суцільним потоком між нижньою крайкою стінки ковпачка й полотном тарілки, що істотно зменшує поверхню контакту фаз та ефективність процесу тепломасообміну.

В удосконаленій конструкції поворотні заслінки ковпачків виконано у вигляді сектора кільцевого циліндра з радіусом, що відповідає висоті поворотної нижньої частини відповідної грані, при цьому кожен поворотну частину граней виконано з можливістю її фіксації у вертикальному положенні (пат. № UA134267U). Конструкція забезпечує дроблення потоку легкої фази на мікроструминки та окремі бульбашки за будь-якої її витрати, що підвищує ефективність процесу тепломасообміну. Крім того, наявність фіксації поворотних частин кожного ковпачка дає змогу зробити грані ковпачків нерухомими.

За видом і формою каналів ковпачка для диспергування легкої фази розрізняють ковпачки з прямокутними вирізами, прямокутними або трикутними прорізами («зубчасті» ковпачки) [21], а також з круглими отворами в стінці ковпачка (пат. № UA55176U). Круглі отвори в стінці ковпачка можуть бути також розташовані в шаховому порядку (пат. № CN202070184U).

У пат. № GB1116648A в нижній частині стінки ковпачка запропоновано виконувати Г-подібні надрізи з подальшим відгинанням надрізаних елементів і формування з них завихрювачів потоку легкої фази.

Також у нижній частині стінки ковпачка запропоновано виконувати криволінійні надрізи (пат. № CN205007980U) або похилі прямокутні прорізи (пат. № CN205164743U), що також забезпечують закручування потоку легкої фази на виході з ковпачка.

За способом закріплення ковпачка контактні пристрої можна поділити на такі, в яких ковпачок закріплюють на газовому патрубку або безпосередньо на полотні тарілки.

Досить поширені кріпильні елементи, які розташовано з обох боків полотна тарілки та стягують частини контактної пристрою між собою (пат. № GB668982A, GB1541189A, DE2745117A1, JPS5476485A, US2084726A, US2338446A, US2391502A, US2428889A, US2438536A, US2443812A, US2445083A, US2491209A, US2508041A, US2547384A, US2578881A, US2580260A, US2612360A, US2645468A, US2645469A, US2650809A, US2653018A, US2705136A, US2710177A, US2778621A, US2785882A, US4146950A, US4192835A та US4305895A).

При цьому нерідко рознімне з'єднання забезпечують за допомогою газових патрубків подвійної товщини (наприклад, пат. № DE2745117A1, US4146950A та US4192835A).

Основний недолік таких пристроїв – висока матеріалоемність.

Безпосередньо до полотна тарілки прикріплюється ковпачок згідно з пат. № RU89973U. У цьому пристрої ковпачок фіксується стінкою кільцевої западини полотна тарілки, утвореної в результаті формування газового патрубка розбортовуванням отвору полотна тарілки (рис. 2.80). Недолік цього контактної пристрою – наявність залишків важкої фази в кільцевій западині полотна тарілки після зупинки колонного апарата і зливу важкої фази з тарілок.

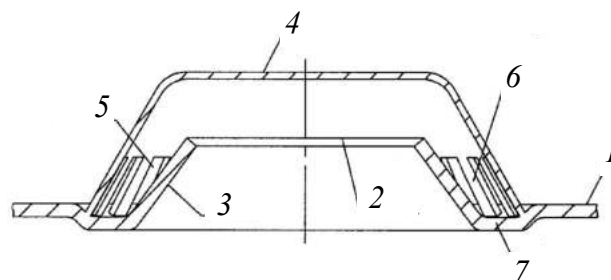


Рис. 2.80. Кріплення ковпачка до газового патрубка згідно з пат. № RU89973U:
1 – полотно тарілки; 2 – отвір полотна тарілки; 3 – газовий патрубок; 4 – ковпачок;
5 – прорізи ковпачка; 6 – пелюстки ковпачка; 7 – кільцева западина полотна тарілки

Ковпачкова тарілка містить горизонтальне полотно з розбортованими вгору отворами з утворенням газових патрубків, а також співвісними з ними кільцевими виступами, над якими встановлено ковпачки з вертикальними прорізами на їхніх основах, при цьому кільцеві виступи полотна виконано спрямованими вгору, основи ковпачків зафіксовано на зазначених виступах, а на зовнішній поверхні основи кожного ковпачка може бути встановлено розрізне пружне кільце (пат. № UA123835U; рис. 2.81). Конструкція унеможливує утворення застійних зон важкої фази на полотні тарілки, а отже поліпшує обслуговування й ремонт колони.

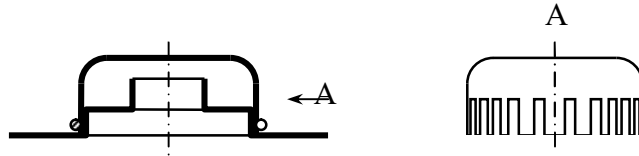


Рис. 2.81. Ковпачкова тарілка згідно з пат. № UA123835U

Ковпачкова тарілка містить горизонтальне полотно з розбортованими вгору отворами з утворенням газових патрубків та спрямованих вгору співвісними з ними кільцевими виступами, на яких своїми основами з прорізами та/або щілинами зафіксовані ковпачки, при цьому над ковпачками з можливістю взаємодії з ними встановлено перфороване горизонтальне полотно (пат. № UA130245U; рис. 2.82). Конструкція підвищує надійність фіксації ковпачків на горизонтальному полотні тарілки, а також забезпечує бризкоуловлювання, а отже унеможливує небажаний частковий перехід важкої фази на вищерозташовану тарілку.

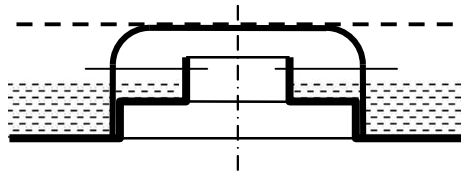


Рис. 2.82. Ковпачкова тарілка згідно з пат. № UA130245U

В удосконаленій тарілці передбачено можливість регулювання відстані між полотном тарілки та перфорованим горизонтальним полотном (пат. № UA134566U).

На відміну від пат. № UA130245U кожний з газових патрубків виконано у вигляді зрізаного конуса, діаметр більшої основи якого дорівнює діаметру відповідного циліндричного кільцевого виступу (пат. № UA146174U; рис. 2.83). Технічне рішення спрощує виготовлення горизонтального полотна тарілки, а також підвищує його міцність і жорсткість.

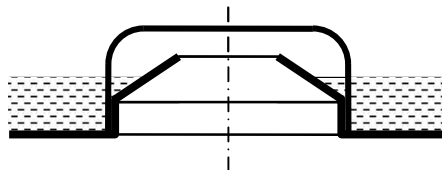


Рис. 2.83. Ковпачкова тарілка згідно з пат. № UA146174U

Безпосередньо до полотна тарілки прикріплюється й ковпачок згідно з пат. № RU2481876U. У цьому пристрої пелюстки ковпачка, які формують з його стінки, пропускаються в прорізи полотна тарілки та загинаються, після чого вони надійно фіксують ковпачок на полотні (рис. 2.84).

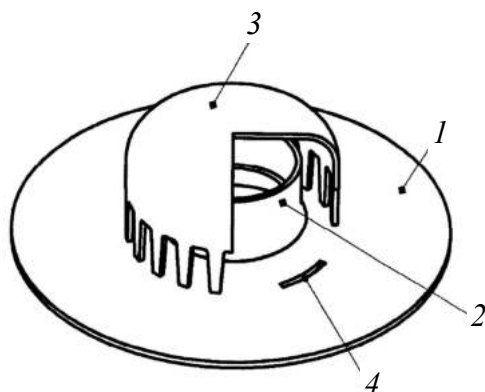


Рис. 2.84. Кріплення ковпачка до газового патрубку згідно з пат. № RU2481876U:
 1 – полотно тарілки; 2 – газовий патрубок; 3 – ковпачок; 4 – просічки у полотні тарілки

Ковпачок за допомогою розбортовування його нижньої частини закріплено болтами безпосередньо на полотні тарілки (пат. № US2819049A). При цьому газовий патрубок сформовано спрямованою вниз розбортовкою отвору, виконаного в полотні тарілки. Недоліком цього пристрою є відсутність можливості регулювання відстані від ковпачка до полотна тарілки.

За типом закріплення ковпачка розрізняють рознімні, нерознімні та частково рознімні ковпачкові контактні пристрої.

До рознімних належать пристрої з елементами, зафіксованими за допомогою нарізки (з'єднання за допомогою болтів або шпильок: пат. № US2510586A та US2819049A, [2, 19, 21, 24, 45]), одного або декількох постійних магнітів (пат. № DE2262641A1), легкознімних деталей – клинів, штифтів, дроту та ін. (пат. № US2510556A, US2525218A, US2547383A та US2602652A), а також пружно деформованих елементів ковпачка та/або газового патрубка (пат. № US2494372A).

До нерознімних належать пристрої з елементами, зафіксованими за допомогою зварювання (пат. № GB615228A), замазки-герметика (а. с. № SU65185), заклепок (пат. № FR2542628A1 і US3567193A) або пластично деформованих елементів ковпачка та/або газового патрубка (пат. № DE2316506A1 і JPS5898102A).

Також запропоновано конструкцію з нерознімним з'єднанням ковпачка й газового патрубка за допомогою заклепки, розташованої в центрі кришки ковпачка (пат. № FR2542628A1). При цьому газовий патрубок сформовано витягуванням матеріалу полотна тарілки, що є прийнятним лише для високопластичних матеріалів. А в конструкції згідно з пат. № US3567193A приклепаний до полотна тарілки газовий патрубок за допомогою розбортовки фіксує ніжки ковпачка.

У пат. № CN1050685A на кінці газового патрубка виконано подовжні вирізи, що утворюють пелюстки, які входять у просічки кришки ковпачка й надалі загнуті для фіксації ковпачка на газовому патрубку. Недолік цієї конс-

трукції – складність конструкції й можливість часткового проскакування легкої фази крізь просічки кришки ковпачка без її взаємодії з важкою фазою. Аналогічне рішення запропоновано й в пат. № CN2055736U.

У пат. № CN101444680A газовий патрубок утворено розбортовуванням отвору в полотні тарілки, до якої за допомогою трьох L-подібних пластинок прикріплено ковпачок. Основним недоліком цієї конструкції є неможливість регулювання висоти ковпачка й нерознімність конструкції.

Цікава конструкція складового ковпачка (пат. № GB2157588A), виконаного у вигляді відбортованої кришки й короткої циліндричної трубки із зигом на її верхній ділянці для взаємодії з відбортовкою кришки ковпачка. Незважаючи на підвищену матеріалоемність, такий ковпачок може бути рекомендований для його виготовлення з матеріалу з низькою пластичністю (коли неможлива глибока витяжка металевої листової заготовки для виготовлення високого ковпачка).

До частково рознімних можна віднести достатньо технологічну конструкцію (пат. № US2480862A), в якій всі елементи виконано штампуванням і з'єднані один з одним заклепками, а сам ковпачок зафіксовано на полотні тарілки за допомогою шплінта, розміщеного в отворах газового патрубку, що виходить за межі нижньої поверхні полотна тарілки.

У пат. № US1776033A описано конструкцію суцільного ковпачка з перфорованою кришкою, своєю основою закріпленого на полотні тарілки. Газовий патрубок при цьому відсутній, а легка фаза у внутрішній простір ковпачка надходить крізь отвір у полотні тарілки.

Рознімний контактний пристрій, в якому ковпачок з'єднано з газовим патрубком за допомогою проміжного фігурного нарізного кільця описано в пат. № US2457398A.

У пат. № US2488249A ковпачок зафіксовано на газовому патрубку за допомогою T-подібного елемента з оснащеною гайкою різьбовою ніжкою, що входить у центральний отвір кришки ковпачка, і поперечною перемичкою, що розміщується в отворах стінки газового патрубку (рис. 2.85).

У пат. № US2494372A ковпачок виконано із зигом на бічній поверхні, в якому розташовуються пелюстки газового патрубку. При цьому взаємна фіксація ковпачка й газового патрубку здійснюється за рахунок пружних властивостей ковпачка й пелюсток.

У конструкції згідно з пат. № US2510586A ковпачок з'єднано з газовим патрубком за допомогою П-подібної скоби, ніжки якої зафіксовано в отворах стінки патрубку, а перемичку прикріплено до кришки ковпачка за допомогою болтового з'єднання. Також можливий варіант взаємної фіксації ковпачка з газовим патрубком горизонтально розташованим болтом, що проходить крізь стінки ковпачка й патрубку. Основний недолік цих конструкцій – низька надійність нарізних з'єднань, особливо в корозійних середовищах.

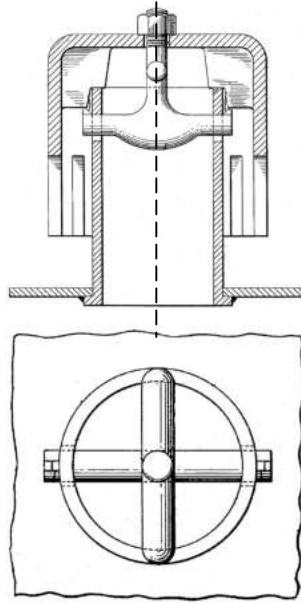


Рис. 2.85. Кріплення ковпачка до газового патрубку згідно з пат. № US2488249А

У контактному пристрої (пат. № UA51008U) ковпачок фіксується на газовому патрубку за допомогою надрізаних у верхній частині патрубку й відігнутих назовні пелюсток (рис. 2.86). При цьому потік легкої фази виходить з газового патрубку крізь вікна, утворені відігнутими пелюстками. Недолік такого ковпачка – практична неможливість регулювання глибини барботажу.

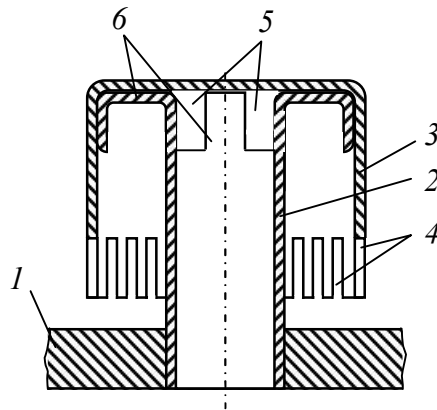


Рис. 2.86. Кріплення ковпачка до газового патрубку згідно з пат. № UA51008U:
 1 – полотно тарілки; 2 – газовий патрубок; 3 – ковпачок; 4 – прорізи ковпачка;
 5 – подовжні прорізи газового патрубку; 6 – пелюстки газового патрубку

У пат. № UA108741U описано конструкцію швидкознімного ковпачка, на внутрішній поверхні стінки якого виконано виступи, які разом з кінцевими ділянками відігнутих пелюсток газового патрубку утворюють з'єднання типу «твіст-офф». При цьому ковпачок виконано з можливістю його контакту з полотном тарілки та/або верхньою торцевою поверхнею патрубку (рис. 2.87).

За наявністю додаткових елементів для диспергування легкої фази розрізняють ковпачки як із наявністю зазначених елементів, так і без них.

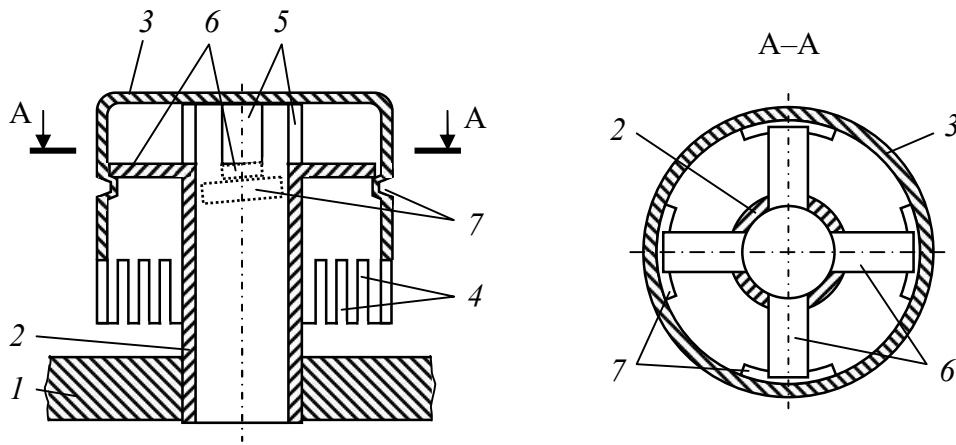


Рис. 2.87. Конструкція ковпачкової тарілки згідно з пат. № UA108741U: 1 – полотно тарілки; 2 – газовий патрубок; 3 – ковпачок; 4 – прорізи ковпачка; 5 – прорізи газового патрубку; 6 – пелюстки газового патрубку; 7 – виступи ковпачка

Серед ковпачків з додатковими елементами для диспергування легкої фази розрізняють конструкції з диспергувальними елементами окремих ковпачків, а також з елементами, загальними для всіх ковпачків тарілки.

До конструкцій з індивідуальними диспергувальними елементами можна віднести ковпачки з еластичними оболонками з надрізнаними пелюстками (пат. № RU173382U1) або горизонтальними круглими, а також шестикутними пластинчастими насадками (пат. № RU2602113C1 і RU2602115C1). У першому випадку пружні пелюстки еластичної оболонки забезпечують ефективно диспергування потоку легкої фази в досить широкому діапазоні її навантажень. У другому ж випадку дискові насадки не тільки додатково диспергують потік легкої фази, але й дещо її затримують, збільшуючи тим самим час контакту фаз на полотні тарілки.

Також пропонується ковпачок з пелюстками, надрізнаними в нижній частині його стінки й відігнутими назовні під прямим кутом до подовжньої осі ковпачка (пат. № RU2500452C2). Також пелюстки збільшують поверхню барботажу легкої фази порівняно з традиційними ковпачками з циліндричною бічною поверхнею.

До цієї групи ковпачків належать і ковпачки з газовим патрубком у вигляді ежектора, що підсмоктує важку фазу в потік легкої фази, що надходить у газовий патрубок і таким чином інтенсифікує процес масобміну (а.с. № SU145510, пат. № CN200970489Y).

Серед диспергувальних елементів, загальних для всіх ковпачків тарілки, можна виділити конструкцію, в якій паралельно полотну тарілки в межах висоти ковпачків встановлено перфоровану пластину [19]. Комбінація зазначеної перфорованої пластини та традиційної ковпачкової тарілки в цьому випадку утворює своєрідну ковпачково-ситчасту тарілку з двома зонами диспергування легкої фази.

У пат. № GB751215A запропоновано ковпачок з відхильними кільцевими жолобами на зовнішній поверхні його стінки. Недолік цієї конструкції – висока матеріалоемність.

У пат. № US1776032A запропоновано ступінчастий ковпачок з перфорованим горизонтальним кільцевим переходом між циліндричними ступенями різного діаметра.

У пат. № US1865818A розглянуто конструкцію контактної пристрою з газовим патрубком, нижня частина якого виходить за межі полотна тарілки й містить заповнений важкою фазою перевернутий ковпачок, що забезпечує додаткову взаємодію фаз перед входом легкої фази в газовий патрубок.

У конструкції згідно з пат. № US2060601A для організованого виходу легкої фази з ковпачка його бічну стінку виконано складеною у вигляді сукупності вертикальних циліндричних жолобів і розташованих між ними напрямних елементів. Недолік цього ковпачка – складність виготовлення та значна матеріалоемність.

Незвичайну конструкцію описано в пат. № US2320822A, в якій газовий патрубок по довжині виконано з двох частин. Для розподілу легкої фази зазначені частини патрубка розташовано з осьовим проміжком і мають обернені один до одного подовжні вирізи.

У конструкції (пат. № US2510589A) щілини для розподілу легкої фази утворено проміжками між згинами прикріпленої до нижньої частини ковпачка зигзагоподібного дроту.

За можливістю зміни форми та/або розмірів елементів ковпачків розрізняють ковпачки фіксованих розмірів і форми, а також ковпачки зі змінними розмірами та/або формою.

До ковпачків із змінними розмірами та/або формою можна віднести конструкцію з регулюванням положення ковпачка по вертикалі, тобто змінювати відстань від нижнього зрізу ковпачка до полотна тарілки (глибину барботажу) (а. с. № SU298336).

Конструкція згідно з пат. № UA103771U дає змогу регулювати переріз каналів для проходу легкої фази на бічній поверхні ковпачка. У цьому пристрої на нарізному стрижні поверх основного ковпачка за допомогою двох гайок закріплено додатковий ковпачок більшого діаметра з суцільною бічною стінкою. Недоліки цієї конструкції – висока матеріалоемність і значна вартість, обумовлена необхідністю ретельної обробки сполучних поверхонь обох ковпачків.

Аналогічне завдання запропоноване в конструкції згідно з пат. № UA108596U, в якій канали для проходу легкої фази на бічній поверхні ковпачка запропоновано перекидати розрізним пружним кільцем з поперечними вирізами. Поворотом кільця на такому ковпачку можна регулювати прохідний переріз вказаних каналів.

За ступенем рухливості елементів ковпачків розрізняють ковпачки з нерухомими й рухомими елементами. Перевагою перших є висока надійність їхньої роботи, а других – більш активне диспергування легкої фази. Однак ковпачки з рухомими елементами в разі оброблення середовищ, що призводять до забруднення або утворення відкладень різної природи, схильні до порушення стабільності роботи, що призводить до зниження їхньої ефективності.

Тарілка містить горизонтальне полотно з патрубками для проходження легкої фази із закріпленими над ними на стрижнях з можливістю обертання ковпачками з вертикальними прорізами та/або щілинами, утвореними в їхніх нижніх частинах відігнутими під кутом до радіуса ковпачків пелюстками, при цьому ковпачок закріплено на відповідному стрижні за допомогою підшипника кочення (пат. № RU199354U1). Недолік конструкції – закріплення кожного ковпачка на відповідному стрижні за допомогою підшипника кочення не лише ускладнює експлуатацію тепломасообмінного апарата через потребу змащування підшипника кочення, а й може призвести до забруднення мастильним матеріалом оброблюваних фаз.

У вдосконаленій конструкції кожний ковпачок і відповідний стрижень оснащено постійними магнітами, які виконані у вигляді тіл обертання та утворюють магнітний підшипник, що не потребує мастильного матеріалу (пат. № UA146614U).

Прикладом ковпачків з рухомими елементами може бути конструкція згідно з пат. № UA55176U, в якій перфорований циліндричний газовий патрубок закрито рухомим у вертикальному напрямку ковпачком (рис. 2.88). У разі збільшення навантаження по легкій фазі ковпачок піднімається, відкриваючи в газовому патрубку додаткові перфорації, що запобігає настанню малоефективного струминного режиму. У разі же зниження навантаження по легкій фазі ковпачок опускається, перекриваючи «зайві» перфорації, забезпечуючи при цьому ефективний бульбашковий режим.

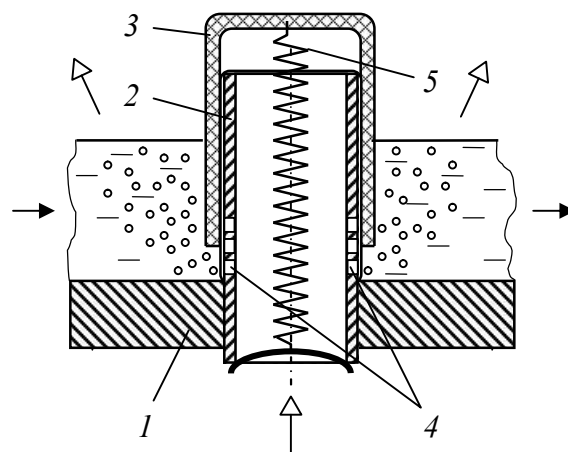


Рис. 2.88. Контактна тарілка з рухливим ковпачком (пат. № UA55176U):
1 – полотно тарілки; 2 – газовий патрубок; 3 – ковпачок; 4 – перфорація; 5 – пружина

Ковпачкові тарілки містять горизонтальне полотно з газовими патрубками, закріплений на кожному з них зігнутий стрижень з упором на вільному кінці й розташованим на стрижні рухомим у вертикальному напрямку ковпачком з центральним отвором у кришці та прорізами або отворами в його нижній частині, при цьому кришку кожного ковпачка оснащено елементом з позитивною плавучістю (пат. № RU176822U1 і RU200099U1). Ця тарілка завдяки елементу з позитивною плавучістю забезпечує більшу ефективність у разі коливання рівня важкої фази на полотні, оскільки ковпачок сам підлаштовується під зазначений рівень.

В удосконаленій конструкції тарілки кожний ковпачок виконано з феромагнітного матеріалу, а відповідний елемент з позитивною плавучістю виконано у вигляді розташованого зовні ковпачка кільця та оснащено постійним магнітом (пат. № UA132073U). Конструкція забезпечує регулювання плавучості ковпачків тарілки, а отже можливість обробляти фази з різноманітними властивостями, що істотно розширює технологічні можливості тарілки.

За наявністю зливного пристрою розрізняють контактні ковпачкові пристрої без зливного пристрою (для важкої фази) [2, 19, 21, 24, 45] та із зазначеним пристроєм.

Наприклад, у пат. № DE2033372A1 розглянуто конструкцію тарілки з єдиним ковпачком, що має трубку для зливу важкої фази на нижчерозташовану тарілку. При цьому вхід важкої фази у зливну трубку виконано у бічній поверхні ковпачка.

Аналогічні рішення, але з центральною прямолінійною трубою, запропоновано в пат. № GB844371A та US1744543A.

За типом матеріалу ковпачки поділяють на металеві [2, 11, 19, 21, 24, 45], полімерні (пат. № CN101513575A і CN201361464Y), керамічні (пат. № US2351855A) і комбіновані (пат. № UA55176U).

Найбільш поширено ковпачки, всі елементи яких виготовлено з металу. У той самий час досить широкі можливості розробникам надають полімерні матеріали, властивості яких дають змогу виготовляти вироби різного типу розміру практично за безвідходними технологіями.

Комбіновані ковпачки зазвичай виготовляють у вигляді складальних одиниць і рідше – у вигляді окремої деталі з покриттям з іншого матеріалу, наприклад, ковпачки з вуглецевої сталі звичайної якості з антикорозійним покриттям.

Натепер появи нових конструкцій ковпачків сприяють не лише великі можливості, що надають проєктувальникам засоби числового моделювання, але й значні досягнення матеріалознавства та технології, які можуть оперативно реагувати на необхідність виготовлення елементів хімічного обладнання, призначеного для оброблення найрізноманітніших речовин та їх сумішей.

2.2.3. Клапанні тарілки

Тарілчасті колонні апарати є одним з найбільш ефективних і продуктивних видів тепломасообмінного обладнання. При цьому серед конструкцій тарілчастих колон зі зливними (переливними) пристроями особливе місце займають колони з клапанними тарілками, які характеризуються відносною простотою конструкції, високою ефективністю та здатністю саморегулювання живого перерізу для проходу легкої фази [2, 21, 24].

Клапанні тарілки – це тарілки зі змінним перерізом для проходження легкої фази (газу, пари, парогазової суміші) залежно від її витрати, що забезпечує постійну швидкість легкої фази в шарі важкої фази на полотні тарілки. При цьому клапан проєктують здебільшого таким чином, що його частина з боку потоку важкої фази, яка набігає на нього, піднімається менше, що підвищує стійкість та ефективність його роботи.

Традиційна клапанна тарілка представляє собою горизонтальне полотно з виконаними в ньому круглими, прямокутними або трапецієподібними отворами для проходу легкої фази, що зазвичай розташовуються в шаховому порядку та прикриті зверху запірними елементами (власне клапанами) відповідної форми. У разі зростання навантаження по легкій фазі запірний елемент клапана піднімається, збільшуючи живий переріз для проходу зазначеної фази [21, 24]. Клапанні тарілки не тільки простіші за поширені ковпачкові тарілки, але й забезпечують на 20–30 % більшу продуктивність порівняно з ними.

Незважаючи на досить високу ефективність і надійність різних тепломасообмінних контактних пристроїв [5, 11–13, 16, 17, 25], у тому числі й клапанних тарілок з добре апробованими на практиці круглими, прямокутними та трапецієподібними листовими клапанами фахівці хімічного апарато- й машинобудування продовжують удосконалювати їхні конструкції.

Далі розглянуто конструкції клапанних тарілок тільки з класичними рухомими клапанами, оскільки тарілки з нерухомими диспергувальними елементами, які за формою нагадують клапани, до клапанних тарілок можна віднести лише умовно, оскільки вони позбавлені основної переваги клапанних тарілок – саморегулювання живого перерізу для проходу легкої фази. До тарілок з «нерухомими клапанами» належать насамперед тарілки типу Glitsch V-0 (пат. № US3087711A, [2, 12]) та подібні до них (пат. № KR20150064389A, EP2062629A1, RU2572961C2, CN1507934A, CN2459060Y, CN2589037Y, CN2721188Y, CN104841154A, CN101444679A, CN101480539A., CN101954197A, CN102489032A, CN103830927A, CN201179355Y, CN201253499Y, CN201768392U, CN201840902U, CN202036813U, CN202155062U, CN202620760U, CN204709843U і CN205730429U, заявки № US2009/134533A1, US2011/278745A1, US2013062793A1 і US2016/193542A1).

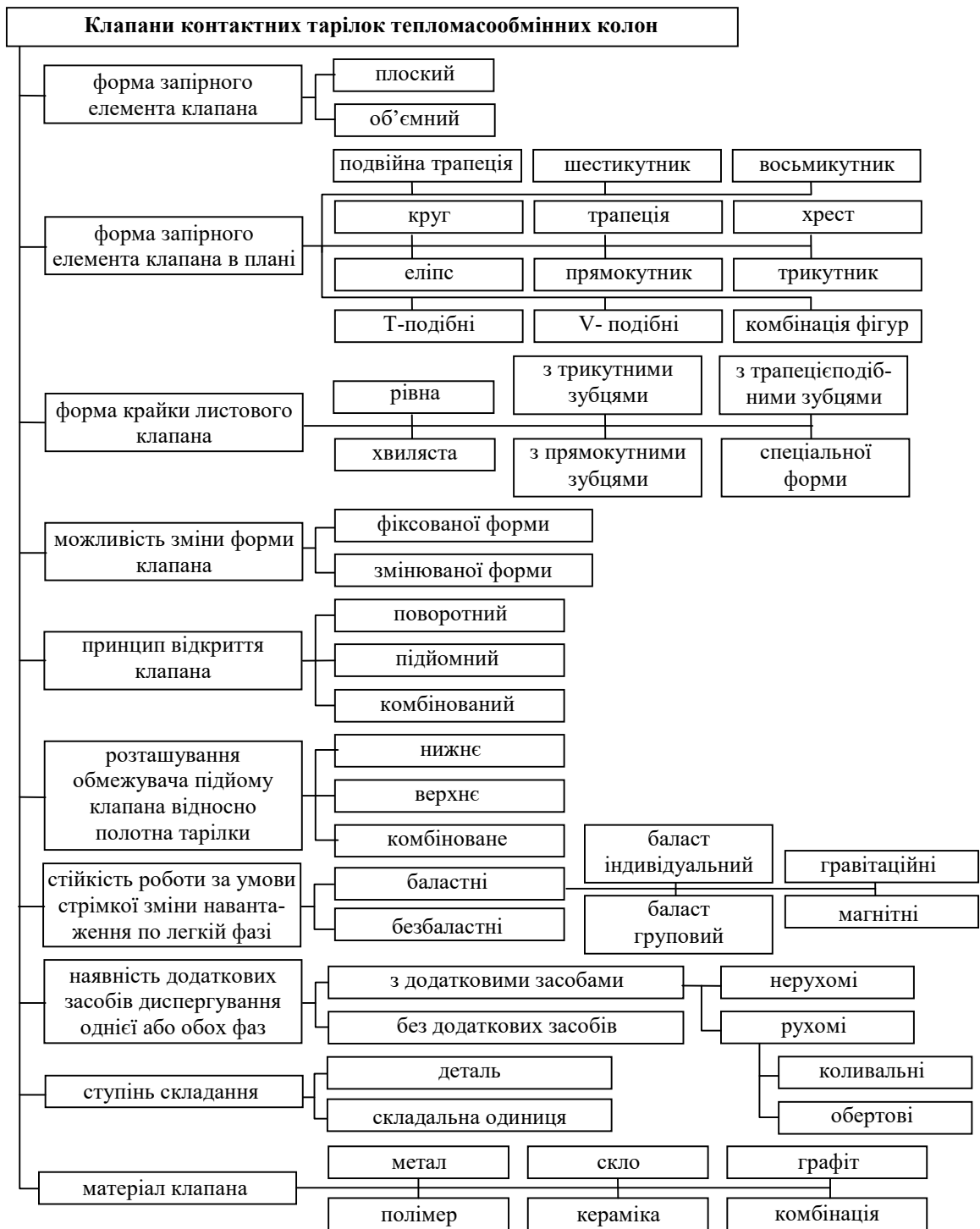


Рис. 2.89. Класифікація клапанів контактних тарілок тепломасообмінних колон

Аналіз відомих конструкцій клапанів контактних тарілок дає змогу запропонувати їхню класифікацію за такими ознаками (рис. 2.89):

- формою запірного елемента клапана;
- формою запірного елемента клапана в плані;
- формою крайки клапана;

- можливістю зміни форми клапана;
- принципом відкриття клапана;
- розташуванням обмежувача підйому клапана відносно полотна тарілки;
- стійкістю роботи клапана за стрімкої зміни навантаження по легкій фазі;
- наявністю додаткових засобів диспергування однієї або обох фаз;
- ступенем складання клапана;
- матеріалом клапана.

За формою запірного елемента клапана розрізняють плоскі та об'ємні клапани.

Переважну більшість клапанів виконують у вигляді пластин, вирубаних з листової заготовки здебільшого з одночасною або подальшою їх деформацією. При цьому застосування штампування обумовлює високу технологічність, надійність і низьку матеріалоемність як самих клапанів, так і відповідних клапанних тарілок і тепломасообмінних апаратів у цілому.

Серед об'ємних клапанів, насамперед, можна виділити клапани із запірними елементами у вигляді куль або сфер. До них належать, наприклад, клапан згідно з пат. № CN2313653Y, виконаний у вигляді кульки, що перекриває отвір у полотні тарілки й розміщений у закріпленому на полотні тарілки перфорованому перевернутому стакані. Під час роботи такого клапана під тиском легкої фази кулька піднімається й відкриває отвір, після чого потік легкої фази, проходячи крізь перфорацію стакана, потрапляє в шар важкої фази, що перебуває на полотні тарілки.

Клапани, виконані у вигляді горизонтальних труб і розташовані над полотном тарілки, також виконаному у вигляді розміщених у горизонтальній площині паралельних труб, описано в а. с. № SU286957. Рух важкої фази поперек труб призводить до значної турбулізації потоку, що інтенсифікує процес масопередачі. Недоліком такої тарілки та клапанів є досить жорсткі вимоги до циліндричності зовнішньої поверхні як клапанів, так і труб.

Клапани у вигляді труб запропоновано й у пат. № DE1619723A1. При цьому труби можуть бути виконано як з відкритими, так і закритими торцями.

Також об'ємний клапан у вигляді короба з криволінійними лобовою та тильною стінками розглянуто в пат. № CN2541020Y. За твердженням розробників цей клапан характеризується низьким гідравлічним опором та високою стабільністю роботи. Однак його конструкція є досить складною й вирізняється високою матеріалоемністю.

За формою запірного елемента клапана в плані розрізняють контактні тарілки з круглими, прямокутними, трапецієподібними, еліптичними, трикутними, Т-подібними, V-подібними, хрестоподібними клапанами, клапанами у вигляді правильного шестикутника, шестикутними у вигляді подвійної трапеції, восьмикутними у вигляді прямокутника з трапеціями з боку його коротких сторін, а також клапанами комбінованої форми.

Найбільшого поширення набули виготовлені зі сталевого листа завтовшки 2 мм круглі клапани діаметром 48 мм, що перекривають виконані в полотні тарілки отвори діаметром 40 мм.

Круглі клапани, що добре себе зарекомендували, найчастіше модернізують шляхом надання їм більш обтічної форми, що знижує гідравлічний опір. Наприклад, центральну частину диска клапана виконують у вигляді конуса або трикутної піраміди зі спрямованими вниз вершинами (пат. № DE1519586A1 і № DE1906606A1, відповідно). Проте за відсутності у вершині конуса отвору в порожнині зазначеного конуса може утворюватися застійна зона важкої фази.

Також запропоновано конструкції круглого клапана (пат. № EP3833461A1, заявка № WO2020/031077A1) і круглого клапана з видаленим коловим сегментом (пат. № CN202490458U).

Під час виготовлення плоских клапанів конструктори також намагаються досягти найбільш раціонального розкрою металевих листів з метою зниження витрати металу. Декілька варіантів високотехнологічного розкрою листового матеріалу при виготовленні як тарілки, так і круглих клапанів, розглянуто в пат. № US3862281A.

З точки зору раціонального розкрою металевих листів прямокутні клапани найкращі. Крім того, завдяки більшій компактності їх розташування на полотні тарілки вони забезпечують підвищену поверхню контакту фаз.

Схему роботи прямокутного клапана показано на рис. 2.90 [21].

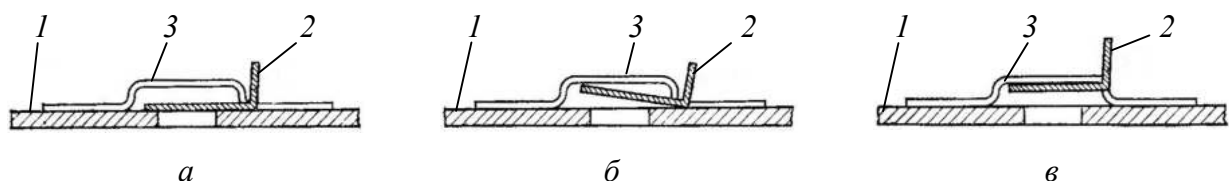


Рис. 2.90. Прямокутний клапан у закритому (а), проміжному (напіввідкритому) (б) і повністю відкритому (в) положеннях [21]: 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – обмежувач підйому клапана

Відповідно до пат. № US3940462A прямокутний у плані та одночасно жолобоподібний зі спрямованою вгору опуклістю клапан містить відігнуті вниз пелюстки, виконані на бічних крайках. Аналогічні пелюстки виконано в полотні тарілки. Зазначені пелюстки забезпечують рівномірний розподіл оброблюваних фаз. За низького навантаження по легкій фазі та знаходженні клапанів у крайньому нижньому положенні тарілка працює як провальна тарілка, отвори якої сформовано після відгину надрізаних пелюсток (рис. 2.91). Подібний жолобоподібний клапан описано також у пат. № CN1907531A.

Для підвищення надійності фіксації прямокутного клапана в отворі полотна тарілки передбачають поперечну перемичку (пат. № US3530879A).

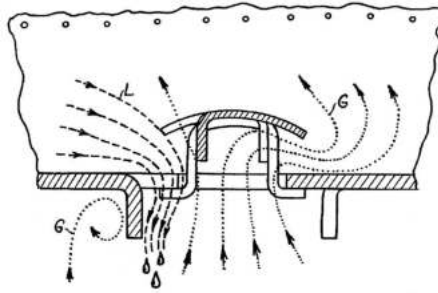


Рис. 2.91. Прямокутний клапан згідно з пат. № US3940462A

У пат. № CN2726695У короткі крайки кришки прямокутного клапана відігнуто в протилежні від площини кришки клапана сторони під кутом 10–45°. Така конструкція забезпечує однозначне відкриття клапана (з боку опущеної крайки кришки), а також поліпшує введення потоку легкої фази в шар важкої фази, що перебуває на полотні тарілки (рис. 2.92).

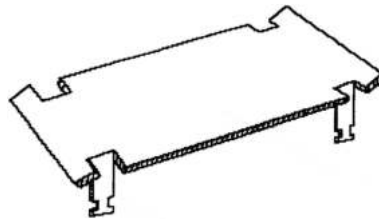


Рис. 2.92. Прямокутний клапан згідно з пат. № CN2726695У

У пат. № CN201840903U прямокутний клапан встановлено не безпосередньо на полотні тарілки, а на надрізано-витягнутій на ньому П-подібній планці (рис. 2.93). За малих навантажень по легкій фазі клапан перекриває отвір зазначеної планки, тому легка фаза потрапляє в потік важкої фази безпосередньо з-під планки. Під час збільшення навантаження легка фаза піднімає клапан і починає частково виходити з-під нього.

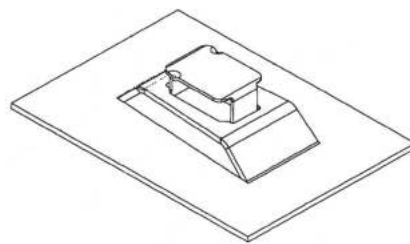


Рис. 2.93. Прямокутний клапан згідно з пат. № CN201840903U

Полотно тарілки, виконане з розташованих з проміжком між собою паралельних труб, описано в а. с. № SU450578A1. Клапани при цьому виконано у вигляді пластин, крайки яких жорстко прикріплені до кілець, що охоплюють труби: меншого діаметра з боку надходження важкої фази на полотно тарілки та більшого з боку зливу. Таке виконання тарілки забезпечує спрямований рух легкої фази в напрямку зливу важкої фази з полотна тарілки.

Трапецієподібні клапани зазвичай виконують таких розмірів: довжина – 85 мм, товщина – 2 мм, довжина більшої та меншої основ – 40 мм та 7,5 мм, відповідно. Завдяки своїй геометрії ці клапани попереджають зрив потоку важкої фази під час їх обтікання нею та забезпечують рівномірний барботаж легкої фази в шарі важкої фази.

Оригінальну клапанну тарілку запропоновано в пат. № RU2432193C2 і CN101138685A (рис. 2.94). У цій тарілці трапецієподібний клапан у нижньому положенні спирається не на плоске полотно тарілки, а на відбортовані крайки прямокутного отвору полотна тарілки. Таке конструктивне рішення практично виключає проходження важкої фази крізь отвори полотна тарілки за малих навантажень по легкій фазі.

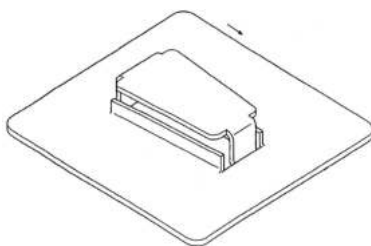


Рис. 2.94. Посадка трапецієподібного клапана на полотні тарілки згідно з пат. № RU2432193C2 і CN101138685A

Трапецієподібні клапани з подовжніми заглибленнями в кришці запропоновано в пат. № CN2396864Y і CN2770744Y. Ці поглиблення не тільки сприяють кращому виходу легкої фази з-під клапанів, але й надають їм додаткової жорсткості. Однак у разі зупинки тепломасообмінного апарата в зазначеному заглибленні може залишатися певний об'єм важкої фази.

В а. с. № SU997711A1 описано конструкцію V-подібного (шевронного) у плані клапана, який забезпечує ефективне змішування фаз на полотні тарілки (рис. 2.95).

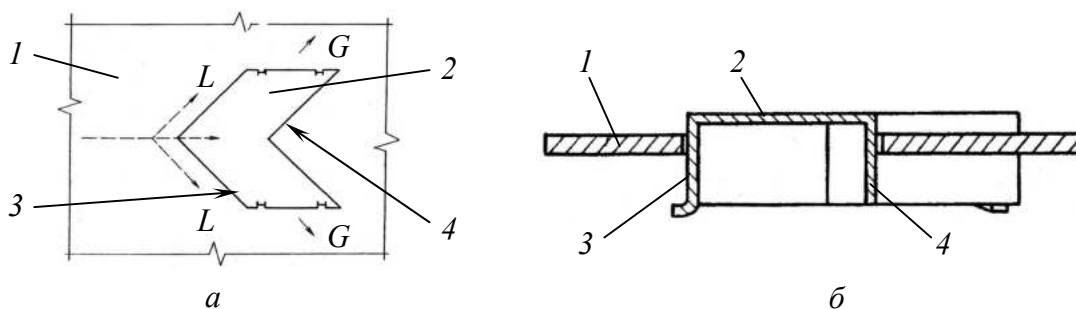


Рис. 2.95. V-подібний клапан згідно з а. с. № SU997711A1:
а – вид зверху; б – поперечний розріз; 1 – полотно тарілки; 2 – клапан;
3 – лобовий V-подібний борт; 4 – затилковий V-подібний борт

У пат. № CN203494520U, а також заявках № WO2006/007783A1, EP1785176A1 і US2007/227595A1, крім більш поширених круглого, прямокут-

ного та трапецієподібного в плані клапанів, запропоновано конструкцію шестикутного клапана у вигляді подвійної трапеції (більшими основами трапеції з'єднані між собою, при цьому трапеції мають різну висоту; рис.1.96).

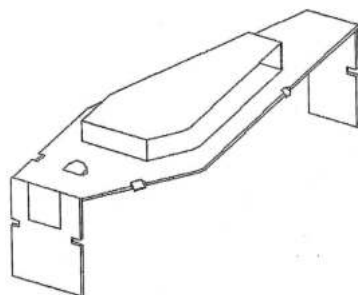


Рис. 2.96. Клапан у вигляді подвійної трапеції згідно із заявками № WO2006/007783A1, EP1785176A1 і US2007/227595A1

Хрестоподібний (Х-подібний) клапан описано в пат. № CN2649158Y, Т-подібний – у пат. № CN2671653Y, трикутний із зубчастою крайкою – у пат. № CN1346688A і CN102068830A, еліптичний – у пат. № CN1907530A і CN200977417Y, а клапан у вигляді правильного шестикутника – у пат. № CN202569625U (рис. 2.97).

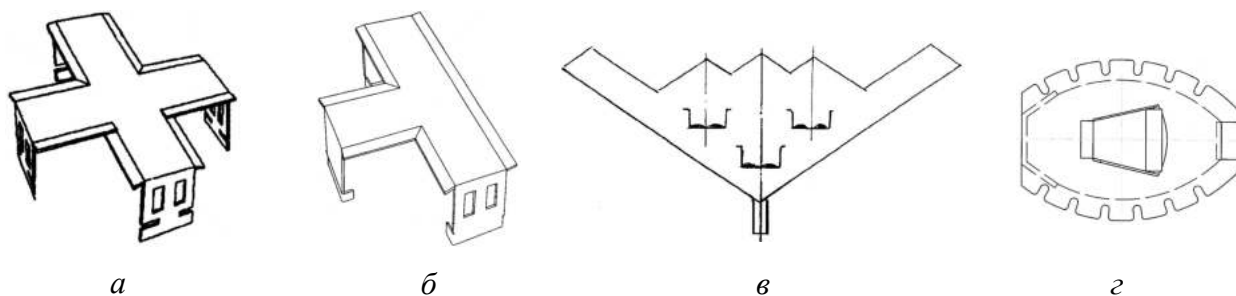


Рис. 2.97. Клапани різної форми: *а* – хрестоподібний (пат. № CN2649158Y); *б* – Т-подібний (пат. № CN2671653Y); *в* – трикутний (пат. № CN1346688A і CN102068830A); *г* – еліптичний (пат. № CN1907530A і CN200977417Y)

При цьому згадані еліптичні клапани можна розглядати як клапани подвійної дії, оскільки в полотні кожного з них встановлено додатковий менший трапецієподібний клапан.

Клапан у вигляді прямокутника з трапеціями, що примикають до його коротких сторін (тобто у вигляді восьмикутника) описано в пат. № CN201997132U (рис. 2.98, *а*). А в пат. № CN201419033Y запропоновано конструкцію клапана складнішої (комбінованої) форми (рис. 2.98, *б*).

В а. с. № SU766609A1 на кришці прямокутного клапана для спрямування частини потоку легкої фази виконано лусочки, відігнуті під різним кутом до напрямку руху важкої фази на полотні тарілки.

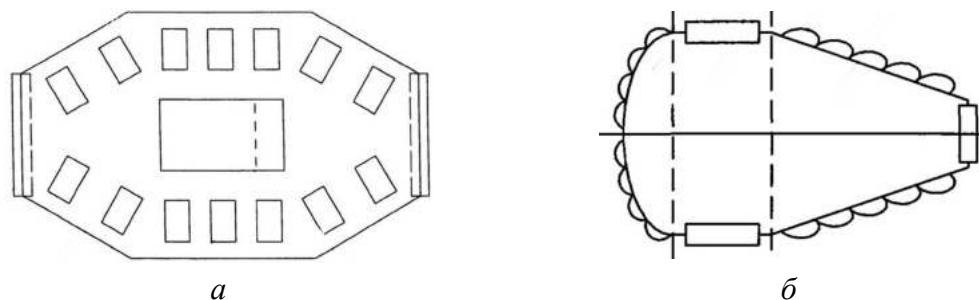


Рис. 2.98. Клапан у вигляді восьмикутника згідно з пат. № CN201997132U (а)
і клапан комбінованої форми згідно з пат. № CN201419033Y (б)

Пелюстки або лусочки, сформовані безпосередньо з полотна клапана та призначені для дроблення потоку легкої фази, а також його спрямованого руху на виході з-під клапана, можуть бути відігнуті як від полотна тарілки (пат. № CN2145059Y, CN2708979Y, CN2408937Y, CN2426377Y, CN2559395Y, CN2698432Y, CN2495353Y, CN2810713Y, CN2845881, CN2850685Y, CN2880208Y, CN103495287A, CN104941240A, CN104941241A, CN104941242A, CN104941567A, CN104984559A, CN200945378Y, CN201026401Y, CN201033260Y, CN201101901Y, CN201101902Y, CN201157701Y, CN201175587Y, CN201404705Y, CN201419033Y, CN201668971U, CN201862285U, CN202096772U, CN202490458U, CN202569624U, CN202777880U, CN202778503U, CN203315773U, CN203437133U, CN203494520U, CN203648123U, CN203916126U, CN204469263U, CN204865045U, CN205023889U і CN205164178U), так і в бік зазначеного полотна (пат. № CN2778359Y і CN2917732Y).

Виконані на полотні клапана П- та Л(V)-подібні лусочки з двома виходами для потоку легкої фази запропоновано в пат. №CN2316992Y. При цьому в пат. № CN2737446Y запропоновано на кришці клапана виконувати $\wedge(\vee)$ -подібні лусочки з відігнутими по їх довжині пелюстками, а в пат. № CN2832258Y і CN2832259Y – П-подібні лусочки з поперечними прорізами для додаткового диспергування легкої фази.

У пат. № CN2936374Y на кришці клапана запропоновано виконувати V-подібні лусочки з двома відкритими виходами для легкої фази (рис. 2.99).

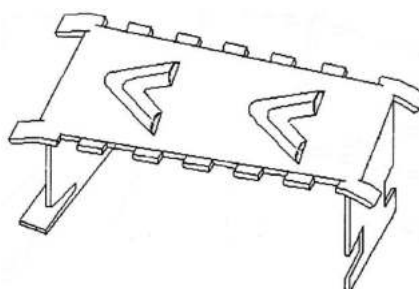


Рис. 2.99. Клапан згідно з пат. № CN2936374Y

Потрібно зазначити, що клапани подібного типу досить технологічні у виготовленні, оскільки й саме полотно клапана, й пелюстки або лусочки можуть бути сформовані штампуванням за одну суміщену операцію надрізки й витяжки частини матеріалу листової заготовки.

За формою крайки клапана розрізняють клапани з рівною й хвилястою крайкою (пат. № CN201668971U і CN202777880U; рис. 2.100), а також з трикутними (пат. № CN2880208Y, CN201101901Y, UA55343U), прямокутними (пат. № CN1907530A, CN2832259Y, CN2917732Y, CN2936374Y, CN201033260Y), трапецієподібними (пат. № CN2770744Y, CN201101902Y, CN202490458U, CN203494520U) і півкруглими (пат. № CN203437133U) зубцями.

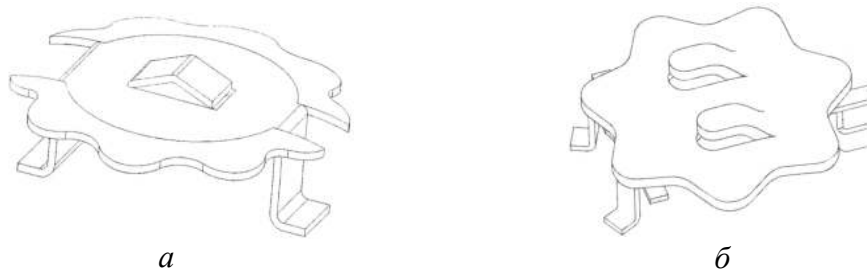


Рис. 2.100. Круглий клапан з хвилястою крайкою згідно з пат. № CN201668971U (а) і CN202777880U (б)

Також розроблено конструкцію прямокутного клапана з крайкою спеціальної форми у вигляді виконаних уздовж довгих сторін кришки клапана круглих пелюсток на прямокутних ніжках (пат. № CN202666449U; рис. 2.101). При цьому згадані ніжки дещо скручені по їх довжині, так що круглі пелюстки розташовуються під кутом до площини кришки клапана. Така форма крайки клапана не лише ефективно диспергує потік легкої фази, а й попереджає «прилипання» клапана до полотна тарілки. Однак цей клапан характеризується високою матеріалоемністю.

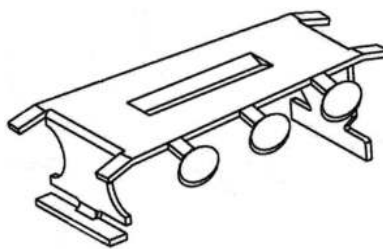


Рис. 2.101. Прямокутний клапан з крайкою спеціальної форми згідно з пат. № CN202666449U

Взагалі крайки клапанів будь-якої форми часто загинають у бік полотна тарілки для попередження їх «прилипання» й забезпечення надійності відкриття клапанів. Крім цього, фігурні крайки клапанів збільшують довжину лінії барботажу та краще диспергують потік легкої фази, що підвищує питому поверхню контакту фаз у шарі важкої фази на полотні тарілки.

Досить ефективна конструкція прямокутного клапана з відігнутими по кутах кришки клапана пелюстками (язичками), які не тільки унеможливають «прилипання» кришки клапана до полотна тарілки, але й забезпечують гарантований проміжок між ними (пат. № CN1792405A). Таке конструктивне рішення за малих навантажень по легкій фазі перетворює клапанну тарілку на жалюзійну (рис. 2.102). Аналогічні технічні рішення для круглих клапанів запропоновано в пат. № CN2316993Y і CN2387944Y.

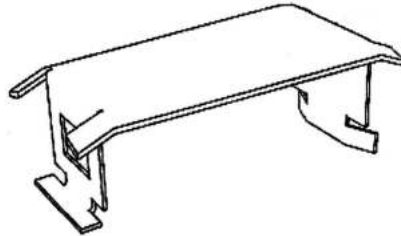


Рис. 2.102. Клапан згідно з пат. № CN1792405A

За можливістю зміни форми розрізняють клапани фіксованої та змінюваної форми.

Найбільш поширеними є клапани фіксованої (незмінної) форми.

До клапанів змінної форми належать конструкції з регулюванням і фіксацією взаємного положення їхніх окремих елементів. Наприклад, в а. с. № SU780845A1 описано круглий клапан із закріпленням на його нижній поверхні своїм дном ковпачком з вирізом на бічній поверхні. Поворотом ковпачка й відповідним орієнтуванням вирізу забезпечують потрібний напрямок виходу легкої фази в шар важкої фази, що перебуває на полотні тарілки (рис. 2.103).

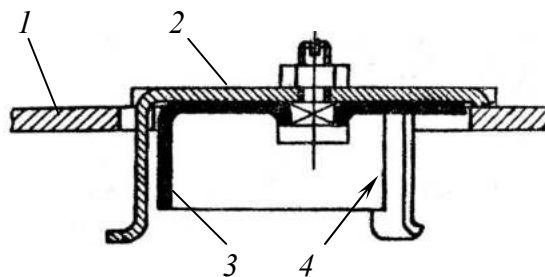


Рис. 2.103. Підйомний клапан по а. с. № SU780845A1:

1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – ковпачок; 4 – виріз ковпачка

За принципом відкриття розрізняють поворотні, підйомні та комбіновані клапани.

Поворотний клапан згідно з а. с. № SU1117070A1 виконано у вигляді прямокутної пластини з прикріпленням в її нижній частині сектором циліндричної тонкостінної трубки з перфорованою стінкою для кращого диспергування легкої фази (рис. 2.104).

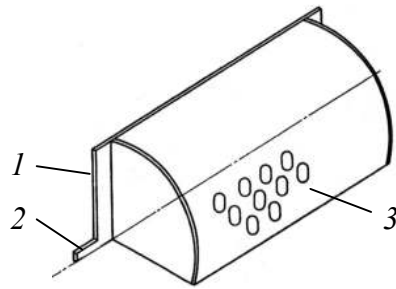


Рис. 2.104. Поворотний клапан згідно з а. с. № SU1117070A1:
1 – клапан; 2 – вісь поворотного шарніра; 3 – сектор циліндричної тонкостінної трубки

Також поворотний клапан описано в а. с. № SU286961. Зазначений клапан має прямокутну форму і встановлений на осі, розташований асиметрично відносно центра тяжіння клапана так, що його більш важка частина була зверху (рис. 2.105). Утворені в полотні тарілки отвори можуть бути виконані з відбортовкою. У разі зростання навантаження по легкій фазі клапан повертається на осі, збільшуючи його прохідний переріз. Аналогічне рішення з попарно оберненими один до одного прямокутними клапанами описано в а. с. № SU700157A1.

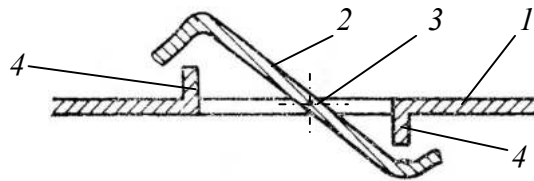


Рис. 2.105. Поворотний клапан згідно з а. с. № SU286961: 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – вісь клапана; 4 – відбортовка отворів полотна тарілки

Підйомний клапан згідно з а. с. № SU309714 виконано у вигляді перфорованого патрубку, своєю нижньою частиною закріпленого на полотні тарілки, всередині якого з можливістю переміщення вздовж патрубку розміщено дисковий запірний елемент (рис. 2.106).

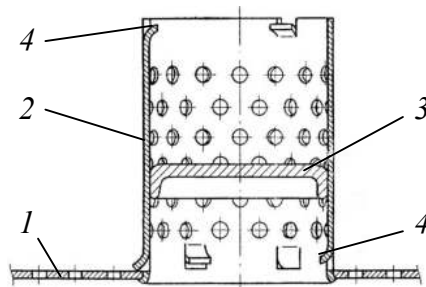


Рис. 2.106. Підйомний клапан згідно з а. с. № SU309714: 1 – полотно тарілки; 2 – перфорований патрубок; 3 – клапан; 4 – обмежники переміщення клапана

Підйомний клапан, що поєднує переваги як клапанів, так і ковпачків, запропоновано в а. с. № SU277725 (рис. 2.107). У неробочому положенні клапан спирається на полотно тарілки верхнім козирком, повністю перекриваючи

отвір тарілки. Під час подавання легкої фази в колону клапан піднімається, поступово збільшуючи прохідний переріз вертикальних прорізів патрубків, жорстко з'єднаного із запірним елементом клапана, який починає працювати подібно до ковпачка ковпачкової тарілки.

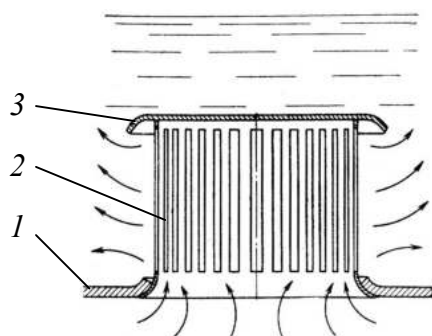


Рис. 2.107. Підйомний клапан згідно з а. с. № SU277725: 1 – полотно тарілки; 2 – перфорований патрубок; 3 – запірний елемент клапана (ковзирок)

У пат. № RU2104732C1 запропоновано подальший розвиток попередньої конструкції: живий переріз прорізів, вирізів або перфорації в бічній верхній частині клапана зменшується знизу вгору (у напрямку до ковзирка). У такому клапані основна частка легкої фази виходить з боку нижньої частини циліндричної частини клапана, що збільшує час контакту фаз на полотні тарілки.

Відмінність клапана згідно з пат. № CN2562833Y від двох попередніх конструкцій полягає в тому, що перфорацію також виконано і в його кришці.

Аналогічний клапан, але прямокутної форми в плані – у вигляді паралелепіпеда з перфорованими бічними стінками і кришкою – описано в пат. № CN2562832Y.

Підйомний клапан, виконаний за аналогією золотникового механізму й забезпечує пульсаційний режим роботи тарілки, описано в а. с. № SU452347A1. Однак конструкція цього клапана досить складна у виготовленні й не забезпечує надійної роботи під час оброблення фаз, що сприяють утворенню різних відкладень.

Ще один підйомний клапан описано в а. с. № SU515517A1, що представляє собою порожнистий конус з відбортовкою з боку верхньої більшої основи й розподільним пристроєм під його нижньою малою основою (рис. 2.108). Зазначений клапан має переваги як клапанних, так і провальних тарілок, оскільки забезпечує інтенсивний тепломасообмін не лише на полотні тарілки, але й у просторі між тарілками.

Клапани з аналогічним ефектом описано в а. с. № SU422423, SU413953A1, SU565672A1 і SU580867A1, а також у пат. № CN107042023A. У першому з них переливний пристрій клапана виконано у вигляді порожнистого конуса з розпилювальним конічним розтрубом внизу, а в інших – у вигляді циліндричної труби з нижнім розпилювальним диском.

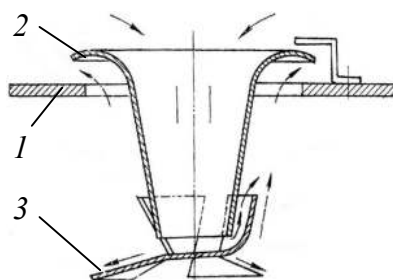


Рис. 2.108. Підйомний клапан згідно з а. с. № SU515517A1: 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – розподільний пристрій з відігнутими лопатками

Клапан, виконаний у вигляді крильчатки та встановлений на рухомому вертикальному штоку, описано в а. с. № SU305897. При цьому розбризкувач, виконаний у вигляді оберненого вершиною догори конуса й закріплений у нижній частині штока, забезпечує проходження тепломасообміну в просторі між тарілками.

Комбіновані клапани є одними з найбільш поширених. За невеликих швидкостей легкої фази такі клапани спочатку повертаються, а зі збільшення зазначених швидкостей – піднімаються (див. рис. 2.90). Полотно тарілки з такими клапанами виконують як горизонтальним, так і з похилими заглибленнями (а. с. № SU596260A1) ділянками в місцях розташування клапанів (рис. 2.109). За твердженням розробників зазначені тарілки з місцевими заглибленнями сприяють кращому перемішуванню важкої фази (в а. с. № SU829123A1 прямокутні клапани встановлено в заглибленнях полотна тарілки з плоскою основою й висотою, що дорівнює максимальній висоті підйому клапанів). Однак зазначені заглиблення ускладнюють повне видалення важкої фази з тарілки полотна в разі зупинки колонного апарата для проведення його обслуговування й ремонту.

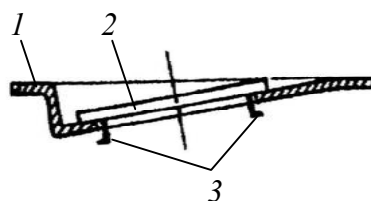


Рис. 2.109. Клапан згідно з а. с. № SU596260A1: 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – обмежувач підйому клапана

За розташуванням обмежувача підйому клапана відносно полотна тарілки розрізняють клапани з нижніми, верхніми та комбінованими обмежувачами.

Клапан з нижніми обмежувачами часто виконують у вигляді однієї деталі штампуванням з листової заготовки з одночасним формуванням кришки клапана та обмежувачів [21] (рис. 2.110).

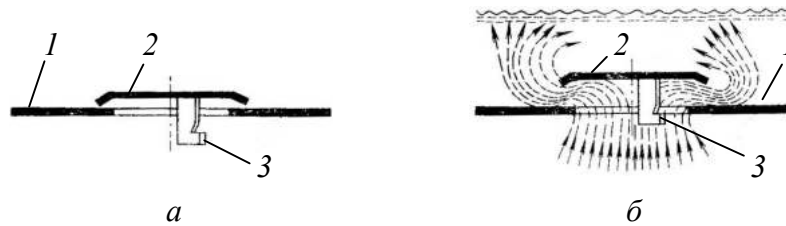


Рис. 2.110. Круглий клапан з нижніми обмежувачами його підйому в закритому (а) і відкритому (б) положеннях [21]: 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – обмежувач підйому клапана

У пат. № RU2453353С1 запропоновано конструкцію нижніх обмежувачів підйому круглого клапана підвищеної надійності. Незважаючи на уявну складність виготовлення зазначених обмежувачів, вони досить технологічні (як і клапан у цілому).

Якщо в традиційних круглих клапанах ширина всіх обмежувачів («ніжок») зазвичай однакова, то в пат. № US5120474А ширина обмежувача з боку руху потоку важкої фази виконана ширшою, ніж у іншого – діаметрально розташованого обмежувача. Таке рішення забезпечує розсічення потоку важкої фази та підвищує ефективність тепломасообміну на полотні тарілки.

Для зниження вібрації клапана й зниження ймовірності його заклинення нижні обмежувачі запропоновано виконувати у вигляді смуг, вигнутих по довжині (а. с. № SU345927).

Технологічний у виготовленні клапан розглянуто в пат. № GB1292037А. Установка цього клапана в отворі тарілки здійснюється простим натисканням на клапан і введення його обмежувачів у вказаний отвір. При цьому язички обмежувачів під дією пружних сил розсуваються на виході з отвору й заходять під полотно тарілки (рис. 2.111). Аналогічні рішення запропоновано в заявках № WO2018/140751A1, US2011/278745A1 і US2013/062793A1.

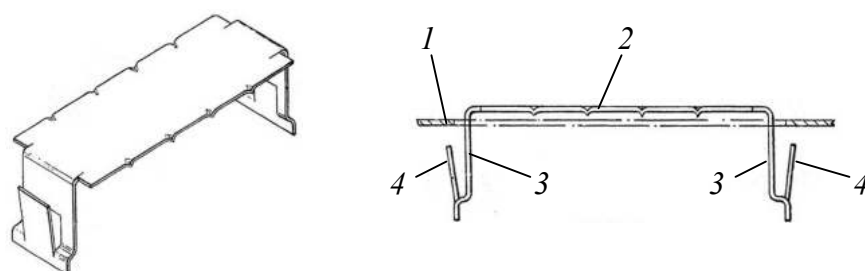


Рис. 2.111. Клапан згідно з пат. № GB1292037А: 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – обмежувачі підйому клапана; 4 – пружні язички

У пат. № RU2200610С2 пружні обмежувачі виконані за аналогією з попередніми конструкціями, проте вони оснащені відігнутими всередину клапана горизонтальними ділянками. Таке технічне рішення підвищує надійність обмеження підйому клапана.

Технологічну конструкцію клапана з нижніми обмежувачами запропоновано в а. с. № SU747479A1. Зазначений клапан виконано штампуванням з листової заготовки у вигляді кільцевого сектора з відігнутими в бік полотна тарілки бічними сторонами та опуклою частиною сектора. При цьому кільцевий сектор і бічні стінки-обмежувачі також трохи вигнуті в бік полотна тарілки для обмеження підйому клапана (рис. 2.112). Однак за рахунок масивних обмежувачів ця конструкція вирізняється підвищеною матеріалоемністю.

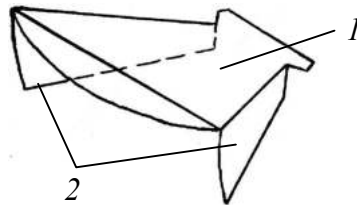


Рис. 2.112. Клапан згідно з а. с. № SU747479A1:
1 – кільцевий сектор; 2 – бічні стінки-обмежувачі

В а. с. № SU967501A1 одну з аналогічних бічних стінок-обмежувачів прямокутного клапана виконано перфорованою. Частина потоку легкої фази, проходячи з високою швидкістю крізь перфорацію, забезпечує створення необхідної гідродинаміки важкої фази на полотні тарілки (рис. 2.113).

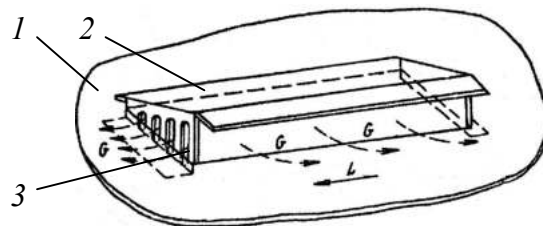


Рис. 2.113. Клапан згідно з а. с. № SU967501A1: 1 – полотно тарілки;
2 – прямокутний клапан; 3 – перфорована бічна стінка-обмежувач

Конструкцію круглого клапана з нижніми обмежувачами описано також у а. с. № SU980743A1. Знизу полотна клапана з боку меншого обмежувача (тобто з боку потоку важкої фази, що набігає на клапан) виконано опуклу захисну планку, а з боків полотна клапана – вигнуті відхильні планки (рис. 2.114). За допомогою зазначених захисної та відхильних планок потік легкої фази поділяється на окремі струмені, які інтенсифікують процес тепло-масообміну на полотні тарілки.

Аналогічне технічне рішення, але для трапецієподібного клапана, запропоновано в а. с. № SU757168A1.

Верхні обмежувачі клапанів зазвичай виготовляють у вигляді знімних та незнімних деталей, що закріплюються на полотні тарілки [21] (рис. 2.115).

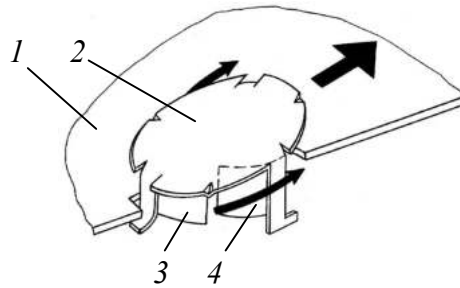


Рис. 2.114. Клапан згідно з а. с. № SU980743A1: 1 – полотно тарілки; 2 – полотно клапана; 3 – захисна планка; 4 – відхильна планка

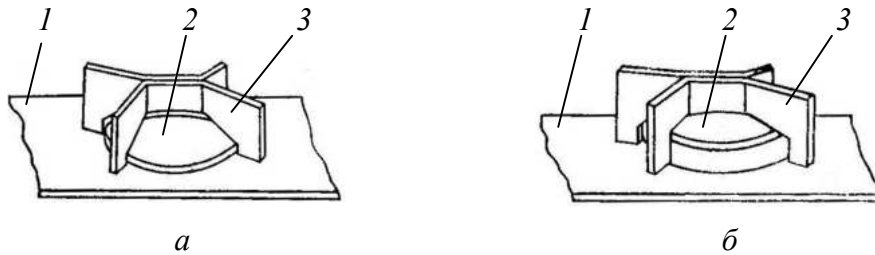


Рис. 2.115. Круглий клапан з верхніми обмежувачами його підйому в закритому (а) і відкритому (б) положеннях [21]: 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – обмежувач підйому клапана

Більш прості верхні обмежувачі підйому круглого й прямокутного клапанів описано в пат. № CN2845881 і CN201404705Y. Зазначені обмежувачі виготовляють штампуванням безпосередньо з полотна тарілки та подальшим їх відгином вгору.

Виконаний у вигляді двох паралельних планок верхній обмежувач групи послідовно встановлених клапанів запропоновано в пат. № CN2144009Y. При цьому зазначені планки встановлено з можливістю регулювання відстані між ними та полотном тарілки, а отже й висоти підйому клапанів.

Виконаний у вигляді вертикальної криволінійної пластини нижній обмежувач клапана (а. с. № SU548287A1) перерозподіляє потік легкої фази в бік сусіднього клапана, оснащеного аналогічним, але протилежно вигнутим обмежувачем (рис. 2.116). У результаті зіткнення двох потоків легкої фази відбувається інтенсивне дроблення обох фаз, що підвищує питому поверхню їх контакту. Таке технічне рішення сприяє усуненню малоефективного прямолинійного руху фаз на полотні тарілки. При цьому в а. с. № SU757168A1 запропоновано удосконалений клапан, в якому вигнуту частину зазначеного обмежувача виконано з поперечними прорізами, що утворюють своєрідні завихрювачі потоку.

До клапанів з комбінованими обмежувачами можна віднести клапани з груповим баластом (про них буде далі). Такі клапани вирізняються високою надійністю, але одночасно й підвищеною складністю конструкції та експлуатації.

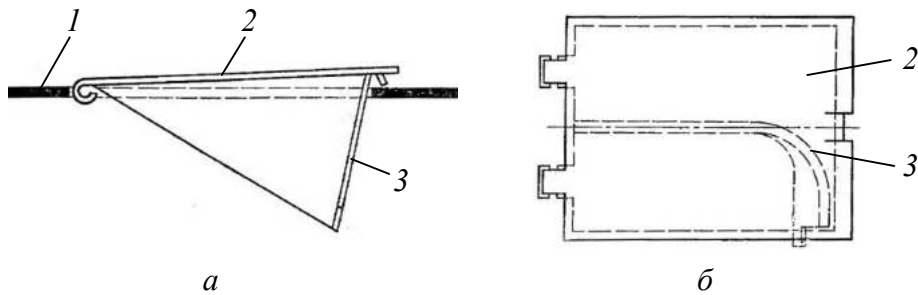


Рис. 2.116. Прямокутний клапан з нижнім обмежувачем згідно з а. с. № SU548287A1:
a – розріз; *б* – вид зверху; 1 – полотно тарілки; 2 – клапан; 3 – обмежувач підйому клапана

За стійкістю роботи за стрімкої зміни навантаження по легкій фазі розрізняють баластні й безбаластні клапани.

Баластні клапани характеризуються високою надійністю роботи в разі стрімкої (до десятикратної) зміни витрати легкої фази [21]. У таких клапанах їх легша замикальна частина розміщується в більш важкій основній замикальній частині. За невеликих витрат легкої фази спочатку відкривається легка частина клапана, а за подальшого збільшення витрати легкої фази поступово відкривається і його важка частина (рис. 2.117).

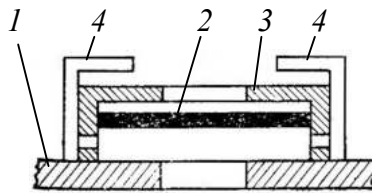


Рис. 2.117. Баластний клапан у разі відкритої легкої частини й закритої важкої [21]:
 1 – полотно тарілки; 2 – легка частина клапана; 3 – важка частина клапана;
 4 – обмежувачі підйому важкої частини клапана

Баласт у вигляді круглого горизонтального диска також запропоновано в клапанах згідно з пат. № CN1272389A, CN102407024A і CN202427190U.

У пат. № CN1093013A аналогічний дисковий баластний елемент додатково містить витягнутий підйомно-поворотний клапан з нижніми обмежувачами підйому.

Баластний клапан, що складається з групи встановлених один над одним круглих клапанів з діаметром, що зменшується знизу вгору, описано в а. с. № SU391835 (рис. 2.118).

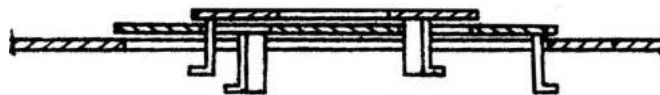


Рис. 2.118. Баластний клапан згідно з а. с. SU391835

Аналогічні технічні рішення клапанів різної форми описано в пат. № CN1597037A, заявці № WO2006007783A1, а також в а. с. № SU959798A1.

Також схожу конструкцію клапана описано в пат. № UA97232U. При цьому один з елементів клапана (більший або менший) повністю або частково виконано у вигляді постійного магніту, а інший (менший або більший) – з ферромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі початку критичного режиму проведення тепломасообмінного процесу, коли необхідно збільшити прохідний переріз клапана в цілому. Під час роботи тепломасообмінного апарата та досягнення фазами температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу відповідного елемента клапана, цей елемент втрачає магнітні властивості. У результаті під дією тиску легкої фази менший елемент клапана піднімається над поверхнею більшого елемента, забезпечуючи додатковий вихід легкої фази крізь утворений проміжок. У разі зниження температури до точки Кюрі клапан набуває своєї вихідної форми, коли менший елемент клапана закриває отвір більшого елемента клапана.

Баластні клапани у вигляді рухомих у вертикальному напрямку ковпачків розглянуто також у пат. № DE1619740A1 та US3618913A.

Технологічний у виготовленні складовий баластний клапан розглянуто в а. с. № SU747481A1 (рис. 2.119). Прямокутний по довжині клапан складається з двох частин, шарнірно з'єднаних між собою. У разі зростання навантаження по легкій фазі спочатку «відкривається» менша частина клапана, а потім і його більша частина. Таке рішення забезпечує малий кут виходу легкої фази з під клапана за великих навантажень по ній, тим самим знижуючи бризковинесення з полотна тарілки та підвищуючи ефективність тепломасообміну.

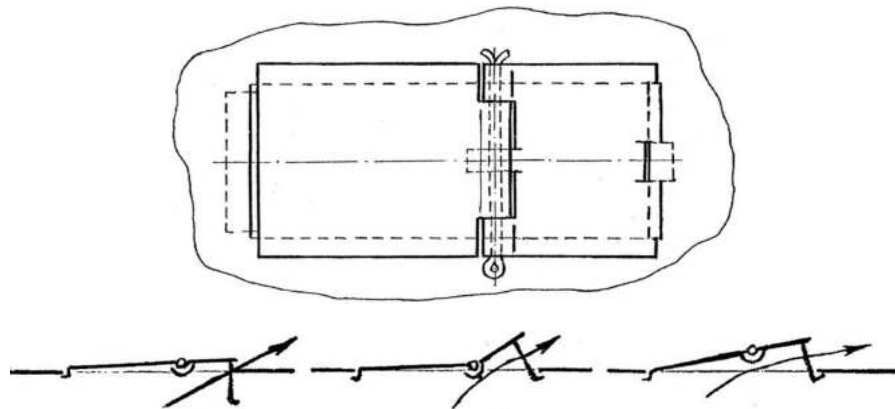


Рис. 2.119. Баластний клапан згідно з а. с. SU747481A1 і схема його роботи

Розроблено різні типи індивідуальних баластів, у тому числі й з можливістю регулювання гідравлічного опору важкої фази на полотні тарілки (а. с. № SU490479A1 і SU572275A1).

Також крім індивідуального баласту (для окремого клапана) виконують груповий баласт (загальний для декількох клапанів). Груповий баласт, що жорстко зв'язує кілька клапанів в окрему групу, забезпечує більш рівномірне їх відкриття (а. с. № SU596259A1; рис. 2.120).

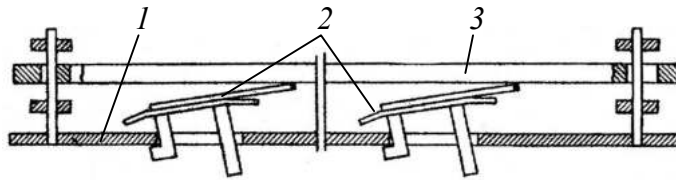


Рис. 2.120. Клапана тарілка з груповим баластом клапанів (а. с. № SU596259A1):
1 – полотно тарілки; 2 – клапани; 3 – груповий баласт

Конструкцію аналогічного групового баласту клапанів, шарнірно закріплених на полотні тарілки, розглянуто в а. с. № SU1187833A1.

Клапанну тарілку з груповим баластом розглянуто і в пат. № US3608875A, GB1240490A і DE1642940A1. У зазначеній конструкції сусідні клапани з'єднано між собою шарнірно закріпленими відрізками дроту. Таке рішення не тільки забезпечує одночасне спрацьовування клапанів, але й одночасно є своєрідними обмежувачем їх підйому.

В а. с. № SU1117070A1 груповий баласт виконано у вигляді шарнірного триланковика, верхню ланку якого розміщено на клапанах, а дві бічні ланки з'єднано з полотном тарілки й виконано з довжиною, що зменшується за ходом руху важкої фази. Така конструкція зменшує винесення важкої фази з полотна тарілки за підвищеного навантаження по легкій фазі.

Недолік баластових клапанів – більш складна конструкція та збільшена матеріалоемність порівняно з безбаластними.

За наявністю додаткових засобів диспергування однієї або обох фаз розрізняють клапани із зазначеними засобами та без них.

Наявність додаткових засобів диспергування легкої фази інтенсифікує процес тепломасообміну на полотні тарілки. Найчастіше до таких засобів можна віднести перфорацію клапана різної форми (див., наприклад, а. с. № SU700157A1, пат. № GB1455767A та US4118446A).

Наприклад, у пат. № RU143987U1 запропоновано трапецієподібний клапан, полотно якого виконане зі щілинними отворами у вигляді жалюзі (рис. 2.121).

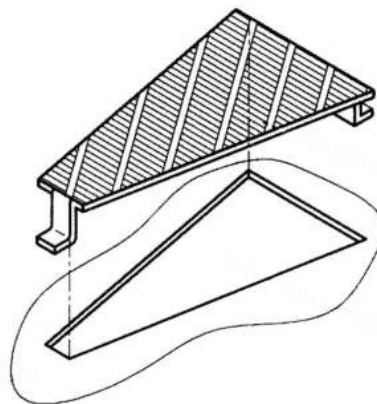


Рис. 2.121. Трапецієподібний клапан зі щілинними отворами (пат. № RU143987U1)

У пат. № CN203778075U описано виконаний у вигляді здвоєної трапеції шестикутний клапан з V-подібними поперечними гофрами на його кришці (рис. 2.122). Зазначені гофри забезпечують спрямований рух потоку легкої фази з-під клапана та інтенсивне перемішування оброблюваних фаз на полотні тарілки, при цьому кут α між елементами кожного з гофрів дорівнює 60–120°.



Рис. 2.122. Гофрований клапан згідно з пат. № CN203778075U

У пат. № CN1187377A запропоновано конструкцію прямокутного в плані клапана із зубчастими крайками та надрізано-витягнутими елементами для інтенсивного диспергування легкої фази (рис. 2.123). Клапани різної форми із відігнутими до полотна тарілки зубцями запропоновано також у пат. № CN1683043A.

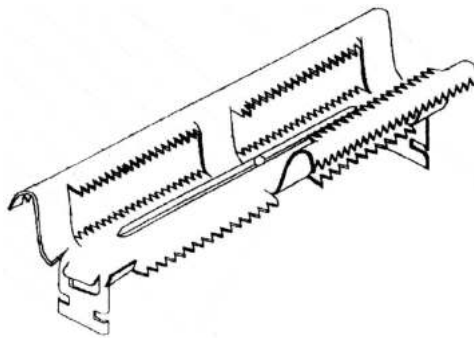


Рис. 2.123. Клапан згідно з пат. № CN1187377A

Прямокутний клапан з розташованим на ньому коробом з перфорованими бічними стінками розглянуто в пат. № CN1748828A (рис. 2.124). Під час роботи клапана короб занурено в шар важкої фази на полотні тарілки. При цьому струмені легкої фази, що виходять з перфорації бічних стінок, інтенсивно диспергуються в потоці важкої фази. Аналогічне, але більш ефективніше рішення описане в пат. № CN2541018Y.

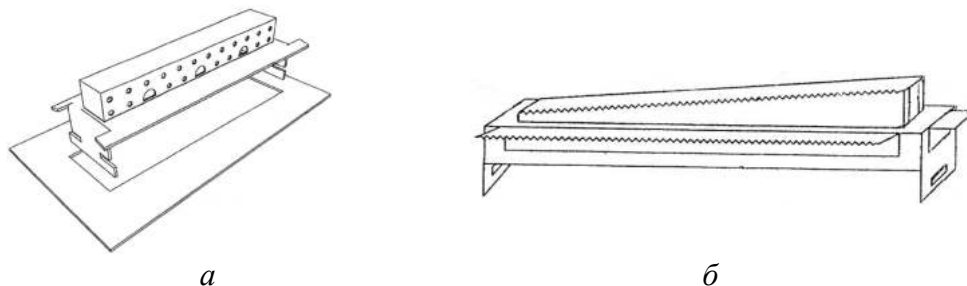


Рис. 2.124. Клапани згідно з пат. № CN1748828A (а) і CN2541018Y (б)

У пат. № CN201171920Y описано круглий клапан з виконаним на його кришці надрізано-витягнутим елементом трикутної форми, що забезпечує вихід з-під клапана частини потоку легкої фази в трьох напрямках (рис. 2.125). Аналогічний елемент трикутної форми в круглому клапані описано в пат. № CN101081336A, а в шестикутному у плані клапані – у заявці № WO2006/007783A1.

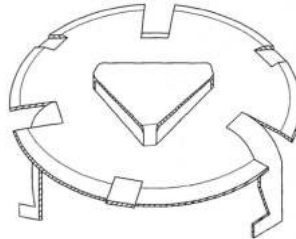


Рис. 2.125. Круглий клапан згідно з пат. № CN201171920Y

В а. с. № SU670306A1 описано пристрій круглого клапана з концентричними перфорованими гофрами трикутного поперечного перерізу. Проходячи крізь перфорацію клапана, частина потоку легкої фази інтенсивно диспергується у важкій фазі, частина якої також за рахунок ефекту ежекції підсмоктується в простір під клапаном. Таке взаємне диспергування фаз інтенсифікує процес тепломасообміну.

Ефект ежекції використано також в а. с. № SU338231, в якому описано клапан, виконаний у вигляді опуклого догори кругового кільця, під яким розташовано жорстко скріплений з ним круглий увігнутий диск, який у нижньому положенні клапана перекриває отвір полотна тарілки (рис. 2.126). Недоліком цієї конструкції є можливість утворення залишків важкої фази в заглибині диска клапана після зупинки роботи колони.

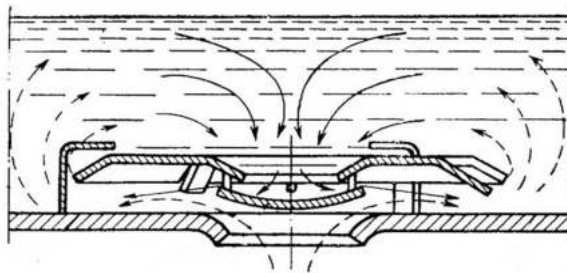


Рис. 2.126. Клапан згідно з а. с. № SU338231

Прямокутний клапан із внутрішніми пелюстками, відігнутими до полотна тарілки, описано в а. с. № SU724153A1. Потоки легкої фази, що виходять як з-під клапана, так і з-під пелюсток, забезпечують інтенсивну взаємодію фаз у шарі важкої фази.

У пат. № CN1424125A і CN2179778Y запропоновано аналогічне рішення – круглий клапан з відігнутою вгору центральною пелюсткою у вигляді півовала. У пат. № RU176701U1 аналогічний клапан має трапецієподібну фо-

рму, а в пат. № CN1772328A описано витягнутий клапан з двома відігнутими вгору прямокутними пелюстками, протилежно спрямованими до бічних граней клапана.

У пат. № CN204563647U запропоновано круглий клапан з виконаними на його периферії та безпосередньо в диску прямокутними пелюстками, загнутими у протилежні сторони (рис. 2.127). Під час проходження крізь клапан легкої фази вона розбивається на окремі закручені потоки.



Рис. 2.127. Клапан згідно з пат. № CN204563647U

Є й більш складні технічні рішення, виконані, наприклад, у вигляді клапана-турбінки, що обертається під дією потоку легкої фази, яка проходить крізь нього (пат. № SU310429 і US3685811A; рис. 2.128).

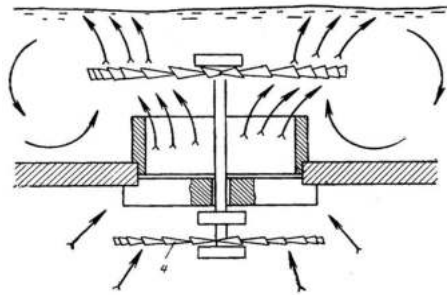


Рис. 2.128. Клапан-турбінка згідно з пат. SU310429 і US3685811A

У пат. № CN203342819U запропоновано конструкцію обертового клапана з нижнім розподільником важкої фази, що частково проходить в отвір полотна тарілки (рис. 2.129).

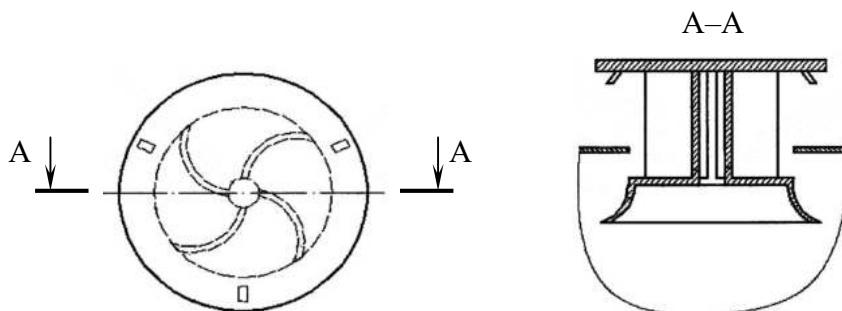


Рис. 2.129. Обертовий клапан згідно з пат. № CN203342819U

Обертовий клапан з додатковою закруткою потоку легкої фази в його верхній частині описано в пат. № CN105582687A (рис. 2.130). Встановлена на кришці клапана крильчатка не тільки забезпечує обертання клапана, а й додатково диспергує потоки фаз.

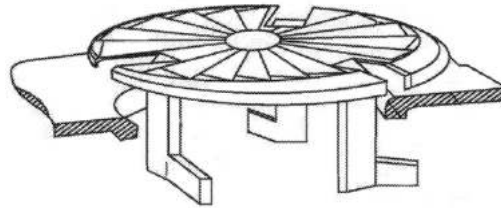


Рис. 2.130. Обертовий клапан згідно з пат. № CN105582687A

Круглий або багатокутний обертовий клапан з лопатками на нижній поверхні диска описано в пат. № CN102489031A. Зазначені лопатки, виконані у вигляді окремих деталей або безпосередньо сформовані деформуванням диска клапана, під дією потоку легкої фази забезпечують обертання клапана разом з нижніми обмежувачами його підйому.

Ще одну конструкцію обертового клапана описано в а.с. № SU454034A1. У дисковому клапані й полотні тарілки під цим клапаном виконано відігнуті в протилежних напрямках пелюстки, що забезпечують обертання клапана. У разі зростання навантаження по легкій фазі клапан піднімається, збільшуючи прохідний переріз між ним та полотном тарілки.

Досить складну конструкцію клапана із запірним обертовим елементом запропоновано в а.с. № SU355962. Основний недолік таких клапанів – складність конструкції та низька надійність, особливо в разі оброблення забруднених середовищ.

За ступенем складання розрізняють клапани, виготовлені у вигляді окремої деталі, а також клапани у вигляді складальних одиниць.

При цьому досить ефективними та найбільш технологічними є вже згадані клапани, виконані у вигляді окремих деталей.

За типом матеріалу розрізняють клапани металеві [2, 21, 24], полімерні [11], скляні [12], керамічні (пат. GB1379291A, DE2221602A1, SU415849A3; [13]), графітові [11] і комбіновані (виготовлені з кількох матеріалів).

Найбільш поширені клапани, всі елементи яких виготовлені з металу. У той самий час досить широкі можливості розробникам надають полімерні матеріали, властивості яких дають змогу виготовляти вироби різного типорозміру майже за безвідходними технологіями.

Скляні, керамічні та графітові, а в деяких випадках і полімерні, клапани рекомендується використовувати для оброблення агресивних середовищ.

Комбіновані клапани зазвичай виготовляються у вигляді складальних одиниць і рідше – у вигляді окремої деталі з покриттям з іншого матеріалу, наприклад, клапани з вуглецевої сталі звичайної якості з протикорозійним покриттям.

Умовно до клапанних тарілок можна віднести технічне рішення відповідно до пат. № DE2227280A1 і GB1383218A, в якому над нерухоною провальною тарілкою встановлено аналогічну рухоми у вертикальному напрямку тарілку, оснащену обмежувачами її підйому. Отвори, які виконані в обох тарілках, зміщено один відносно одного, що сприяє підйому верхньої тарілки зі збільшенням навантаження по легкій фазі. Таким чином, вся верхня тарілка є своєрідним клапаном, встановленим над нижньою тарілкою.

У цьому підрозділі розглянуто лише конструкції саме клапанів, а уваги клапанним тарілкам як таким приділено не було. При цьому слід зазначити, що необхідний гідродинамічний режим фаз (як легкої, так і важкої), а також ступінь диспергування легкої фази можна досягти не тільки використанням клапанів певної конструкції, але й їхнім взаємним розташуванням (орієнтацією) на полотні тарілки (наприклад, пат. № CN2426377Y, CN2850685Y і CN202336226U, а. с. № SU341498A1 і SU548287A1), а також використанням відхильних планок і перегородок на полотні тарілки (пат. № RU2094072C1).

Завдяки високим характеристикам клапанних пристроїв вони знаходять досить широке застосування під час конструювання не тільки клапанних, а й комбінованих тарілок: клапанно-решітчастих (пат. № DE1619723A1 і US3618912A), клапанно-ситчастих (пат. GB1240490A, DE1519632A1, DE1642940A1, US3608875A та US4118446A, а. с. № SU248627, SU398256A1, SU724153A1, SU747479A1 і SU829123A1), клапанно-лускатих (пат. № CN2708979Y і RU2522072C2), клапанно-ковпачкових (пат. № GB1319906A та US4290981A, а. с. № SU277725 і SU292342), клапанно-жалюзійних (пат. № GB1259037A, DE1948814A1, CN101991969A і CN201840903U).

Наприклад, на рис. 2.131 наведено конструкцію полотна клапанно-лускатої тарілки згідно з пат. № RU2522072C2, в якому на рівні вузьких частин трапецієподібних клапанів розташовуються прорізи у вигляді лусочок, відкриту частину яких спрямовано в бік напрямку руху важкої фази.



Рис. 2.131. Полотно тарілки згідно з пат. № RU2522072C2

Аналогічне технічне рішення запропоновано в пат. № RU2733514C1.

Незважаючи на значну кількість розроблених конструкцій клапанів і клапанних тарілок, їх обґрунтований вибір для проведення певного тепломагнітного процесу досить ускладнений, оскільки в більшості випадків в описах до патентів докладна інформація про особливості використання запропонованих технічних рішень відсутня (що для патентів цілком зрозуміло).

2.2.4. Штамповані тарілки

Одними з найбільш простих у виготовленні та експлуатації контактних тарілок тепломасообмінних колонних апаратів, що вирізняються також низькими матеріаломісткістю й гідравлічним опором, є тарілки, що виготовляються у вигляді деталі штампуванням з металевого листового прокату. Насамперед до них належать провальні (дірчасті та щілинні), ситчасті та струминні (лускаті або язичкові, а також жалюзійні) тарілки [2, 21, 24]. На відміну від тарілок інших типів, також одержуваних переважно штампуванням (зокрема ковпачкових і клапанних [5, 6, 13]), виготовлення зазначених тарілок передбачає використання мінімум складальних операцій або взагалі їх відсутність.

Незважаючи на багаторічну ефективну експлуатацію штампованих контактних тарілок, їхні конструкції постійно вдосконалюються. Далі розглянуто конструкції контактних тарілок тепломасообмінних колон, які виготовляють операціями штампування переважно у вигляді окремих деталей.

Аналіз відомих конструкцій штампованих тарілок дає змогу запропонувати їх класифікацію за такими ознаками (рис. 2.132):

- видом штампування;
- операцією штампування;
- формою полотна тарілки;
- формою полотна тарілки у плані;
- формою каналів у полотні тарілки для проходу легкої фази;
- кількістю потоків легкої фази на виході з напрямних елементів;
- формою поперечного перерізу лусочок для проходу легкої фази;
- формою пластинок чи пелюсток над/під каналами для проходу легкої фази;
- орієнтацією виходу каналів для проходу легкої фази;
- матеріалом тарілки.

За видом штампування розрізняють тарілки, одержані листовим і об'ємним штампуванням.

Традиційні дірчасті, ситчасті та щілинні тарілки виготовляють листовим штампуванням, за якого не відбувається значного перерозподілу матеріалу в поперечному перерізі вихідної листової заготовки.

Більш складні струминні тарілки виготовляють як листовим, так і об'ємним штампуванням, за якого відбувається значний перерозподіл матеріалу в поперечному перерізі вихідної листової заготовки. До тарілок, що виготовляють об'ємним штампуванням, можна віднести, наприклад, тарілки фірм Fritz W. Glitsch & Sons, Inc. (пат. № US3087711A) та Nutter Engineering Co. (пат. № DE1908717A1), а також подібні до них.

Як приклад тарілки, одержаної об'ємним штампуванням, можна навести конструкцію за заявкою № WO2009/154885A2 (рис. 2.133). У зазначеній тарілці вниз від її полотна сформовано закриті з торців перфоровані жолоби у вигляді паралельних паралелепіпедів різної довжини.

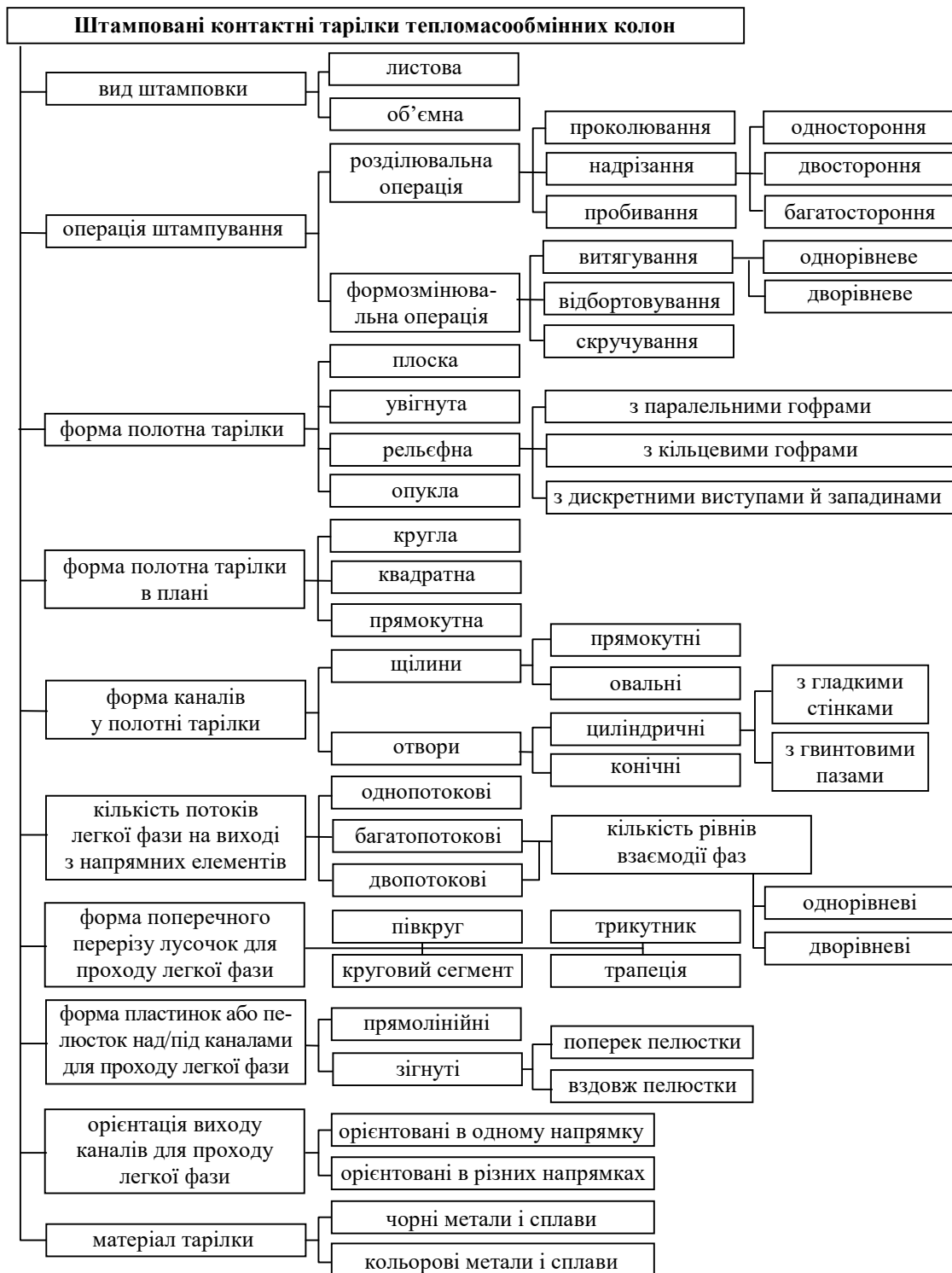


Рис. 2.132. Класифікація штампованих контактних тарілок тепломасообмінних колон

Апарат з аналогічними тарілками розглянуто в пат. № FR1104409А і GB758278А, а також у заявці № DE1057070В, при цьому жолоби сусідніх тарілок зміщено один відносно одного, а кількість жолобів парних і непарних тарілок відрізняється на одиницю.

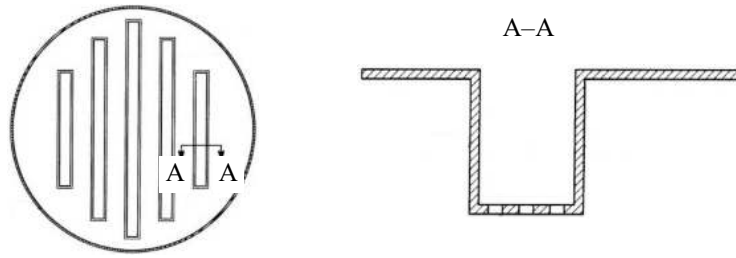


Рис. 2.133. Приклад тарілки, виготовленої об'ємним штампуванням, згідно із заявкою № WO2009/154885A2

Оригінальну ситчасту тарілку у вигляді перфорованого полотна зі зливним і приймальним криволінійними порогами розглянуто в пат. № GB817579A (рис. 2.134).

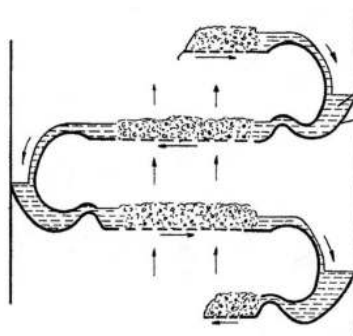


Рис. 2.134. Конструкція тарілки згідно з пат. № GB817579A

До комбінованих тарілок можна віднести конструкцію згідно з а. с. № SU510247A1. У полотні цієї тарілки виконано як отвори, так і прямооточні елементи у вигляді жалюзі.

Комбіновані ситчасті тарілки з круглими отворами, а також відігнутими догори Г-подібними пелюстками розглянуто в пат. № CN103691143A та CN204502448U.

За видом операції штампування розрізняють тарілки або їхні елементи, що одержують за допомогою однієї або декількох розділювальних та/або формо-змінювальних операцій.

Залежно від розділювальної операції, що використовується для формування каналів для проходження легкої фази або обох фаз, тарілки можна поділити на одержані за допомогою операцій проколювання, пробивання й надрізання.

У заявці №CN1263787A запропоновано провальну тарілку з круглими отворами, утвореними операцією проколювання. При цьому кільцевий буртик кожного отвору, розташований з боку верхньої поверхні полотна тарілки, сприяє турбулізації потоку важкої фази. Зазначені кільцеві буртики також надають полотну тарілки підвищеної жорсткості під час згинання.

Отвори, що формуються в заготовці полотна тарілки методом пробивання, виходять з рівними вхідними та вихідними ділянками.

У результаті багатостороннього надрізання полотна тарілки з одночасним відгинанням надрізаної ділянки формують прямолінійні або вигнуті пелюстки різної форми (наприклад, заявка № CN101480539A; рис. 2.135).

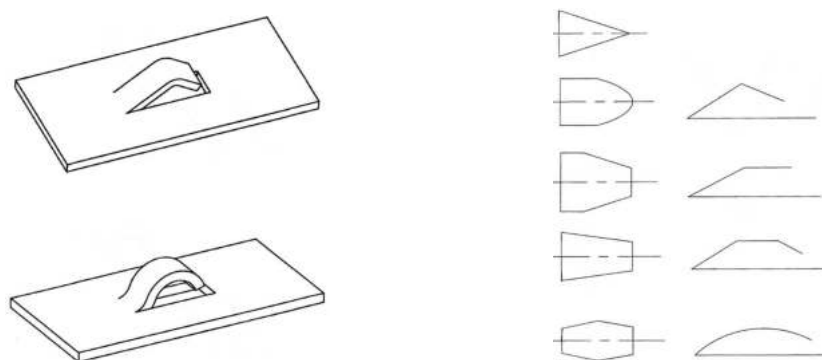


Рис. 2.135. Конструкції пелюсток (язичків) тарілки згідно із заявкою № CN101480539A

Тарілка містить горизонтальне полотно із надрізаними та витягнутими за межі його площини смужками, при цьому смужку витягнуто по обидві сторони від площини горизонтального полотна (пат. № UA135088U; рис. 2.136). Також кожен смужку у плані може бути виконано у формі прямокутника, трапеції, опуклого чи увігнутого шестикутника, а крайки смужок – виконано зубчастими або хвилястими.



Рис. 2.136. Конструкції пелюсток (язичків) тарілки згідно із заявкою № CN101480539A

Тарілка містить кругле горизонтальне полотно з приймальною ділянкою у вигляді суцільного сегмента, утвореною видаленим сегментом круглого горизонтального полотна зливальною ділянкою, а також розташованою між зазначеними ділянками контактною ділянкою з відігнутими вгору й спрямованими в бік зливальної ділянки лусочками, при цьому подовжні осі лусочок, розташованих за межами прямокутника, протилежні сторони якого збігаються з хордами приймальної й зливальної ділянок, спрямовано вздовж концентричних кіл з центрами, що збігаються з центром круглого горизонтального полотна (пат. № UA140913U; рис. 2.137). Також кожен лусочку може бути виконано з поперечними гофрами. Технічне рішення забезпечує рівномірність розподілу важкої фази по круглому горизонтальному полотну тарілки, а отже поліпшує умови тепломасообміну між фазами.

Тарілку з відігнутими донизу пелюстками описано в пат. № JPS5056635U.

Надрізані ділянки полотна тарілки в подальшому часто піддаються частковому або повному витягуванню з утворенням прямокутних елементів різної форми.

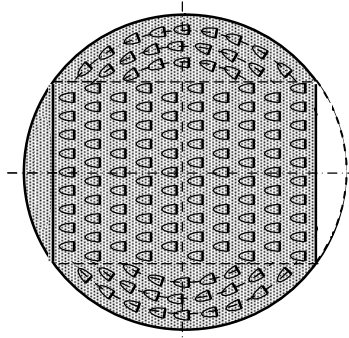


Рис. 2.137. Луската тарілка згідно з пат. № UA140913U

Пелюстки різної форми описано також у заявці № DE1032219B.

Менш поширені пелюстки еліптичної форми з кутом дуги надрізу 300–330° (а. с. № SU510247A1).

Прямолінійні пелюстки виконують під кутом до полотна тарілки, а вигнуті – здебільшого з консольною частиною, паралельною полотну тарілки, що знижує бризковинесення. Також пелюстки можуть бути відігнуто як вгору, так і вниз від полотна тарілки (№ WO2004/060522A1; рис. 2.138).

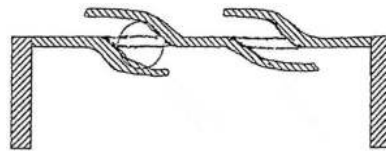


Рис. 2.138. Конструкція полотна тарілки згідно із заявкою № WO2004/060522A1

Залежно від формозмінювальної операції, що застосовується для формування прямоточних (напрямних) та/або диспергувальних елементів, розрізняють тарілки, одержані за допомогою операцій витягування, відбортовування та скручування.

Найбільш поширеною формозмінювальною операцією штампування є витягування ділянок полотна тарілки з попереднім одностороннім надрізуванням, у результаті якої зазвичай формують згадані вже лусочки (язички). При цьому вихідні отвори лусочок на полотні тарілки орієнтовано залежно від необхідного руху потоку: в одному напрямку (пат. № GB734218A, GB828955A, CN2432995Y, заявки № DE2927787A1, WO95/00239A1, WO96/04071A1, а. с. № SU1099973A1, SU1308345A1), під прямим кутом (пат. № CN203763885U, а. с. № SU725682A1, заявки № WO97/37741A1 і CN103816692A) та під кутом 180° (пат. № CN202860156U, а. с. № SU997708A1; рис. 2.139) один відносно одного, по спіралі (пат. № GB682721A), а також по концентричних колах (пат. № US4065528A, FR2334394A1, GB1482885A, US4036917A та RU2113266C1, а. с. № SU1605320A2, SU1605321A2, SU1607156A2 і SU1624751A2, заявки № DE2620848A1, DE2927840A1 і JPS5077270A).

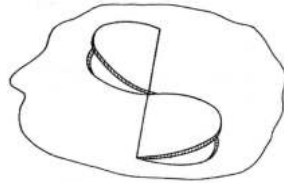


Рис. 2.139. Конструкція полотна тарілки згідно з а. с. № SU997708A1

На відміну від найпоширеніших лусочок з прямолінійним по довжині склепінням в а. с. № SU1375270A1 запропоновано лусочки з криволінійним по довжині склепінням, що знижує бризковинесення з полотна тарілки (рис. 2.140).

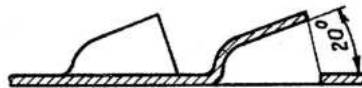


Рис. 2.140. Конструкція полотна тарілки згідно з а. с. № SU1375270A1

Також розроблено тарілку з розрізними пелюстками, частини кожної з яких відігнуто під різними кутами до полотна тарілки (а. с. № SU1000048A1). Пелюстки з двома паралельними надрізами запропоновано в а. с. № SU1053842A1. При цьому середню частину пелюстки відігнуто донизу, а бічні – догори відносно полотна тарілки (рис. 2.141).



Рис. 2.141. Конструкція полотна тарілок згідно з а. с. № SU1000048A1 (а) і SU1053842A1 (б)

Найчастіше для спрямованого виходу потоку газової фази пелюстки відгинають під гострим кутом до полотна тарілки. Однак розроблено тарілку (а. с. № SU1426603A1), в якій квадратні пелюстки відігнуто вертикально вгору так, що пелюстки поруч розташованих отворів розміщено по сторонах уявних квадратів (рис. 2.142). Таке конструктивне рішення підвищує однорідність газорідного шару на полотні тарілки та інтенсифікує процес тепломасообміну.

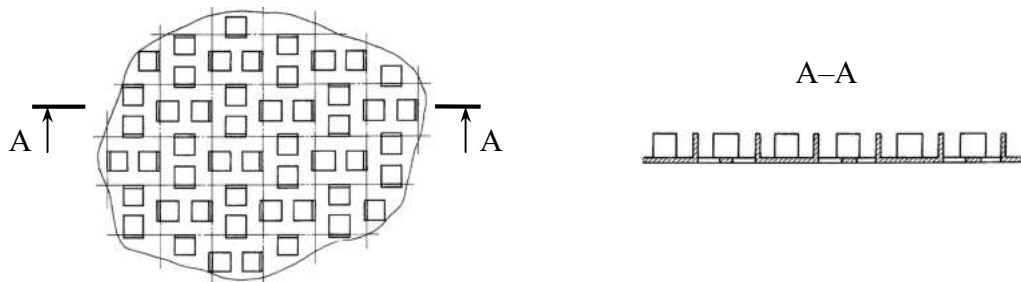


Рис. 2.142. Конструкція полотна тарілки згідно з а. с. № SU1426603A1

Пелюстки зазвичай відгинають у бік верхньої поверхні полотна тарілки. Проте в а. с. № SU1459685A1 запропоновано V-подібні пелюстки, відігнуті вниз відносно полотна тарілки. Пропоновані пелюстки не тільки збільшують поверхню контакту фаз, але й стабілізують злив рідини з тарілки крізь утворені пелюстками отвори. При цьому в а. с. № SU1613128A1 описано більш продуктивну тарілку зі здвоєними V-подібними пелюстками (рис. 2.143).

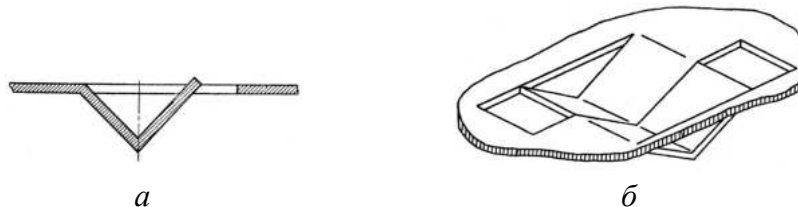


Рис. 2.143. Конструкція полотна тарілок згідно з а. с. № SU1459685A1 (а) і SU1613128A1 (б)

Приклад більш складної геометрії полотна тарілки, одержаної в результаті суміщення операцій одностороннього надрізання й витягування надрізанних ділянок, наведено в пат. № CH280821A, DE871594C, GB687196A та FR886614A (рис. 2.144).



Рис. 2.144. Конструкція полотна тарілки згідно з пат. № CH280821A

У результаті двостороннього надрізання полотна тарілки й наступного витягування надрізаної ділянки формують П-подібні елементи (зазвичай смужки) з паралельними або похилими ніжками, а також поличкою, паралельною полотну тарілки або розташованою під кутом до нього. Ці смужки, у свою чергу, утворюють спрямовані канали для проходження легкої фази (пат. № GB1221391A, GB2106418A, GB2297276A, GB2321417A, CH291798A, CH653564A5, DE1908717A1, DE3229510A1, US5468425A, US5360583, FR1046951A, FR1075427A, CN2721188Y, CN201253499Y, CN202155062U, CN1507934A, CN1816386A, CN108601989A, CN1110868A JPH08500292A, JPH09503702A та JP2002502304A, заявки № WO97/37741, WO98/28056A1, WO2004/071636A2, EP0001448A1, EP1317948A1). При цьому поверхні полички, спрямовані в бік виходу потоку легкої фази, можуть бути вигнуто не тільки вздовж, але й поперек пелюстки (пат. № DE899345C і CN201775975U, заявка № WO98/28056A1; рис. 2.145).

Подовжні П-подібні елементи (найчастіше прямокутні та трапецієподібні), як і розглянуті раніше лусочки, можуть бути орієнтовано різним чином.

Наприклад, розташовано по концентричних колах елементи, в межах сусідніх по радіусу кіл повернено один відносно одного на 90° (при цьому вони розташовуються як вздовж радіуса полотна тарілки, так і по хордах кіл; пат. № GB690798A).

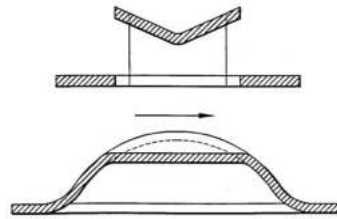


Рис. 2.145. Конструкція прямогочного елемента згідно із заявкою № WO98/28056A1

Полочки П-подібних елементів також можуть бути різної форми: прямокутної (пат. № CN1507934A та DE899345C, заявки № WO2016/102081A1, WO2017/074545A1 і WO2017/211790A1), квадратної (заявка № JPS5075567A), круглої (пат. № US5120474A та CN1507934A, заявка № WO2017/074545A1), еліптичної (пат. № CN201768392U), трапецієподібної (пат. № DE1908717A1, FR1583026A, UA2003U та CN1507934A, заявка № WO2017/211790A1), трикутної (а. с. № SU394058C1, заявка № WO2017/211790A1), шестикутної (а. с. № SU394058C1, пат. № CN204952331U), а також фігурної (пат. № CN2459060Y і RU2482898C1) форми (рис. 2.146).

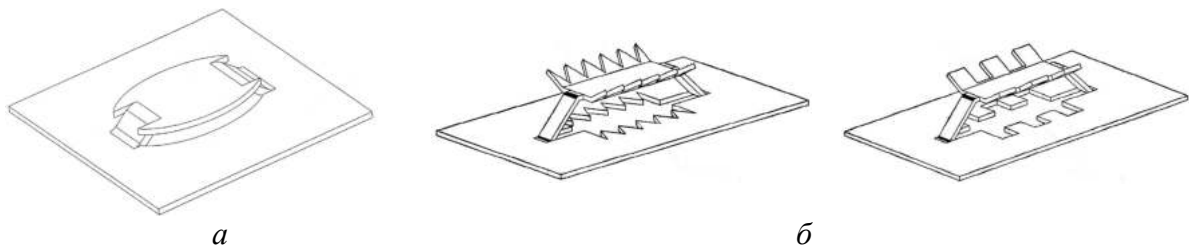


Рис. 2.146. Конструкції прямогочних елементів еліптичної форми згідно з пат. № CN201768392U (а) і фігурної форми згідно з пат. № RU2482898C1 (б)

Аналогічні елементи, але з великою кількістю перегинів як ніжок, так і полицок, розглянуто в заявках № WO2011/138018A1 і CN102917766A (рис. 2.147).



Рис. 2.147. Конструкції прямогочних (напрямних) елементів згідно із заявками № WO2011/138018A1 і CN102917766A

Напрямні елементи у вигляді піднятих над полотном тарілки дисків запропоновано в пат. № US3087711A. При цьому диск може розташовуватися як паралельно полотну тарілки, так і під деяким нахилом, що забезпечує кращий напрямок виходу з-під нього легкої фази (рис. 2.148).

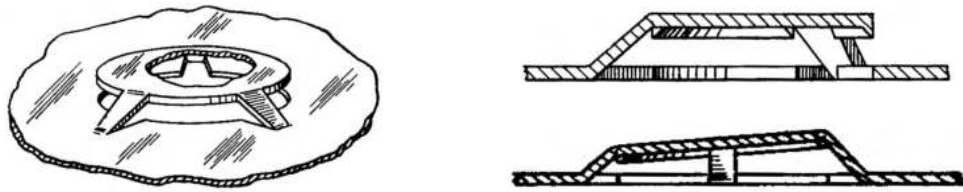


Рис. 2.148. Напрямні елементи згідно з пат. № US3087711А

Аналогічні дискові елементи описано також у пат. № UA62266U.

Дискові елементи, але з двома, а не трьома ніжками, запропоновано в заявці № JP2018524166А. У центрі диска також пластичним деформуванням виконано спрямований вершиною донизу конічний виступ, що знижує гідравлічний опір під час проходження легкої фази крізь отвір у полотні тарілки (рис. 2.149). Однак у разі зупинки колонного апарата та його звільнення від оброблюваних фаз, у порожнині зазначеного конуса залишається певний об'єм важкої фази.

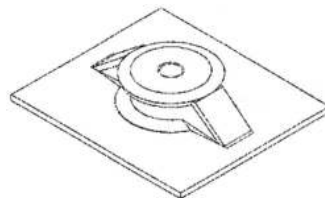


Рис. 2.149. Напрямний елемент згідно із заявкою № JP2018524166А

Більш складний напрямний елемент у вигляді піднятого над полотном тарілки диска зі сформованим у ньому меншим аналогічним диском розглянуто в пат. № RU2436613С1 (у зазначеній тарілці напрямні елементи виконано за допомогою дворівневого витягування листової заготовки; рис. 2.150).

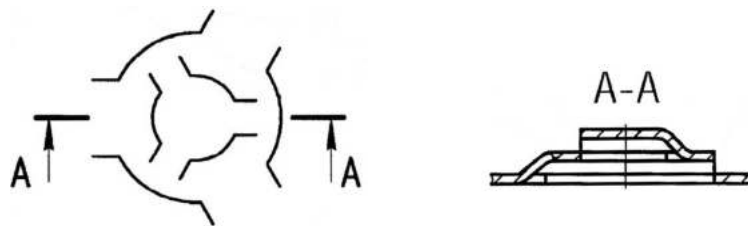


Рис. 2.150. Дворівневий напрямний елемент згідно з пат. № RU2436613С1

У а. с. № SU394058С1 запропоновано тарілку з П-подібними елементами різної форми, розташованими як над полотном тарілки, так і під ним. За твердженням винахідників, зазначена тарілка характеризується широким діапазоном стійкої роботи, підвищеною ефективністю контакту фаз і пропускну здатністю по легкій фазі.

Ще однією формозмінною операцією штампування під час виготовлення тарілок є відбортовування. Наприклад, у заявках № FR2556978А1, GB2081599А та DE3346740А1 розглянуто тарілку з відбортовкою отворів вго-

ру, що ускладнює прохід крізь них важкої фази, а в заявці № WO01/24902A1 – тарілка з отворами, по черзі відбортованими в протилежні сторони: отвори з відбортовкою вгору призначені для переважного пропускання легкої фази, а з відбортовкою вниз – важкої фази. При цьому відбортовка підвищує жорсткість полотна тарілки під час згину. Аналогічне технічне рішення наведено в пат. № JPS4979648U. А в пат. № RU31515U1 запропоновано тарілку, частина отворів якої виконана з відбортовкою вниз.

Аналог відбортовки полотна тарілки, виконаний у вигляді сукупності відігнутих вгору V-подібних пелюсток, наведено у заявці № EP0011922A1 (рис. 2.151). Зазначені пелюстки ефективно диспергують потоки обох фаз, підвищуючи інтенсивність та ефективність масопередачі.

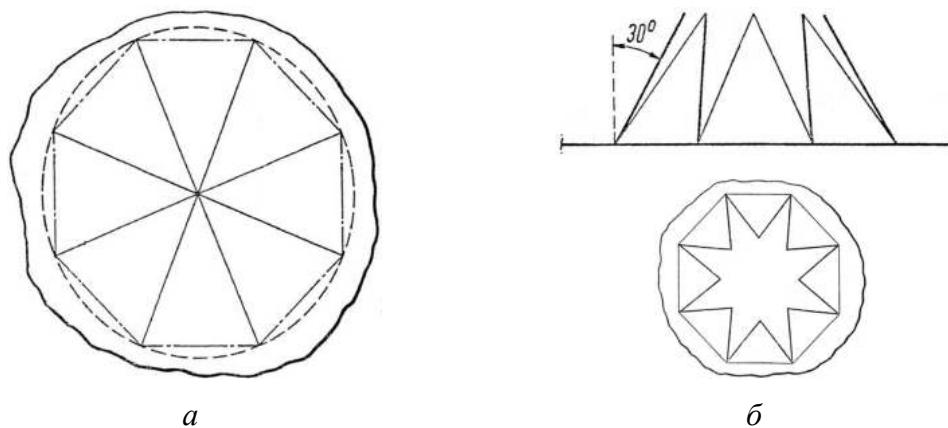


Рис. 2.151. Канали для легкої фази згідно із заявкою № EP0011922A1: а – схема надрізання листової заготовки; б – сформований у полотні тарілки канал для легкої фази

В удосконаленій тарілці лінія відгину кожної з трикутних пелюсток проходить через точку, що лежить на продовженні діагоналі багатокутника на однаковій відстані від його основи (пат. № UA134906U; рис. 2.152). При цьому трикутні пелюстки можуть бути виконано перфорованими та відігнуто під гострим кутом до полотна тарілки, а надрізи виконано зубчастими.

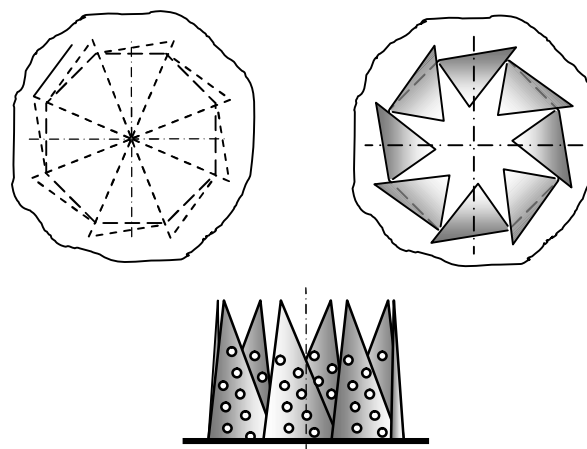


Рис. 2.152. Конструкція тарілки згідно з пат. № UA134906U

Незвичайну тарілку з П-подібними смужками, які розташовано під її полотном, описано в пат. № FR1113755A (рис. 2.153).

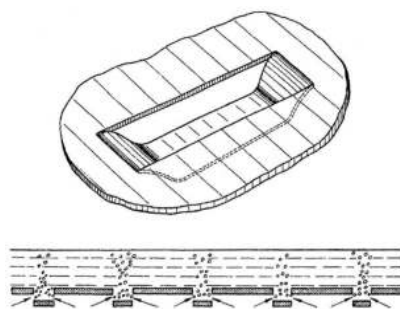


Рис. 2.153. Тарілка згідно з пат. № FR1113755A

У пат. № GB1449278A описано тарілку як з лусочками, так і з П-подібними елементами для розподілу легкої фази.

Ситчаста тарілка містить горизонтальне полотно з відбортованими вгору отворами, при цьому відбортовку кожного отвору виконано такою, що утворювана нею порожнина звужується догори, а на зазначеній відбортовці сформовано щонайменше одну пелюстку, відігнуту назовні (пат. № UA136149U; рис. 2.154). Також кожен пелюстку може бути відігнуто назустріч руху важкої фази по горизонтальному полотну, а крайку кожної відбортовки – виконано рельєфною, наприклад, зубчастою або хвилястою. Така конструкція забезпечує взаємне диспергування фаз на виході з отворів, що збільшує поверхню контакту фаз на полотні тарілки, а отже підвищує ефективність тепломасообміну між фазами.

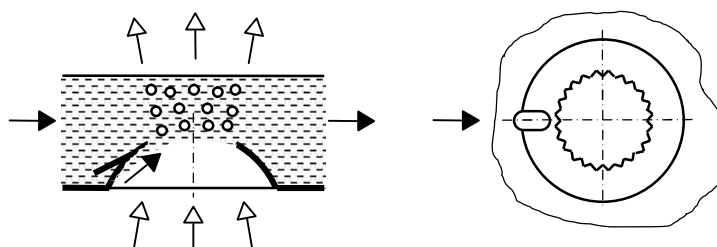


Рис. 2.154. Тарілка згідно з пат. № UA136149U

Найменш поширеною формозмінювальною операцією штампування є скручування, якому зазвичай піддають сформовані пелюстки або П-подібні лінії. Наприклад, у пат. № RU2498838C1 описано круглий напрямний елемент з численними «ніжками», повернутий щодо полотна тарілки. Зазначені скручені «ніжки» утворюють тангенціальні канали, що закручують потік легкої фази на виході з-під зазначеного напрямного елемента.

За формою полотна розрізняють тарілки плоскі, увігнуті, опуклі, а також рельєфні: хвилясті або зубчасті з паралельними гофрами, хвилясті з кільцевими гофрами, а також з дискретними виступами та/або западинами, що чергуються між собою.

Найбільш поширеними є тарілки з плоскими горизонтальними полотнами. Менше використовуються увігнуті круглі в плані провальні тарілки (заявки № EP0099656A2 і JPS5932934A), які сприяють частковому перерозподілу потоку важкої фази від периферії до центру тарілки. Описані у пат. № CN204261371U і CN204352582U опуклі круглі в плані провальні тарілки, за твердженням розробників, забезпечують більшу, порівняно з плоскими тарілками, ефективність проведення процесу тепломасообміну між фазами. Також опуклі тарілки відрізняються меншою матеріалоемністю та більшою жорсткістю, ніж плоскі тарілки.

Різновидом опуклих та увігнутих тарілок можна вважати контактні тарілки у вигляді конусів, спрямованих по черзі вершинами вгору та вниз (а. с. № SU626788A1, SU691144A1 і SU1210873A1).

У заявці № JPS5651204A описано ситчасту тарілку, отвори якої розташовано у вершинах сферичних сегментів, що утворюють полотно з дискретними западинами (рис. 2.155).

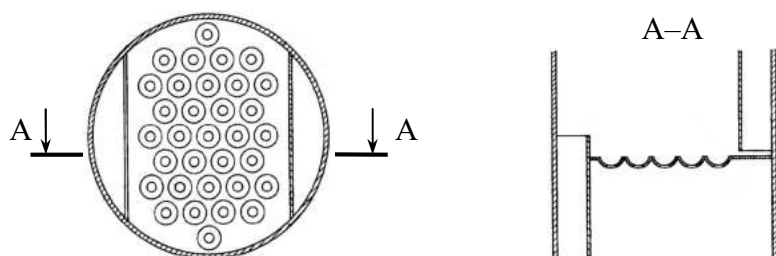


Рис. 2.155. Тарілка згідно із заявкою № JPS5651204A

Аналогічна ситчаста тарілка містить горизонтальне полотно з дискретними перфорованими сферичними ділянками, які орієнтовано вершиною догори, при цьому перфорацію кожної сферичної ділянки може бути розташовано нерівномірно по поверхні для спрямованого руху легкої фази на виході з перфорації та важкої фази по полотну тарілки (пат. № UA134395U; рис. 2.156).

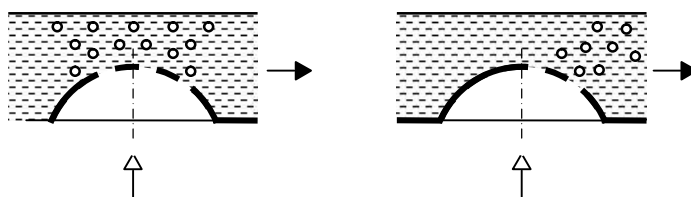


Рис. 2.156. Конструкція ситчастої тарілки згідно з пат. № UA134395U

В а. с. № SU1611363A1 розглянуто подібну тарілку, але з розташованими в западинах сферичних сегментів кульками (рис. 2.157). Вказані кульки перекривають отвори полотна тарілки й під тиском потоку легкої фази можуть відкривати їх. При цьому вертикальне переміщення кульок обмежує розташована над полотном тарілки сітка. Під час роботи контактної тарілки кульки не тільки є своєрідними клапанами, але й засобами диспергування та розсіюван-

ня бульбашок або струменів легкої фази в потоці важкої фази. У той же час навіть за відсутності кульок тарілка залишається працездатною (за аналогією з попередньою конструкцією за заявкою № JPS5651204A).

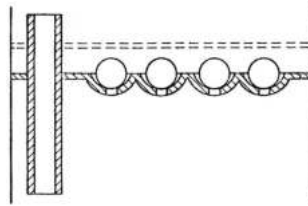


Рис. 2.157. Тарілка згідно з а. с. № SU1611363A1

Провальні тарілки з отворами по всьому полотну й розташованими у вершинах правильних трикутників сферичними виступами запропоновано в пат. № FR1103066A, GB758048A та US2767967A і заявці № DE1077186B. Зазначені виступи сприяють частковому перерозподілу важкої фази на тарілках, підвищуючи ефективність масопередачі між фазами.

Провальні рельєфні тарілки з паралельними гофрами у вигляді зубців запропоновано в пат. № US5554329A та US5707563A.

Полотно ситчастої тарілки виконано у вигляді горизонтального перфорованого листа з гофрами в напрямку руху важкої фази, при цьому гофри по довжині виконано зигзагоподібними (пат. № UA134406U; рис. 2.158). Забезпечується збільшення довжини руху важкої фази по поверхні полотна тарілки, а отже й підвищення ефективності масопередачі між фазами.

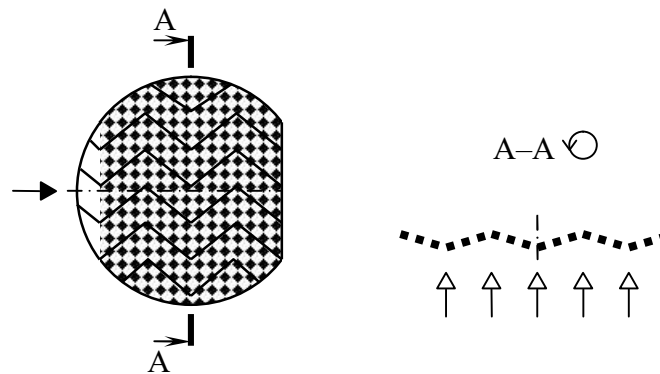


Рис. 2.158. Ситчаста тарілка згідно з пат. № UA134406U

Тарілка згідно з а. с. № SU1151257A1 містить горизонтальне полотно з виступами, кожен з яких виконано у вигляді перевернутого циліндричного стакану з отвором у днищі (рис. 2.159). За твердженням розробників зазначена тарілка вирізняється високою продуктивністю та ефективністю, а також низьким гідравлічним опором.

Колонний апарат з провальними тарілками, що мають подовжні гофри, описано в пат. № GB758048A та заявці № DE1077186B. При цьому парні та непарні тарілки у плані повернуто одна відносно одної на 90°.

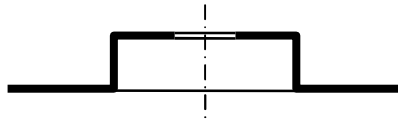


Рис. 2.159. Тарілка згідно з а. с. № SU1151257A1

Хвилясті з паралельними гофрами провальні тарілки також запропоновано в пат. № FR1210122A та GB847734A й заявці № DE1069119B. При цьому полотна тарілок поперечними вертикальними перегородками поділено на окремі ділянки.

За формою полотна тарілки в плані розрізняють круглі [2, 21, 24], квадратні і прямокутні (пат. № JPS5144748U, JPS5144749U, RU2033836C1; заявки № EP0227420A2, JPS62155902A) тарілки. При цьому прямокутні лускаті тарілки тарілчасто-насадкових тепломасообмінних колон можуть бути встановлено як горизонтально, так і з деяким нахилом до горизонту (пат. № RU2050911C1 і RU2050912C1). Також у пат. № FR1464397A і GB1076197A описано колонні апарати з похилими ситчастими тарілками.

Оригінальну двошарову круглу тарілку запропоновано в пат. № GB734874A та US5091119A, а також заявках № EP0361776A1, DE68913114T2, DE69410029T2, JPH02152502A та JPH07163858A. Пакет двох штампованих листів – нижнього дрібнокомірчастого з відігнутими пелюстками (язичками) і верхнього крупнокомірчастого – забезпечують розвинену поверхню контакту фаз (рис. 2.160).

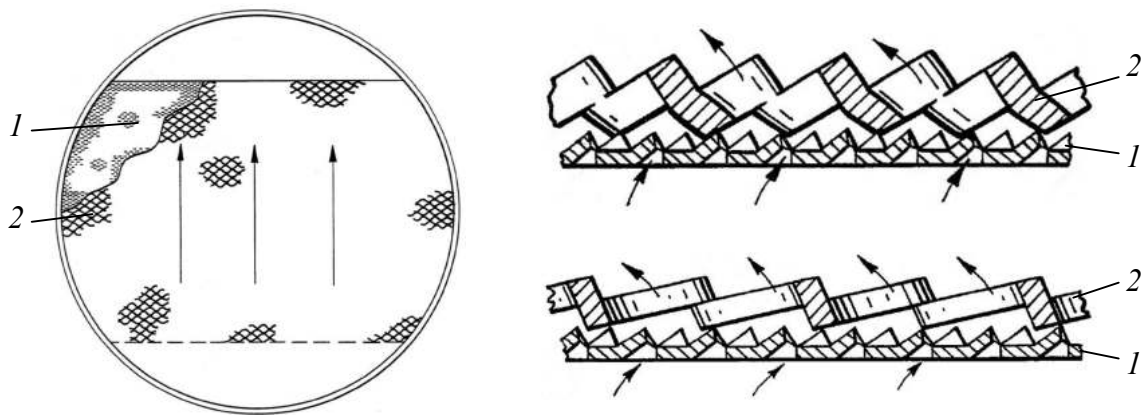


Рис. 2.160. Конструкція двошарового полотна тарілки згідно із заявкою № EP0361776A1:
1 – нижній лист; 2 – верхній лист

Ще одну двошарову тарілку розглянуто в пат. № RU2542265C1. Ця тарілка складається з двох полотен, у кожному з яких виконано отвори та П-подібні виступи з круглими дисками. Зазначені диски одного полотна можуть бути розміщено в отворах другого та навпаки (рис. 2.161). Як показали дослідження роботи запропонованої тарілки, діапазон її стійкої роботи порівняно з традиційною ситчастою тарілкою вище на 25 %.

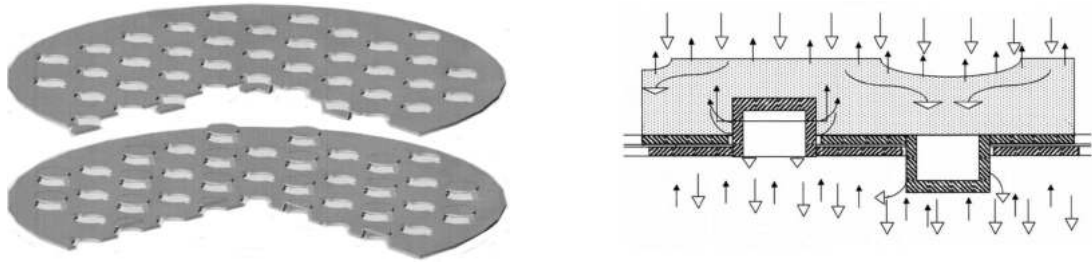


Рис. 2.161. Конструкція двшарового полотна тарілки згідно з пат. № RU2542265C1

Також круглі в плані тарілки можуть бути виконано із зовнішньою відбортовкою, спрямованою вниз (пат. № JPS5076039U). Зазначена відбортовка поліпшує ущільнення тарілки в корпусі тепломасообмінної колони.

За формою каналів у полотні тарілки для проходу легкої фази розрізняють тарілки з отворами та щілинами.

Отвори найчастіше виконують циліндричними діаметром 2–8 мм [21, 24] та рідше конічними. Наприклад, у пат. № CN205659430U та заявці № CN105854331A запропоновано тарілки зі звуженими вгору конічними отворами, що полегшують проходження крізь них легкої фази.

Звужені вгору й виконані під нахилом до вертикалі овальні щілини або конічні отвори (пат. № CN544561A) полегшують вхід у них легкої фази, а також збільшують її швидкість на виході з отворів, сприяючи при цьому інтенсивній турбулізації потоку важкої фази (рис. 2.162). Також похилі канали забезпечують спрямований рух важкої фази полотна тарілки. Виконані під нахилом до вертикалі циліндричні отвори запропоновано в заявці № JPH0663306A.

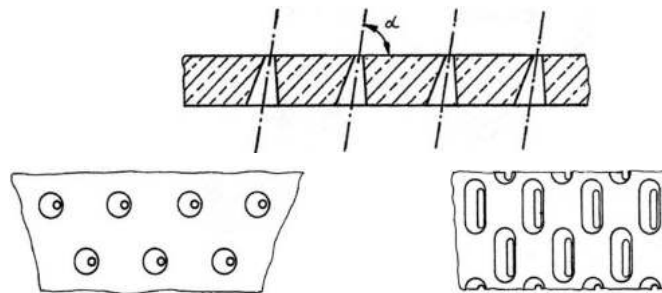


Рис. 2.162. Тарілки зі звуженими вгору овальними щілинами або конічними отворами згідно з пат. № CN544561A

Полотна провальних тарілок зі звуженими вгору або вниз, а також біконічними отворами запропоновано в заявці № GB2048108A (рис. 2.163).

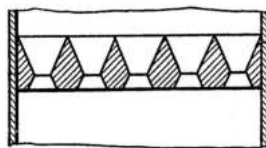


Рис. 2.163. Провальна тарілка з біконічними отворами згідно із заявкою № GB2048108A

Подібне полотно, але з отворами у вигляді спрямованих вершинами назустріч один до одного чотиригранних пірамід і циліндричними ділянками в місцях їх сполучення описано в а. с. № SU1289524A1. Зазначене виконання отворів тарілки, за твердженням розробників, підвищує ефективність процесу тепломасообміну.

Також розроблено тарілки з циліндричними отворами, що мають конічний або радіусну (пряму або зворотну) вхідну ділянку з боку нижньої поверхні полотна тарілки, що полегшує потрапляння в отвори легкої фази (пат. № JPS5588804U; рис. 2.164).

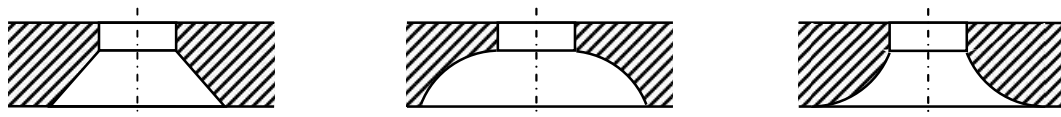


Рис. 2.164. Конструкція отворів у полотні тарілки згідно з пат. № JPS5588804U

У пат. № JP2010051959A запропоновано тарілку з отворами, що мають східчасті або заокруглені стінки (рис. 2.165). За інформацією розробників така форма отворів попереджає утворення відкладень. Тарілки з отворами аналогічної форми наведено також у заявках № EP0111941A2 і JPS59173103A.

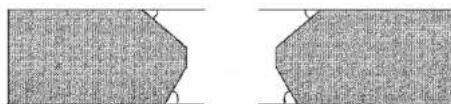


Рис. 2.165. Конструкція отворів у полотні тарілки згідно з пат. № JP2010051959A

Ситчасту тарілку з циліндричними отворами, оснащеними конічними фасками, запропоновано в пат. № RU47762U1. Зазначена тарілка забезпечує підвищену швидкість руху легкої фази, а також знижує ймовірність утворення відкладень на полотні тарілки.

Провальну тарілку із ступінчастими отворами, що забезпечують ефективне диспергування фаз, описано в пат. № JPS5083343U. При цьому «сходинки» отворів можуть бути утворено складеними в пакет декількома штампованими листами з отворами різного діаметра (рис. 2.166).

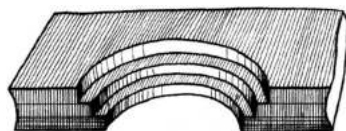


Рис. 2.166. Конструкція тарілки зі ступінчастими отворами згідно з пат. № JPS5083343U

У заявках № JPH09510395A і WO95/25571 наведено опис колони з декількома парами тарілок: нижньою тарілки, оснащеною вихровими контактними елементами, і розташованою над нею верхньою провальною тарілкою, що забезпечує не тільки додаткову зону тепломасообміну, але й перешкоджає бризковинесенню з нижньої тарілки.

Найбільш поширені циліндричні отвори виконують як з гладкими, так і з рельєфними стінками. Наприклад, у пат. № UA22712U на стінці отворів виконано гвинтові пази, що закручують легку фазу на виході з отворів.

Тарілки з отворами у вигляді криволінійних багатокутників з увігнутими сторонами, які можуть мати змінну кривизну, наведено в а. с. № SU1331528A1 (рис. 2.167). Проведені розробниками експериментальні дослідження показали зниження матеріалоемності зазначених тарілок у 1,5–2,0 рази порівняно з тарілками, що мають круглі отвори. При цьому в а. с. № SU1457943A2 для підвищення однорідності газорідинного шару на полотні тарілки отвори запропоновано орієнтувати відносно один одного не довільно, а певним чином.

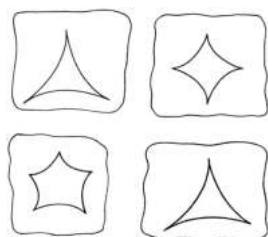


Рис. 2.167. Форма отворів тарілок згідно з а. с. № SU1331528A1

Також розроблено апарати з провальними тарілками, що чергуються по висоті колони та мають отвори різної форми (а. с. № SU387722A1 і SU1690798A1).

Отвори в полотні тарілки розташовують у вершинах квадратів, прямокутників, ромбів або правильних шестикутників як у коридорному, так і в шаховому порядку (заявки № EP0059449A1, WO2004/004861A1; рис. 2.168), а також рівносторонніх трикутників (пат. № JPS5071543U) та рівнобедрених трикутників у сусідніх парах рядів отворів (заявка № EP1279429A1).

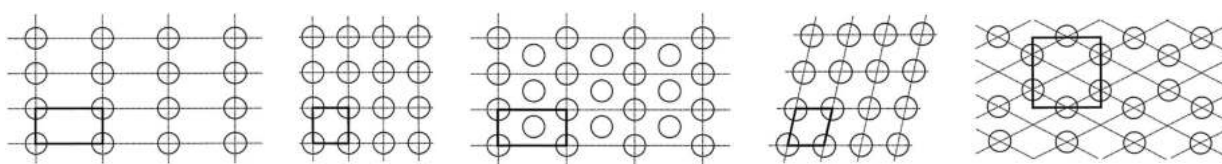


Рис. 2.168. Приклади розташування отворів у полотні тарілки згідно із заявкою № WO2004/004861A1

Також отвори в круглих тарілках розташовують по концентричних колах. При цьому запропоновано конструкцію тепломасообмінної колони, в сусідніх тарілках якої діаметр отворів послідовно зменшується або зростає від центра до периферії корпусу колони (пат. № CH383928A; рис. 2.169).

У заявках № JPH09136029A, FR2740990A1, GB2307191A та DE19647126A1 розглянуто колону з нерівномірним розташуванням отворів від тарілки до тарілки, при цьому живий переріз тарілок не перевищує 15 %.

За твердженням розробників, таке технічне рішення значно поліпшує ефективність взаємодії фаз на тарілках (рис. 2.170).

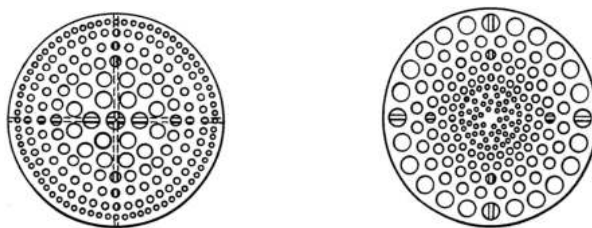


Рис. 2.169. Конструкції сусідніх тарілок тепломасообмінної колони згідно з пат. № СН383928А

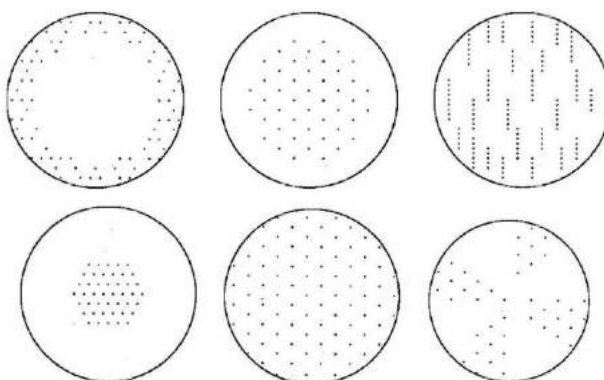


Рис. 2.170. Розташування отворів у тарілках згідно із заявкою № JPH09136029А

Паралельно розташовані в полотні тарілки щілини виконують завширшки 3–10 мм [2]. Тарілки з більш вузькими щілинами характеризуються складністю у виготовленні, а з ширшими – вузьким діапазоном стійкої роботи. Щілини, що виконуються прямокутними з прямими або заокругленими стінками (тобто у вигляді овалів), зазвичай розташовують паралельно одна одній по всій площі тарілки й рідше – окремими групами (для забезпечення більшої жорсткості полотна тарілки під час його згину). Набагато рідше використовуються щілини іншої форми, наприклад, Х-подібні (а. с. № SU387722С1).

Також щілини можуть бути виконано не пробиванням листової заготовки полотна тарілки, а її надрізанням з незначним відгином елементів від площини полотна (а. с. № SU141143А1). Такі жалюзійні тарілки спрямовують потік легкої фази у бік вихідної щілини жалюзі (пат. № RU2224574С1).

Тарілку з жалюзі, краї яких розташовано як під, так і над полотном тарілки, описано в пат. № DE950190С і FR1074862А (рис. 2.171). Аналогічне технічне рішення розглянуто в пат. № FR1009329А.

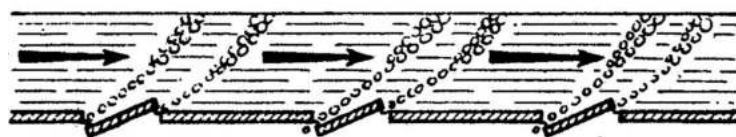


Рис. 2.171. Конструкція жалюзійної тарілки згідно з пат. № DE950190С і FR1074862А

За кількістю потоків легкої фази розрізняють одно-, дво- і багатопотокові напрямні елементи.

Одно- і двопотокові напрямні елементи було розглянуто раніше (так звані «лусочки» та П-подібні смуги, відповідно). А в пат. № US6588736B1 та заявці № WO02/47784A2 розглянуто варіанти виконання багатопотокових напрямних елементів, одержаних у результаті багатостороннього надрізування з частковим витягуванням надрізаних ділянок (рис. 2.172).

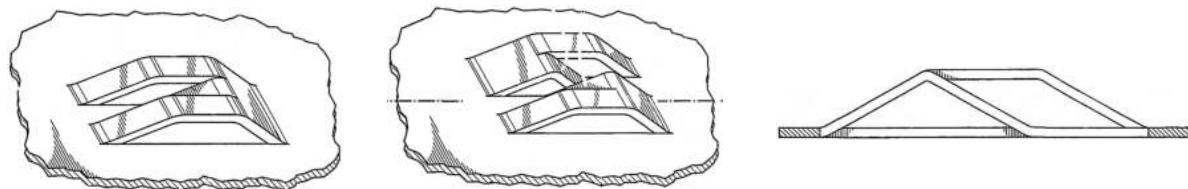


Рис. 2.172. Конструкції багатопотокових напрямних елементів згідно з пат. № US6588736B1 і заявкою № WO02/47784A2

У пат. № CN205730429U, CN2459060Y та CN204709843U наведено конструкції напрямних елементів тарілки, які одержано за допомогою дворівневого витягування та забезпечують два рівні взаємодії фаз на полотні тарілки (рис. 2.173).

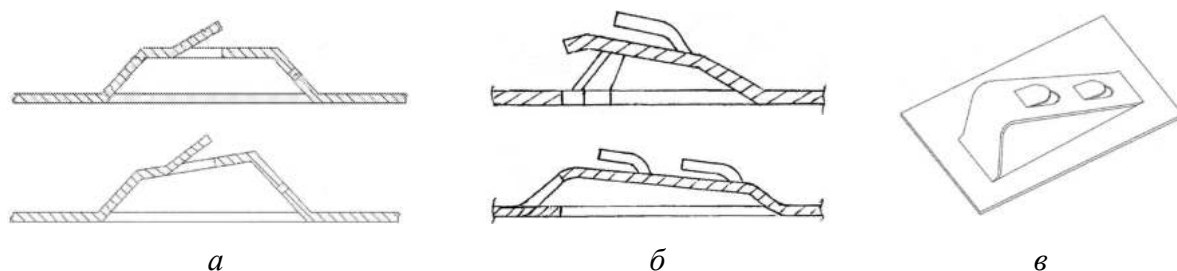


Рис. 2.173. Конструкції дворівневих напрямних елементів згідно з пат. № CN205730429U, CN2459060Y і CN204709843U

Подібні рішення наведено і в пат. № CN201179355Y (рис. 2.174).

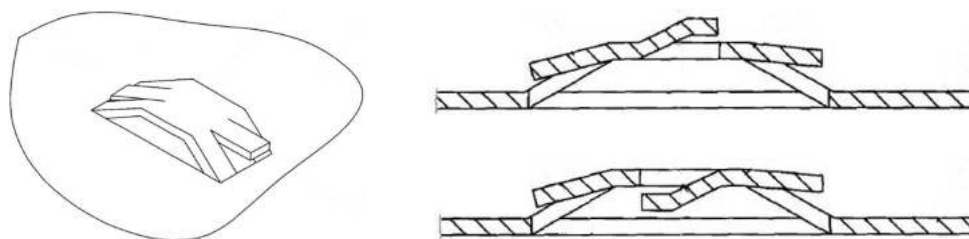


Рис. 2.174. Конструкції П-подібних напрямних елементів з пелюстками згідно з пат. № CN201179355Y

У заявці № CN102489032A та пат. № CN202620760U описано тарілки з хрестоподібними (або Х-подібними) одно- або дворівневими багатопотоковими елементами (рис. 2.175).

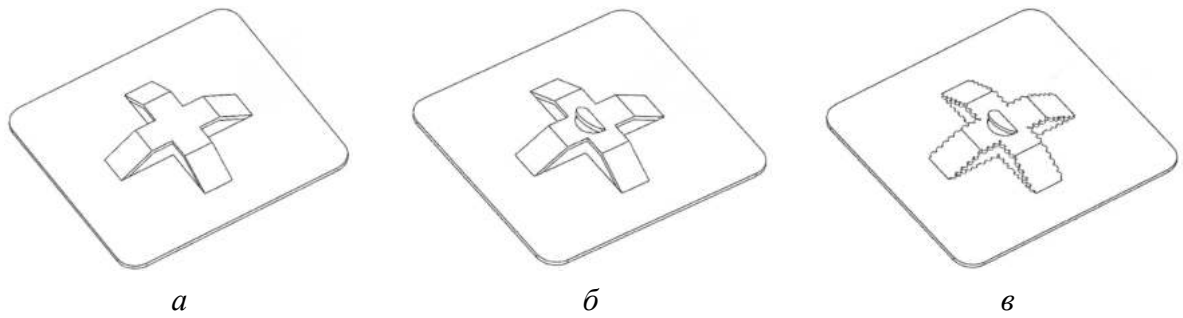


Рис. 2.175. Конструкції одно- (а) і дворівневих (б, в) багатопотокових напрямних елементів згідно із заявкою № CN102489032А і пат. № CN202620760U

Аналогічні напрямні елементи, одержані дворівневим витягуванням, запропоновано в пат. № CN2589037Y, CN201076817Y і CN202036813U, а також у заявках № CN103495287A і CN103830927A.

За формою поперечного перерізу лусочок для проходу легкої фази розрізняють тарілки з лусочками з поперечним перерізом у вигляді частини кола – півкола або сегмента кола (заявки № EP0022158A1, WO2017/211790A1 і JPS5273179A2), трикутника (заявка № WO2017/211790A1) або трапеції (заявки № EP2548896A1, WO2011/114585A1 і WO2017/211790A1).

Також розроблено конструкції комбінованих ситчастих тарілок з круглими отворами та лусочками для проходу легкої фази (пат. № US3417975A та US3603129A, а. с. № SU510247A1). Аналогічні технічні рішення описано в пат. № CN2092361U та CN2537446Y, а також заявці № CN1256958A. Ще одну подібну ситчасту тарілку як з пелюстками, так і П-подібними елементами для розподілу легкої фази над полотном тарілки запропоновано в пат. № GB941783A.

На рис. 2.176 наведено схему полотна провальної або ситчастої тарілки, навколо кожного з отворів якого рівномірно по колу виконано відігнуті вгору пелюстки (а. с. № SU1209244A1). Незважаючи на більш складну, порівняно з класичними провальними або ситчастими тарілками, конструкцію, зазначена тарілка істотно збільшує поверхню контакту фаз.

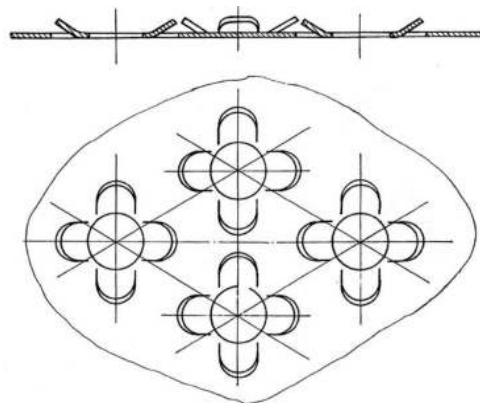


Рис. 2.176. Конструкція тарілки згідно з а. с. № SU1209244A1

За формою напрямних елементів у вигляді пластинок або пелюсток над каналами для проходу легкої фази розрізняють напрямні елементи прямолінійні (заявка № JPH08206402A), а також вигнуті як у подовжньому, так і поперечному напрямках.

За орієнтацією виходу каналів для проходу легкої фази розрізняють тарілки з каналами, орієнтованими в одному та в різних напрямках.

За типом матеріалу розрізняють тарілки, що виготовляються штампуванням з чорних металів і сплавів, а також кольорових металів і сплавів.

Конструкції штампованих контактних тарілок, що розглянуто, виготовляють переважно без використання складальних операцій. До тарілок з використанням складальних операцій можна віднести, перш за все, штамповані полотна з відбійними або відхильними перегородками, що закріплюються на них, призначеними для забезпечення необхідної гідродинаміки важкої фази на полотні тарілки ([2, 13], пат. № US3550916A, RU2060767C1, RU2081652C1, а. с. № SU441023A1, SU724154A1, SU745048A1, SU799774A1, SU827093A2, SU865308A2, SU969279A1, SU1009489A1, SU1012936A1, SU1012937A1, SU1118383A1, SU1130361A1, SU1230616A1, SU1301428A1, SU1308345A1, SU1369737A2, SU1513025A1, SU1565875A1, SU1599034A1, SU1655529A1, SU1692605A1, заявки № DE4018137A1, JPS4869765A та JPS56102902A).

Однак навіть без додаткових засобів штамповані тарілки постійно вдосконалюються, у тому числі завдяки сучасним засобам числового моделювання, що дають змогу істотно полегшити проектування нових конструкцій тарілок і режимів їх роботи.

2.2.5. Похилі тарілки

Разом з традиційними контактними тарілками з горизонтально розташованими плоскими полотнами [2, 5, 6, 24, 34, 46] розроблено різноманітні конструкції тарілок, плоскі або об'ємні полотна яких встановлено у вертикальному корпусі тепломасообмінних колон під нахилом до горизонту [11, 46, 47].

Нахил тарілки усуває подовжню нерівномірність контакту фаз на її полотні та забезпечує гарантований рух важкої фази по полотну тарілки в напрямку її нахилу, при цьому нахилом тарілки, а також формою, розміром і кількістю каналів у полотні тарілки можна досить точно регулювати час перебування важкої фази на тарілці [11].

Аналіз конструктивного виконання похилих тарілок тепломасообмінних колон дає змогу запропонувати їх класифікацію (рис. 2.177).

За формою полотна – дво- та тривимірні тарілки. При цьому тривимірні тарілки поділяються на тарілки у вигляді конуса, зрізаного конуса, сегмента сфери, циліндричної поверхні, а також об'ємної спіралі.

Колони з двовимірними похилими лускатими (пат. № US2787453A) і ситчастими тарілками з переливними пристроями (пат. № JPH0498082A).



Рис. 2.177. Класифікація похилих тарілок тепломасообмінних колон

Колона круглого поперечного перерізу з нахиленими по черзі в протилежні сторони двовимірними плоскими прямокутними у плані перфорованими тарілками зі зливними пристроями (пат. № JPH0725934U; рис. 2.178). Недолік колони – зниження площі контакту фаз полотна плоских прямокутних у плані тарілок, розміщених у циліндричній колоні.

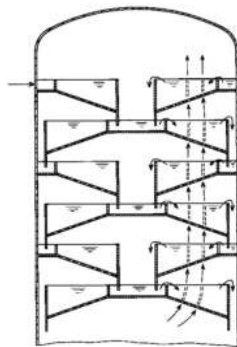


Рис. 2.178. Схема колони з двовимірними плоскими прямокутними у плані перфорованими тарілками зі зливними пристроями (пат. № JPH0725934U)

Колона з похилими привареними до корпусу плоскими похилими тарілками, що доходять вільним кінцем до центра корпусу колони, при цьому сусідні тарілки нахилено в протилежні напрямки (пат. № JPS5995903A; рис. 2.179). У нижній частині кожної тарілки з проміжком відносно неї встановлено відбійну планку, що формує тонку завісу важкої фази, яка стікає на нижчерозташовану тарілку, при цьому газ, проходячи крізь утворювані плівкові завіси, інтенсивно взаємодіє з важкою фазою.

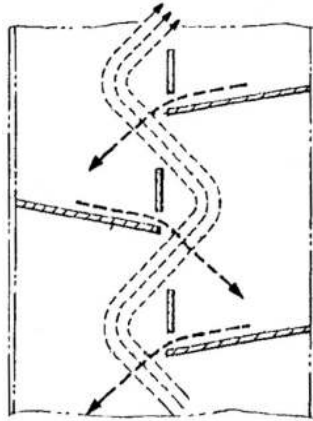


Рис. 2.179. Схема колони с плоскими похилими тарілками (пат. № JPS5995903A)

Умовно двовимірні похилі щілинні тарілки утворено сукупністю паралельних пластин, що частково перекривають одна одну з утворенням щілин, спрямованих у бік нижньої крайки тарілки (пат. № DE103573C і JP2009178684A). Ці тарілки належать до умовно двовимірних, оскільки їх полотна є тривимірними, а двовимірною є верхня поверхня контакту полотен.

В аналогічній тарілці щілини утворено не пластинами, а верхніми полицями рівнобоких кутиків (пат. № US2819888A). Перевага тарілки – велика поперечна жорсткість, недолік – висока матеріалоемність.

Умовну двовимірну похилу щілинну тарілку зі зливним пристроєм утворено сукупністю паралельних пластин, верхні грані яких утворюють робочу поверхню тарілки (а. с. № SU73158A1).

Колони з тривимірними конічними ситчастими (пат. № JPH0725934U) і ковпачковими (заявка № DE2552357A1) тарілками з периферійним кільцевим і центральним трубчастим переливними пристроями, при цьому сусідні тарілки по черзі розширюються догори й донизу.

Тривимірні лускаті конічні тарілки забезпечують закручування потоку легкої фази на виході її з отворів лусочок у шар важкої фази на тарілках, що розширюються догори (пат. № RU2102106C1).

Колона з привареними до корпусу конічними провальними тарілками, по черзі оберненими вершинами догори й донизу (пат. № JPS533954U).

Колона круглого поперечного перерізу містить ситчасті горизонтальні тарілки у вигляді увігнутого або опуклого сегмента сфери, у результаті чого на увігнутих тарілках потік важкої фази прискорюється й стікається до центральної частини полотна, а на опуклих – гальмується й розтікається в напрямку корпуса, тобто до периферії полотна (пат. № US2508394A).

Колона з горизонтальними тарілками й розміщеними над ними зігнутими сітками, які також можна розглядати як барботажи тарілки у вигляді циліндричної поверхні (пат. № GB755548A, US2805845A, FR1096479A та DE1035097B; рис. 2.180).

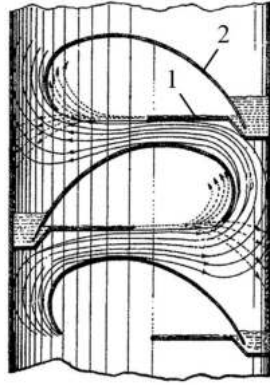


Рис. 2.180. Схема колони з горизонтальними тарілками 1 і криволінійними сітчастими напрямними елементами 2 (пат. № GB755548A, US2805845A, FR1096479A і DE1035097B)

Ректифікаційна колона з двома тарілками у вигляді об'ємної спіралі (гвинтові або шнекові тарілки) різного діаметра й висоти, розташованими у вичерпній та укріплювальній частинах колони (пат. № СН638686А5, заявка № DE2849076А1). Перевага колони – мала висота, а також безперервність взаємодії фаз під час руху по гвинтовій лінії, недолік – складність виготовлення тарілок великого діаметра.

Колони з аналогічною контактною поверхнею (пат. № CN1056823А, JP2002066310А та US3461677А).

Колона з увігнутими конічними тарілками з центральною барботажною частиною та оснащеним козирком осьовим розподільним патрубком, а також розташованим під ним опуклою конічною «парасолькою» (пат. № DE2427857А1; рис. 2.181). У колоні утворюється кілька зон тепломасообміну: на увігнутих конічних тарілках, у просторі між козирком і «парасолькою», а також на верхній поверхні «парасольки» в плівці важкої фази, що стікає по конічній поверхні.

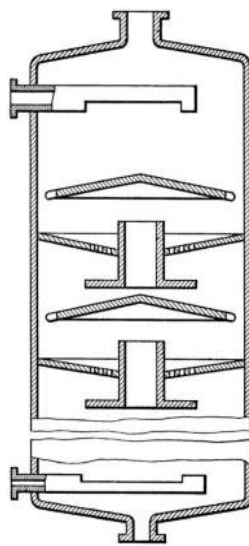


Рис. 2.181. Схема колони з увігнутими конічними тарілками (пат. № DE2427857А1)

Колона з конічними тарілками, що чергуються між собою: розташованими з проміжком відносно корпусу та спрямованими вершинами догори, а також тарілками у вигляді зрізаного конуса, закріпленого на корпусі та спрямованого меншою основою донизу (пат. № JPH08266893A, US5800791A та EP0699473A1; рис. 2.182). Фази взаємодіють переважно в місці стікання важкої фази з тарілок у вигляді суцільної кільцевої плівкової завіси.

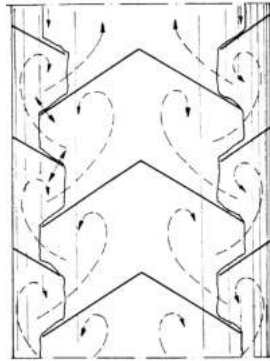


Рис. 2.182. Схема колони з конічними тарілками (пат. № EP0699473A1)

Колони з аналогічними тарілками описано в пат. № EP2311791A1, GB273092A, GB1601637A, GB2005146A, JPS5462171A, JPS53142979A, US4201628A, US4303479A, FR2390981A1, FR2405080A1 і DE297495C, а також заявках № DE2722960A1 і DE2842868A1.

У подібній колоні конічні тарілки спрямовано вершинами донизу (пат. № JPS49134569A).

Колона з тарілками у вигляді зрізаних конусів, обернених один до одного більшими або меншими основами (пат. № US2645607A).

Колона з тарілками у вигляді зрізаних конусів, обернених один до одного більшими або меншими основами, при цьому в останньому випадку менша основа нижчерозташованої тарілки переходить у циліндричний патрубок, що входить у порожнину вищерозташованої тарілки (пат. № US1513354A; рис. 2.183). Також нижню крайку тарілок з циліндричними патрубками виконано зубчастою й загнутою вгору, що забезпечує дроблення важкої фази на окремі струминки та їх ефективну взаємодію з легкою фазою.

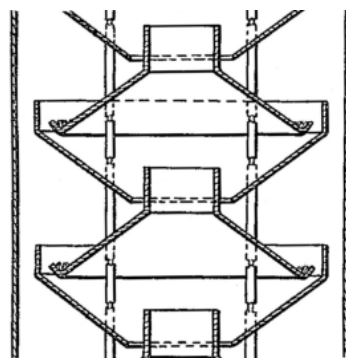


Рис. 2.183. Схема колони з тарілками у вигляді зрізаних конусів (пат. № US1513354A)

За формою полотна у плані – тарілки круглі та прямокутні (як окремий випадок – квадратні).

Колона круглого поперечного перерізу містить по черзі нахилені в протилежні сторони круглі в плані плоскі перфоровані тарілки з сегментними вирізами, призначеними для часткового проходу легкої фази, при цьому приймальну частину тарілки розташовано нижче за зливну, тобто вільну частину кожної тарілки (з сегментним вирізом) піднято, а діаметр отворів збільшується в напрямку руху важкої фази по полотну тарілки (пат. № GB898212A, US3095462A, FR1230531A та DE1103299B).

Колона круглого поперечного перерізу з плоскими тарілками, по черзі нахиленими в протилежні сторони (пат. № CN210409567U). Кожна тарілка в нижній частині має сегментний виріз для зливу важкої фази на верхню частину нижчерозташованої тарілки.

В аналогічних колонах тарілки оснащено пластинчастими переливними пристроями (пат. № DE117746C, DE1519587A1, DE2231855A1, GB1076197A, FR1464397A та US3464679A).

У колоні аналогічної конструкції кожну тарілку виконано у вигляді пакета перфорованих пластин або жорстких сіток, встановлених з проміжками одна відносно одної для формування руху важкої фази у вигляді тонкого шару (пат. № GB1221064A, FR1555081A та DE1719491A1).

Колони круглого поперечного перерізу з плоскими тарілками, по черзі нахиленими в протилежні сторони (пат. № CH593085A5, GB1491252A, JPS5075169A, FR2249694A1 та SU1037830A3). Кожна тарілка у верхній частині має сегментний виріз для проходу легкої фази, а в нижній частині зливу важкої фази – сегментний виріз або щілини. У процесі роботи легка фаза виходить з верхнього сегментного вирізу, потрапляє під дію важкої фази, що стікає зверху, і відхиляється в простір між тарілками, де здійснюється вихровий рух фаз та їх ефективна взаємодія одна з одною.

Колонна круглого поперечного перерізу з плоскими тарілками, по черзі нахиленими в протилежні сторони (пат. № CH618105A5, GB1552247A, FR2309277A1, US4438075A, SU717997A3 і JPS51135875A, заявки № WO81/01251A1, DE2511497A1, DE2518975A1 і DE2944329A1). Кожна тарілка у верхній і нижній частинах має сегментні вирізи, при цьому верхній виріз перекрито з проміжком відносно полотна тарілки козирком (напрямним елементом) у вигляді кругового сегмента. У процесі роботи легка фаза виходить з-під козирка й барботує в шарі важкої фази, що рухається вздовж тарілки до нижнього вирізу.

Колона з плоскими тарілками, по черзі нахиленими в протилежні сторони, при цьому кут нахилу тарілок до горизонталі зменшується (пат. № DE304129C) або збільшується (заявка № DE2900075A1) від верхньої частини колони до нижньої. Зміна кута нахилу тарілок відповідає зміні в'язкості рідкої фази, що стікає, для вирівнювання часу її перебування на тарілках.

Колона з по черзі нахиленими в протилежні сторони тарілками, верхню частину кожної з яких плавно загнуто вгору під прямим кутом з утворенням вертикальної перегородки для направлення рідини, що стікає зверху, на поверхню даної тарілки (пат. № CN101291728A).

Ректифікаційна колона з корпусом прямокутного поперечного перерізу та нахиленими по черзі в протилежні сторони прямокутними тарілками з вільними нижніми кінцями, розташованими з проміжком відносно корпуса (пат. № JPS51155467U).

Колона прямокутного поперечного перерізу з плоскими похилими барботажними тарілками, що утворюють безперервний ступінчастий пандус (пат. № GB1240471A; рис. 2.184).

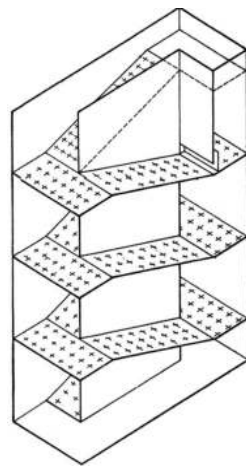


Рис. 2.184. Схема колони прямокутного поперечного перерізу з плоскими похилими тарілками (пат. № GB1240471A)

Колона з аналогічними тарілками, що розміщені в корпусі круглого поперечного перерізу (пат. № US2470483A). Недолік конструкції – зниження об’єму корпуса колони та можливість проскакування фаз.

За ступенем рухливості полотна тарілки – тарілки з нерухомим та обертливим полотном.

Колона з відцентровими конусними тарілками, закріпленими на валу, що проходить уздовж подовжньої осі корпуса колони (пат. № EP0191625A2, US4995945A, заявка № DE3686492T2). Зміною частоти обертання вала регулюють час перебування рідкої фази на тарілках.

За методом утворення нахилу полотна – тарілки з безперервно нахиленим полотном і тарілки з дискретно нахиленим полотном (каскадні, східчасті).

Колона з нахиленими в протилежні сторони плоскими тарілками з сегментним вирізом у нижній частині кожної з них і встановленим у ній переливним порогом, висота якого відповідає висоті полотна тарілки (пат. № EP1057509A1; рис. 2.185). Такі тарілки належать до тарілок з безперервно нахиленим полотном.

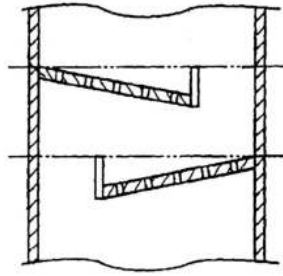


Рис. 2.185. Схема колони з плоскими нахиленими тарілками (пат. № EP1057509A1)

Колона з тарілками, що нахилені по черзі в протилежні сторони та оснащені з відхідними від них до нижчерозташованої тарілки вертикальними пластинами, що утворюють з корпусом колони переливні пристрої (пат. № JPS509544U). Полотна тарілок та виготовлені за одне ціле з ними вертикальні пластини виконані з поперечними гофрами для турбулізації фаз і затримки важкої фази на тарілках.

Колона з аналогічними тарілками, що мають перфорації, при цьому пластини переливних пристроїв виконано гладкими та встановлено з проміжком відносно корпуса колони (пат. № US2005316A).

Колона з перфорованими тарілками, що нахилені по черзі в протилежні сторони та оснащені з відхідними від них до нижчерозташованої тарілки вертикальними пластинами, що утворюють з корпусом колони переливні пристрої (пат. № JPS59146002U). Частина полотна кожної тарілки в місці прийому важкої фази з вищерозташованої тарілки виконано суцільною та оснащено переливним порогом для утворення гідравлічного затвора з вертикальною пластиною вищерозташованої тарілки.

Ректифікаційна або абсорбційна колона із східчастими (каскадними) тарілками, тобто з дискретно нахиленим полотном, що має в нижній частині зливний сегментний виріз (пат. № CN101053700A). Сходинок кожної тарілки оснащено отворами, клапанами або ковпачками. Недолік колони – різна довжина сходинок у межах тарілки, що істотно знижує рівень уніфікації конструкції, а також ускладнює виготовлення й ремонт колони.

Колона зі східчастими (каскадними) тарілками, полотно кожної з яких складається з двох секцій, розділених між собою переливним порогом, при цьому приймальну частину тарілки розташовано вище за зливну (пат. № CN110022955A, KR20190089902A, заявки № WO2018/104226A1 та US2020/061491A1).

Аналогічна двоступенева тарілка, але без переливного порога для поділу секцій між собою (пат. № JPH0498082A).

Колона зі східчастими (каскадними) тарілками, полотно кожної з яких складається з безлічі кільцевих жолобів із зовнішнім циліндричним кільцем, нижню крайку якого занурено в нижчерозташований жолоб більшого діаметра (пат. № US1981346A). Крайки циліндричних кілець виконано із зубцями, які

розділяють потоки оброблюваних фаз на окремі струмені, що інтенсифікує процес тепломасообміну.

Колони зі східчастими ковпачковими тарілками, що знижуються в напрямку руху важкої фази (пат. № FR780631A, US2085522A та DE629133C; рис. 2.186).

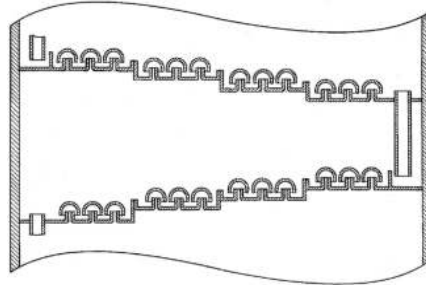


Рис. 2.186. Схема колони зі східчастими ковпачковими тарілками (пат. № US2085522A, № FR780631A, № DE629133C)

До похилих тарілок також можна віднести щілинну тарілку, утворену каскадом прямокутних жолобів, що частково перекривають один одного (пат. № RU2526381C1). Легка фаза проходить по колоні знизу вгору крізь щілини між жолобами, взаємодіючи з рідкою фазою, що зливається у вигляді плівки послідовно з кожного жолоба на сусідній нижчерозташований жолоб. Недолік конструкції – низька уніфікація тарілок у колоні круглого поперечного перерізу, оскільки кожену тарілку утворено сукупністю різних за довжиною жолобів.

Подібна колона зі східчастими тарілками, утвореними кількома полотнами, розташованими уступами з частковим перекриттям один одного (пат. № KR19990076858A).

Ситчасту тарілку утворено спіральним жолобом прямокутної форми з перфорованим днищем, при цьому сусідні витки жолоба зміщено донизу або догори з утворенням відповідно опуклої або увігнутої тарілки (а.с. № SU123948A1). Кожну тарілку оснащено зливним пристроєм: центральним в увігнутій тарілці та периферійним в опуклій.

Як бачимо, розроблено безліч конструкцій тарілок з похилими полотнами, проте широкого поширення в промислових установках такі контактні пристрої не набули. Це можна пояснити, перш за все, високою надійністю та стабільністю роботи тарілок з плоскими горизонтальними полотнами, а також складністю виготовлення й монтажу плоских похилих тарілок для циліндричних колонних апаратів і складністю виготовлення об'ємних полотен тарілок.

Крім того, тарілки з похилим полотном та фіксованим кутом нахилу (що характерно, перш за все, для об'ємних полотен тарілок) вирізняється низькою універсальністю й тому можуть бути ефективно використані лише для проведення певного тепломасообмінного процесу, що характеризується конкретними параметрами (насамперед, витратами фаз і концентрацією розподілюваного компонента у фазах).

2.3. Комбіновані контактні пристрої тепломасообмінних колон

Хімічна промисловість залишається однією з пріоритетних галузей промисловості, оскільки вона забезпечує сировиною майже всі інші галузі промисловості та сільського господарства. Тому зрозуміла увага, що приділяється інтенсифікації процесів хімічної технології, одними з найбільш енергоємних з яких є тепломасообмінні, зокрема процеси за участю газових (парових) і рідинних потоків [2].

Найбільш поширеними апаратами для проведення таких процесів як ректифікація, абсорбція й рідинна екстракція є тарілчасті та насадкові колони. Основні розробки конструкцій тарілчастих контактних елементів припадають на 1960-70-ті роки [11, 13]. Після розробки досить досконалих тарілок тепломасообмінних колон (зокрема барботажного та струминно-барботажного типів) дослідники більше уваги почали приділяти насадковим апаратам, внаслідок чого було впроваджено значну кількість насадок нових типів [1].

У той же час майже не розглядалася можливість розробки контактних пристроїв тепломасообмінних колон, в яких поєднувалися би переваги як тарілчастих, так і насадкових контактних елементів.

Одним з найбільш простих технічних рішень, у яких реалізуються переваги як тарілчастих, так і насадкових тепломасообмінних колон, є розміщення різноманітних контактних пристроїв парами, кожна з яких складається з пакета насадки й розміщеної на ньому тарілки (пат. № RU88980U1; рис. 2.187, а). Недолік цієї конструкції – труднощі, пов'язані з необхідністю щільного завантаження насадкових елементів під полотно тарілки.

Іншим різновидом подібного «пакетного» розміщення різноманітних контактних пристроїв є колона, по висоті корпусу якої встановлено змонтовані парами провальні тарілки, між якими розташовано насадку (пат. № UA2231U; рис. 2.187, б).

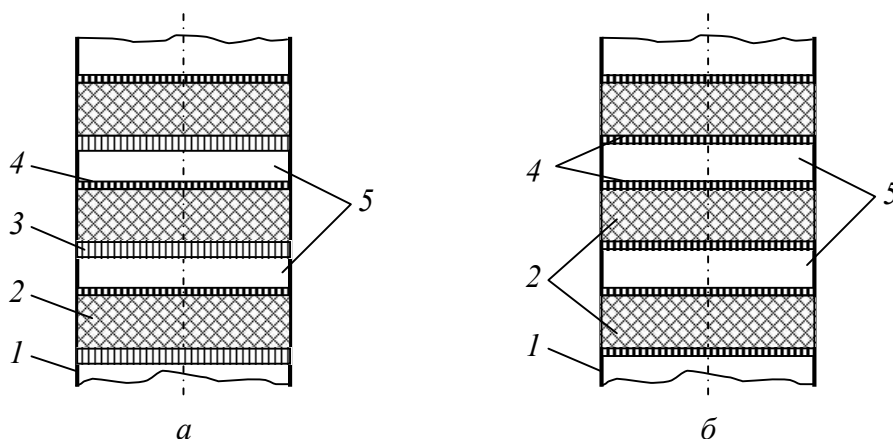


Рис. 2.187. Конструкції тепломасообмінних колон комбінованого типу: а – пат. № RU88980U1; б – пат. № UA2231U; 1 – корпус; 2 – шар насадки; 3 – опорна решітка; 4 – провальна тарілка; 5 – сепараційний простір

Перевага цієї конструкції порівняно з попередньою – значний рівень уніфікації, оскільки шар насадки розміщується не на традиційній опорній решітці, а на звичайній провальній тарілці (зрозуміло, що висота шару насадки в цьому разі обмежена також і механічними властивостями провальної тарілки).

У пат. № UA41155A запропоновано удосконалити традиційну для насадкових тепломасообмінних колон опорну решітку, яка містить сукупність паралельних пластин 3, вертикально розташованих на опорному поясі 1 корпусу 2 колони, з утворенням між ними щілин для проходу оброблюваних фаз (рис. 2.188). З'єднання пластин 3 може здійснюватися за допомогою приварних поперечних планок або стяжних шпильок 4, дистанційних втулок 5 і гайок (див. рис. 2.188, б). З боку нижніх країв пластин 3 змонтовано перфоровану тарілку 6. Її зміцнення може здійснюватися, наприклад, за допомогою підвісок 7, що взаємодіють з дистанційними втулками 5 (див. рис. 2.188, б, в). Регульовальні гвинти 8, які вкручені в перфоровану тарілку 6 і взаємодіють з нижніми краями пластин 3, не тільки надійно фіксують тарілку 6, але й забезпечують проміжок 9 між нею і пластинами 3 (крім того, за допомогою гвинтів 8 забезпечується горизонтальність або незначна увігнутість полотна тарілки 6). При цьому вільний переріз перфорованої тарілки може зменшуватися від її центра до периферії (у цьому разі зазначена тарілка може виконувати функцію перерозподільного пристрою).

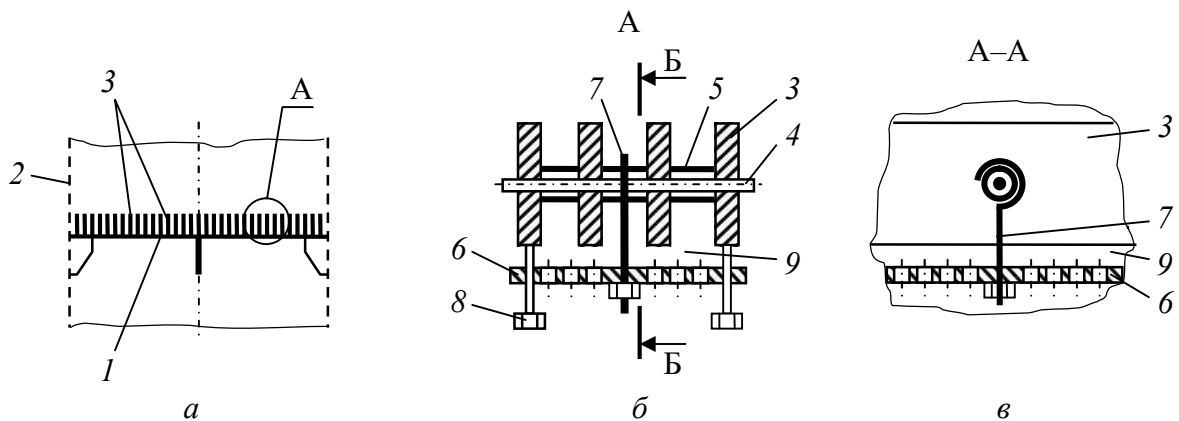


Рис. 2.188. Конструкція опорної решітки насадкової тепломасообмінної колони (пат. № UA41155A) (пояснення в тексті)

Зверху вниз по колоні рухається важка рідка фаза. Після проходження шару насадки вона потрапляє в щілини опорної решітки й затримується в об'ємі, утвореному пластинами й перфорованою тарілкою. Знизу вгору по апарату рухається легка фаза, яка проходить крізь отвори перфорованої тарілки та потрапляє в простір, утворений її верхньою поверхнею й бічними поверхнями пластин, де відбувається інтенсивна взаємодія фаз.

Аналогічне рішення запропоновано в пат. № UA3417U. Виготовляти модернізовані опорні решітки пропонується з паралельно розміщених на од-

ному рівні таврового або двотаврового профілів, швелерів або кутиків (рис. 2.189). Розташовані внизу горизонтальні полиці зазначених профілів виконано перфорованими й вони утворюють своєрідну провальну тарілку.

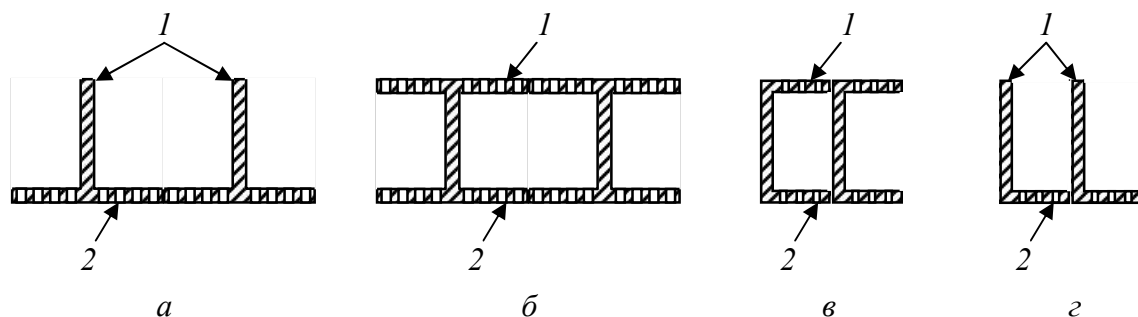


Рис. 2.189. Варіанти конструкції опорної решітки насадкової тепломасообмінної колони, сформованої з таврів (а), двотаврів (б), швелерів (в), кутиків (з) (пат. № UA3417U):
1 – опорна частина конструкції; 2 – тарілчаста частина конструкції

Сукупність відрізків сортового прокату укладають на прикріпленій до корпусу колони опорний пояс. При цьому зазначені відрізки (разом або окремими секціями) можуть бути скріплено між собою стяжками. Після цього на утворені опорні решітки укладають або насипають насадку.

Під час роботи колони зверху вниз колоною рухається важка рідка фаза. Після проходження шару насадки вона потрапляє в отвори або щілини опорної решітки й затримується в об'ємі, утвореному вертикальними пластинами й горизонтальними полицями, розташованими з боку нижніх крайок зазначених пластин. Знизу вгору апаратом рухається легка фаза. Вона проходить крізь отвори або щілини горизонтальних полиць та потрапляє в простір, утворений їхніми верхніми поверхнями, бічними поверхнями вертикальних пластин та шаром насадки або нижніми поверхнями верхніх полиць відрізків прокату. У цьому просторі відбувається інтенсивна взаємодія фаз.

У пат. № UA50588U запропоновано вдосконалену конструкцію перерозподільного пристрою насадкової тепломасообмінної колони 1, що містить увігнуту тарілку 2 з центральним отвором 3, з'єднану за допомогою підвісок 4 з горизонтальною тарілкою 5, оснащеною патрубками 6 для проходження оброблюваних 2 до її центра (рис. 2.190, а–з). Також увігнуту тарілку 2 може бути оснащено центральною відбортовкою 8 з виконаними отворами для розміщення в них паралельно розташованих горизонтальних стрижнів 9, на які насипано шар насадки 10 (рис. 2.190, д, е).

Під час проходження важкої фази по колоні 1 зверху вниз на ділянці розміщення запропонованого пристрою вона перерозподіляється від периферії увігнутої тарілки 2 до центрального отвору 3. При цьому легка фаза, піднімаючись колоною 1, частково проходить крізь патрубки 6, частково крізь проміжок між 2 і горизонтальною тарілками 5 (між підвісками 4), а частково

крізь надрізи 7, спрямовані до центра увігнутої тарілки 2 (рис. 2.190, в). В останньому разі легка фаза проходить крізь шар важкої фази, яка стікає увігнутою тарілкою 2 до її центрального отвору 3, при цьому обидві фази взаємодіють між собою.

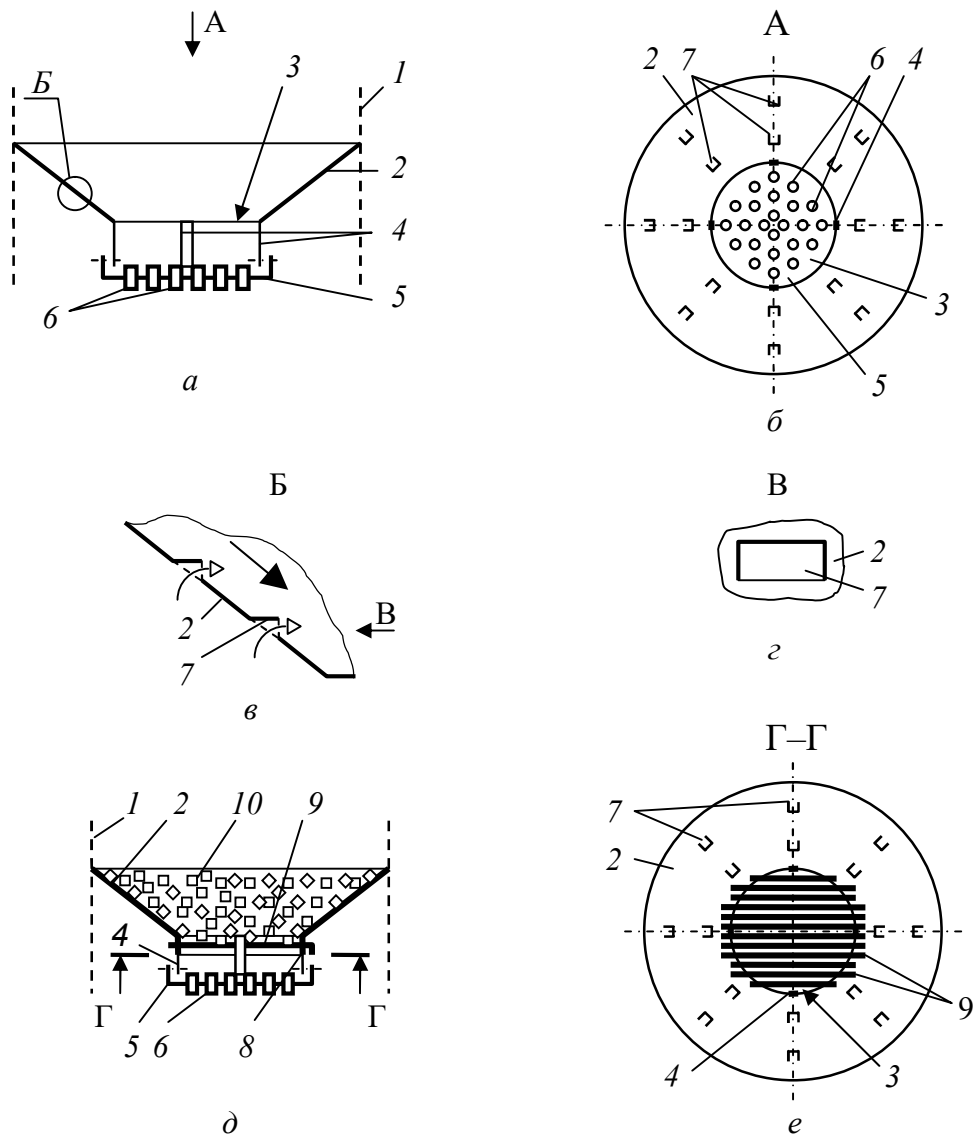


Рис. 2.190. Варіанти виконання перерозподільного пристрою насадкової тепломасообмінної колони (пат. № UA50588U) (пояснення в тексті)

У разі виконання увігнутої тарілки 2 з центральною відбортовкою 8 і отворами для розміщення в них паралельно розташованих горизонтальних стрижнів 9 (див. рис. 2.190, д, е) крізь люк у корпусі колони 1 у западину увігнутої тарілки 2 на стрижні 9 засипають насадкові тіла 10. Під час проходження колоною 1 оброблюваних фаз вони взаємодіють не тільки в основному шарі насадки, а й між її ярусами на ділянках розміщення

перерозподільних пристроїв. Таким чином, запропонований пристрій підвищує ефективність роботи тепломасообмінної насадкової колони.

Аналогічне рішення запропоновано і в пат. № CN113713751A, з тією лише різницею, що отвори перерозподільної тарілки для випуску важкої фази, а також пелюстки для проходу легкої фази розташовані рівномірно майже по всьому поперечному перерізу колони.

У пат. № UA53970U запропоновано тарілку апарата для проведення процесу тепломасообміну між важкою та легкою фазами, що містить плоске полотно *1* з отворами *2*, при цьому її оснащено насадковими елементами *3*, виконаними з матеріалу, густина якого менше за густину важкої фази, а також розміщеними над полотном за допомогою гнучких елементів *4*. Гнучкі елементи при цьому можуть бути закріплено на нижній поверхні полотна *5* і проходити крізь його отвори (рис. 2.191, *a*).

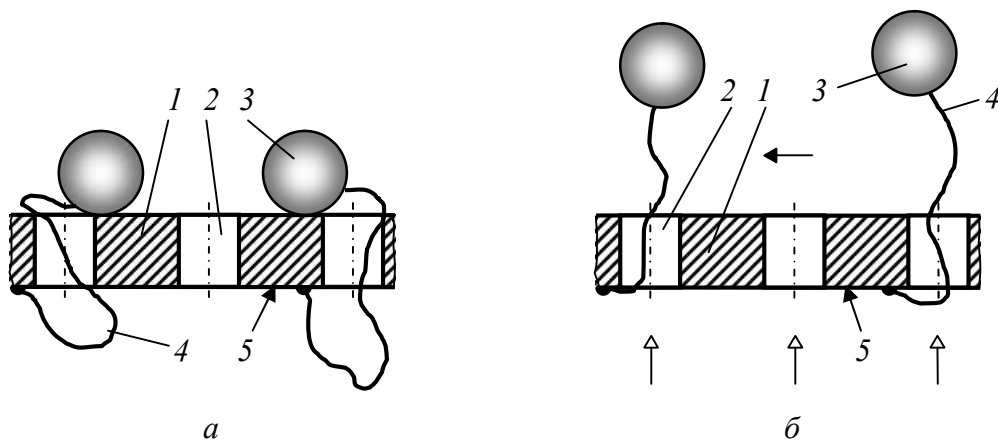


Рис. 2.191. Тарілка з рухливою насадкою (пат. № UA53970U) у неробочому (*a*) і робочому (*б*) станах (пояснення в тексті)

Під час роботи апарата важка фаза рухається по плоскому полотну *1* тарілки, а легка проходить крізь його отвори *2* і далі крізь шар важкої фази, що перебуває на тарілці (рис. 2.191, *б*). Завдяки наявності над полотном *1* насадкових елементів *3* вони перебувають на поверхні шару важкої фази, утримуючись гнучкими елементами *4*. Легка фаза барботує крізь шар важкої фази і в разі потрапляння на тіла *3* додатково дробиться на дрібні бульбашки, що сприяє інтенсифікації тепломасообмінного процесу. Завдяки проходженню гнучких елементів крізь отвори *2* останні самоочищаються від можливих відкладень і забруднень, що підвищує надійність роботи тарілки. Така гідродинаміка фаз на тарілці при забезпеченні її невисокого гідравлічного опору істотно інтенсифікує тепломасообмінний процес, а отже й підвищує ефективність тарілки та апарата в цілому.

У пат. № RU2081698C1 по висоті циліндричного корпусу *1* колони розташовано виконані з пористого матеріалу кільцеві *2* і дискові *3* тарілки, що чергуються між собою (рис. 2.192). Під час роботи колони легка газоподібна

фаза рухається знизу вгору, огинаючи зовні дискові тарілки та проходячи крізь отвори кільцевих тарілок. Важка рідка фаза стікає з вищерозташованої тарілки на нижчерозташовану, при цьому частина рідини просочується крізь пористий матеріал кожної з тарілок і, змочуючи її нижню частину, також рухається або до периферії тарілки (у разі дискової тарілки), або до її центру (у разі кільцевої тарілки). Таким чином, відбувається взаємодія легкої фази з важкою фазою, що рухається як по верхній, так і по нижній частині кожної тарілки. При цьому тарілки можна розглядати і як насадку, оскільки в тепло-масообмінному процесі бере участь вся її поверхня.

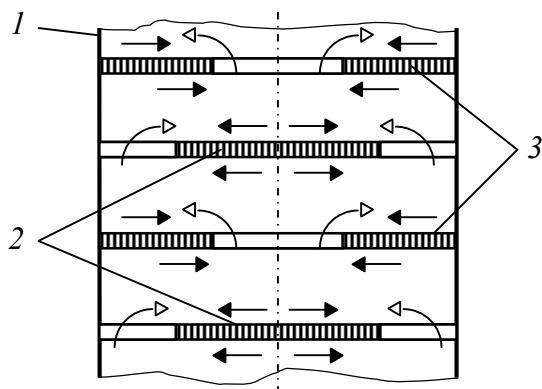


Рис. 2.192. Колонна з тарілками з пористого матеріалу (пат. № RU2081698C1):
1 – корпус; 2, 3 – кільцеві й дискові тарілки, відповідно

Основний недолік цієї конструкції – низька ефективність роботи під час оброблення забруднених фаз або фаз, взаємодія яких призводить до виникнення відкладень, що перекривають пори матеріалу тарілок.

У пат. № RU2297266C2 запропоновано конструкцію колонного апарата, що містить контактні тарілки та розташовану над тарілками вище за рівень рідини насадку з вільним об'ємом 75...96 %. Під час роботи апарата насадка зрошується піною й рідиною, що виноситься з контактної тарілки, при цьому розвинена поверхня насадки сприяє руйнуванню піни, а великий вільний об'єм насадки виключає режим її «захливання» за умови забезпечення низького гідравлічного опору контактної пристрою.

Також розроблено конструкцію тепломасообмінного апарата, що містить розміщені по висоті його корпусу контактні тарілки, кожен з яких виконано у вигляді полотна з отворами й переливними патрубками. При цьому кожен з переливних патрубків розташовано біля стінки корпусу та складається з двох частин, у верхній частині якого на решітці розміщено насадку, а в нижній розташовано теплообмінник (пат. № RU2288020C1). Надання переливним патрубкам крім їхньої основної функції – зливу рідини з вищерозташованої тарілки на нижчерозташовану – також і функції перенесення маси та теплоти розширює можливості стабільної та стійкої роботи апарата в широкому діапазоні витрат по газовій (паровій) і рідкій фазах. Недолік цієї конструкції – на-

садка впливає лише на незначну частину легкої фази, що потрапляє в переливні патрубки й не проходить крізь отвори тарілок.

Також пропонується на полотні тепломасообмінної тарілки закріплювати дві вертикальні перфоровані пластини, що мають форму спіралей Архімеда, які встановлено з можливістю зміни відстані між ними й забезпечують стабілізацію шару піни на тарілці (пат. № RU89410U1; рис. 2.193).

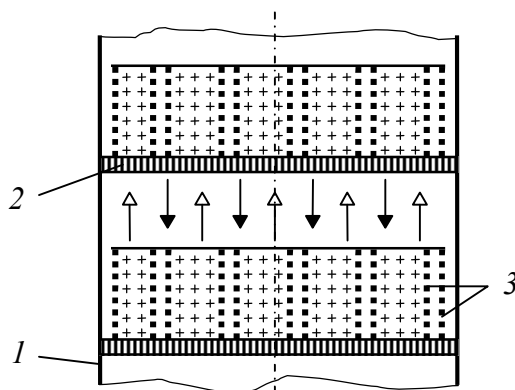


Рис. 2.193. Колонна з тарілками, оснащеними вертикальними перфорованими пластинами (пат. № RU89410U1): 1 – корпус; 2 – полотно тарілки; 3 – перфоровані пластини

Крім того, легка фаза, що проходить крізь отвори полотна тарілки, захоплює частину рідини, що перебуває на тарілці, і змочує нею обидві поверхні кожної з пластин, що збільшує час контакту оброблюваних на тарілці фаз. У той самий час, за умови підвищення швидкості легкої фази, можливе бризко-винесення на вищерозташовану тарілку, що сприяє подовжньому перемішування рідини в колонному апараті та знижує ефективність масопереносу.

Розробка та застосування на практиці комбінованих контактних пристроїв тепломасообмінних колонних апаратів надасть можливість поєднувати переваги традиційних для проведення тепломасообмінних процесів контактних пристроїв – тарілок і насадок. При цьому необхідно проводити експериментальні дослідження для обґрунтування ефективності роботи таких пристроїв.

3. ДОПОМІЖНІ ПРИСТРОЇ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ КОЛОН

3.1. Формування переліку допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон

Разом з тарілчастими колонами для проведення процесів абсорбції, десорбції, ректифікації та рідинної екстракції широко використовуються насадкові тепломасообмінні колони [2–4, 16, 17, 20, 21, 24].

До основних допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон, які безпосередньо впливають на ефективність проведення процесів тепломасообміну, є пристрої для розподілу й перерозподілу важкої фази, пристрої для розподілу й перерозподілу легкої фази, переливні пристрої тарілок, опорні пристрої тарілок, а також вбудовані сепаратори.

3.2. Пристрої для розподілу й перерозподілу важкої фази

Ефективність проведення процесу тепломасообміну у тарілчастих колонах залежить, насамперед, від механізму взаємодії між собою оброблюваних фаз – важкої (рідини), а також легкої (газу, пари, рідини чи їх комбінацій). При цьому на взаємодію фаз у насадковому апараті впливає не тільки типорозмір насадки, але й пристрої для розподілу й перерозподілу рідини в контактній частині апарата.

Якщо розподільні пристрої є обов'язковим конструктивним елементом масообмінної колони, що впливає на величину змоченої поверхні насадки й бризковинесення з колони, то перерозподільні пристрої можуть бути й відсутні. Найявність щонайменше одного перерозподільного пристрою зазвичай визначається загальною висотою шару насадки в колоні для відведення потоку рідини з периферії контактної частини колони до її центру (зазначений пристрій зазвичай встановлюють після шару насадки заввишки 4–5 діаметрів колони, але здебільшого не більше 3–4 м, перед наступним шаром насадки) [20, 24].

Аналіз конструктивного виконання пристроїв для розподілу та перерозподілу рідини в насадкових тепломасообмінних колонах дає змогу запропонувати їх укрупнену класифікацію (рис. 3.1).

Спочатку розглянемо конструкції пристроїв для розподілення рідини.

За механізмом витоку рідини розрізняють розпилювальні та зрошувальні пристрої.

Розпилювальні пристрої забезпечують витікання з них рідини окремими краплями, а зрошувальні – у вигляді струменів або плівки.

За конструкцією розпилювального пристрою – гідравлічні й механічні розподільні пристрої (форсунки).

До гідравлічних належать передусім відцентрово-струминні пристрої, в яких потік рідини поділяють на дві складові: циліндричний центральний струмінь і периферійний обертотий потік, утворений різними завихрювачами (а. с. № SU973177A1, SU1034788A1 і SU1162500A1).



Рис. 3.1. Класифікація пристроїв для розподілення й перерозподілення рідини в тепломасообмінних колонах

Досить ефективні гідравлічні розпилювачі із взаємодією окремих струменів між собою за межами пристроїв. Під час зіткнення струменів вони дробляться на окремі краплі з утворенням факела (а. с. № SU1159648A1).

Розпилювач аналогічного принципу дії містить горизонтальну трубу з віддаленими від неї по обидва боки заглушеними з вільних торців розподільними перфорованими трубами, що в плані утворюють коло (пат. № CN204933480U; рис. 3.2). Розподільні труби розташовано під кутом до 30° до горизонту, тому струмені, що виходять з протилежно встановлених труб, співударяються один з одним з утворенням численних крапель.

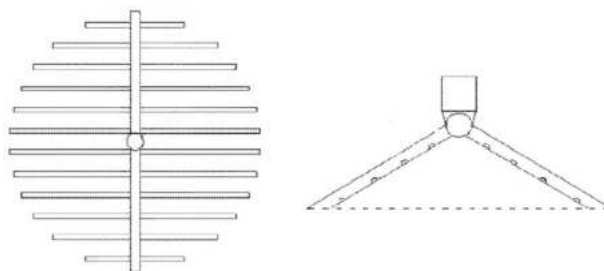


Рис. 3.2. Розподільник згідно з пат. № CN204933480U

До механічних розпилювачів зазвичай належать пристрої, що мають рухомий елемент, який вібрує або обертається під дією рідини, що витікає з нього, або іншого джерела енергії (а. с. № SU925413A1).

Механічний розпилювач у вигляді сегнерового колеса [48]. Недолік пристрою – низька надійність під час оброблення фаз, що спричиняють різні відкладення, а також утворення порожнистого (а не суцільного) факела рідини.

Недолік більшості пристроїв з вібруючим елементом – нерівномірність розподілу крапель у факелі.

Розроблено досить ефективні, але складні у виготовленні та експлуатації механічні розпилювачі (а. с. № SU1159650A1, SU1212602A1, SU1214228A1 і SU1219151A1).

Набагато рідше в насадкових тепломасообмінних колонах використовуються пневматичні розпилювачі, оскільки їхня робота передбачає введення в контактну частину технологічного обладнання стороннього газу (зазвичай повітря), що може негативно вплинути на процес тепломасообміну.

Незважаючи на значну кількість розпилювачів найрізноманітніших конструкцій (див. підклас B05B міжнародної патентної класифікації [49]), розпилювачі в насадкових колонах використовуються досить рідко, оскільки вони відрізняються складністю експлуатації й не виключають винесення дрібних крапель рідини висхідним потоком легкої фази.

За конструкцією зрошувального пристрою – тарілчасті, трубчасті, лоткові, ковпачкові, листові розподільні пристрої, а також пристрої у вигляді багатострумінних головок.

Найбільш поширеними зрошувальними пристроями є тарілчасті пристрої. Традиційний тарілчастий розподільник містить горизонтальне полотно у вигляді круглого відбортованого вгору диска, по центру якого з проміжком відносно полотна встановлено кільцевий стабілізатор (заспокоювач) потоку, в який зверху з труби надходить рідина. У полотні тарілки по концентричних колах або по вершинах правильних трикутників встановлено зливні патрубки для проходу рідини. Легка фаза проходить крізь кільцевий проміжок між розподільником і корпусом колони [50].

Тарілчастий розподільник містить верхню відбортовану тарілку для прийому рідини, що відіграє роль стабілізатора потоку, а також нижню тарілку з рідинними та газовими (паровими) патрубками, яка перекриває поперечний переріз колони (пат. № CN204247190U).

В аналогічному розподільнику нижню тарілку виконано провальною (пат. № CN207413357U).

Розподільник виконано у вигляді горизонтального перфорованого полотна з патрубками для проходу легкої фази, закріпленими в ньому нижніми кінцями, при цьому рідина зрошує шар насадки, проходячи крізь перфорацію полотна (пат. № CA2915280A1, JP2015136699A та US5237823A).

Тарілчастий розподільник містить горизонтальне полотно, що повністю перекриває поперечний переріз колони. У полотні верхніми кінцями закріплено патрубки для проходу рідини, при цьому нижні кінці патрубків занурено в шар насадки (розподільник із затопленими отворами для виходу рідини). Легка фаза з колони відводиться з-під полотна тарілки крізь бічний патрубок ([21]; пат. № CN1266170A).

У тарілчастому розподільнику, крім патрубків для проходу рідини, своїми нижніми кінцями закріплено патрубки для проходу легкої фази, верхні кі-

нці яких виступають над вільною поверхнею рідини, що перебуває на полотні тарілки. Легка фаза з колони відводиться крізь центральний патрубок у кришці колони ([21]; пат. № CN204034718U).

Також розроблено тарілчастий розподільник, в якому обидві фази проходять по одних і тих самих патрубках [21]. Однак такий розподільник не може бути рекомендований для оброблення фаз, що спричинюють відкладення, які можуть змінити гідродинаміку фаз в окремих патрубках і порушити рівномірність розподілу рідини по поперечному перерізу колони.

Розподільник у вигляді провальної тарілки або сітки (розподільник з вільним зливом рідини) [20].

Тарілчастий розподільник у вигляді горизонтального полотна з прикріпленими до нього знизу зливними стаканами, в днищі кожного з яких по колу виконано отвори, при цьому днище перекрито диском з аналогічно виконаними в ньому отворами (пат. № CN205627973U). Поворот дисків змінює ступінь перекриття ними отворів у днищах стаканів, а отже й живий переріз отворів у системі «днище стакана – диск».

Тарілчастий розподільник виконано у вигляді пакета з трьох розташованих з проміжком один відносно одного перфорованих відбортованих тарілок, до нижньої з яких приєднано патрубки для розподілу рідини (пат. № CN203494521U). Верхня й середня тарілки виконують роль стабілізаторів потоку рідини, що надходить у колону.

Тарілчастий розподільник виконано у вигляді пакета рознесених по висоті дисків з діаметром, що зменшується зверху-вниз, при цьому в центрі дисків виконано отвори, діаметр яких також зменшується зверху-вниз (пат. № CN206198956U). Рідина надходить на верхній диск і крізь центральний отвір частково переходить на нижні диски, при цьому рідина у вигляді плівки стікає з периферії кожного диска, утворюючи співвісні плівки у вигляді параболоїдів обертання. Недолік конструкції – необхідність точного горизонтування всіх дисків.

Розподільник у вигляді провальної тарілки з розташованим над нею дворівневим стабілізатором потоку: верхнім у вигляді коритоподібного колектора й нижнім у вигляді сукупності паралельних лотків (жолобів), розміщених перпендикулярно коритоподібному колектору (пат. № CN208878605U).

Трубчастий розподільник у вигляді розташованої по осі колони підвідної труби з двома трубчастими колекторами, що радіально відходять від неї в протилежні сторони та від кожного з яких в горизонтальній площині у свою чергу відходять заглушені з вільних кінців розподільні перфоровані труби, які перекиваються поперечний переріз колони (пат. № CN205684038U).

В аналогічному розподільнику заглушені розподільні труби мають щонайменше один отвір, виконаний у верхній частині й перекритий перевернутим U-подібним відбійником для диспергування струменя рідини, що витікає

із зазначеного отвору (пат. № JPH0747258A; рис. 3.3). Нижні крайки U-подібного відбійника можуть бути прямолінійними, зубчастими, хвилястими або перфорованими для кращого диспергування рідини.

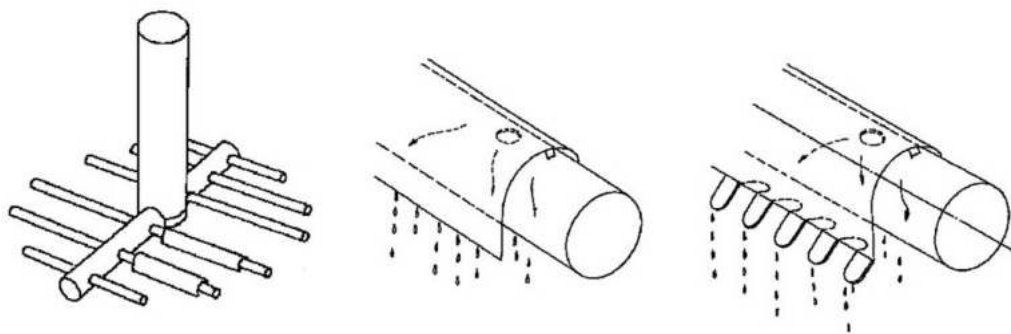


Рис. 3.3. Трубчастий розподільник згідно з пат. № JPH0747258A

У подібному розподільнику замість труб використано жолоби з перфорованими бічними стінками, перекритими дугоподібними або хвилястими відбійниками (пат. № CN204448026U).

Пристрої у вигляді сукупності з'єднаних між собою заглушених прямолінійних горизонтальних трубок з отворами в їхніх нижніх частинах для виходу рідини (а. с. № SU791401A1 і SU1632451A1, пат. № RU162246U1). Трубку з отворами при цьому може бути вигнуто у вигляді плоского спірального зміювика.

Розподільник містить перфоровану горизонтальну підвідну трубу, розміщену у верхній частині другої горизонтальної перфорованої труби (пат. № CN103801251A). Внутрішня труба відіграє роль стабілізатора потоку рідини.

Трубчастий розподільник у вигляді розташованої по осі колони підвідної труби з діаметрально розташованим колектором прямокутного поперечного перерізу з подовжньою заспокійливою пластиною з отворами або вирізами для переходу рідини в нижню частину колектора, що сполучається з розподільними трубами (пат. № JPH0824620A). Завдяки заспокійливій пластині рідина надходить у розподільні труби рівномірно й без збурень потоку.

Трубчастий розподільник містить сукупність радіальних труб, з'єднаних між собою додатковими трубами. Усі зазначені труби мають отвори для розбризкування рідини, що подається в центр розподільника (пат. № CN204522983U; рис. 3.4). Завдяки запропонованій «скелетній» структурі трубчастий розподільник забезпечує рівномірне зрошення насадки.

Трубчастий розподільник містить горизонтальну оболонку у вигляді тора з отворами для виходу рідини, при цьому оболонку за допомогою радіальних труб сполучено з вертикальною живильною трубою (пат. № CN204602145U). Перевага розподільника – простота та ефективність конструкції.

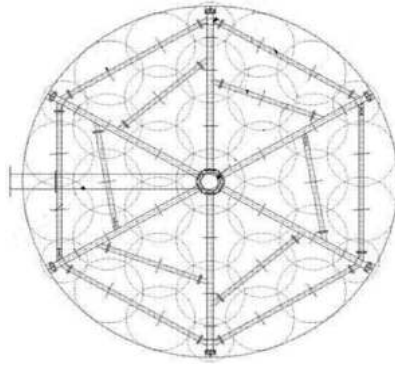


Рис. 3.4. Трубчастий розподільник згідно з пат. № JPH0747258A

Ефективний розподільник «скелетної» структури містить підвідну трубу з чотирма розподільними патрубками, сполученими з розташованими в горизонтальній площині перфорованими концентричними й радіальними трубками, які утворюють розпилювач рідини (пат. № CN212576307U; рис. 3.5).

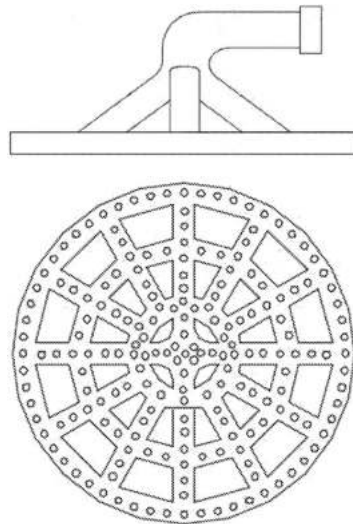


Рис. 3.5. Трубчастий розподільник згідно з пат. № CN212576307U

Трубчастий розподільник містить центральну трубу з трубками, які радіально відходять від неї та сполучаються з кільцевими перфорованими розподільними трубами, при цьому сукупність зазначених труб у плані утворює коло (пат. № CN206168436U). Радіальні труби розташовані під кутом 5–15° до горизонту й разом з кільцевими розподільними трубами утворюють конічну скелетну структуру.

Трубчастий розподільник містить вертикальну підвідну трубу з відхідними від неї взаємно перпендикулярними горизонтальними колекторами. Від кожного колектора в один бік відходять горизонтальні розподільні перфоровані труби, закриті з вільних торців заглушками, при цьому розподільні труби в плані утворюють коло (пат. № CN204973929U; рис. 3.6). Перевага розподільника – рівномірне зрошення насадки.

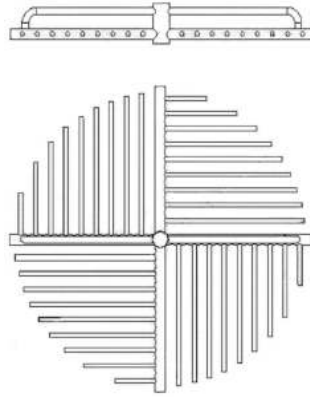


Рис. 3.6. Трубчастий розподільник згідно з пат. № CN204973929U

Розподільник містить горизонтальну трубу з відхідними від неї в обидва боки заглушеними з торців горизонтальними розподільними перфорованими трубами, що утворюють у плані коло (пат. № CN205627971U).

Трубчастий розподільник містить розташовану вздовж діаметра верхньої частини колони трубу з розподільвальними перфорованими трубами, що відходять від неї під прямим кутом, перекриваючи при цьому весь поперечний переріз корпуса колони (пат. № CN214261909U; рис. 3.7).

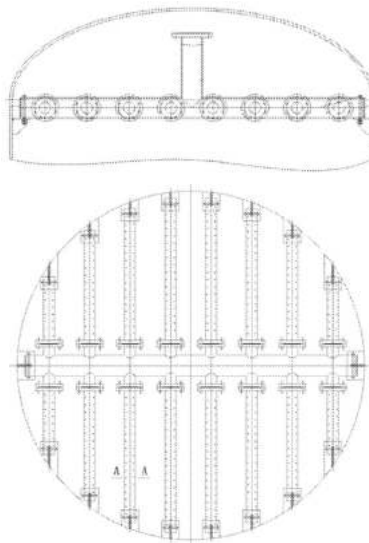


Рис. 3.7. Трубчастий розподільник згідно з пат. № CN214261909U

Лотковий розподільник має аналогічну конструкцію, в якому замість розподільних перфорованих труб для більш тонкого розподілу рідини використано перфоровані або сіткові лотки (пат. № CN107175049A і CN206793607U).

Лотковий розподільник містить діаметрально розташований колектор прямокутного поперечного перерізу з подовжньою заспокійливою пластиною та прямокутними лотками, що відходять від нього (пат. № CN203244978U).

В аналогічному розподільнику лотки мають зубчасті країки для рівномірного розподілу рідини (пат. № CN203494524U).

Закриті з торців V-подібні лотки також мають зубчасті крайки, що формують численні струминки рідини (пат. № CN207533245U).

В аналогічному лотковому розподільнику численні струминки рідини формуються отворами, виконаними в бічних стінках U-подібних лотків (заявка № DE3902275A1).

У розподільнику подавальний колектор виконано у вигляді горизонтальної труби збільшеного поперечного перерізу з подовжньою хвилястою перегородкою для стабілізації потоку рідини перед входом у розподільні лотки (пат. № JP2003210904A, заявка № US2003/094709A1).

Розподільник містить горизонтальні паралельно розташовані лотки з переливними крайками у вигляді увігнутої параболи, що забезпечують максимальну витрату розподілюваної рідини по центру колони й мінімальний – по її периферії (а. с. № SU1064994A1; рис. 3.8). Недолік пристрою – нерівномірність розподілу рідини в коловому напрямку контактної частини колони.

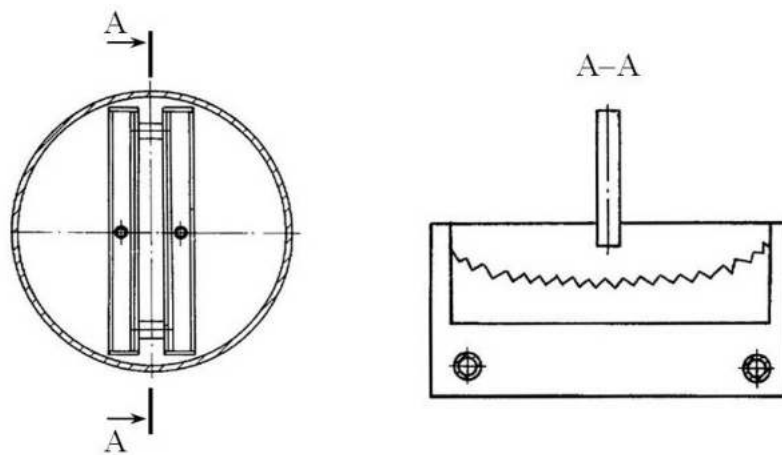


Рис. 3.8. Трубчастий розподільник згідно з пат. № CN204973929U

Розподільник містить діаметрально розташований колектор прямокутного поперечного перерізу з прямокутними лотками, що відходять від нього, в кожному з яких встановлено подовжню заспокійливу пластину для рівномірної подачі рідини у випускні елементи (пат. № TW344667B).

Лотковий розподільник містить два паралельні колектори, а також сукупність перпендикулярних йому лотків (пат. № CN104624148A). Два колектори забезпечують більш рівномірне розподілення рідини по лотках.

Лотковий розподільник встановлюється безпосередньо на шарі насадки з можливістю зміни його положення по висоті за допомогою рухомих у вертикальному напрямку опорних пластин (пат. № CN203565084U).

Пристрій лоткового типу для розділення суміші двох взаємно нерозчинних одна в одній рідин та їх наступного рівномірного розподілу в колоні за допомогою лоткового розподільника з декількома парами паралельних лотків для обох рідин (пат. № CN203648546U).

Розподільник містить паралельні лотки та розташовані над ними на трьох рівнях стабілізатори потоку рідини (пат. № CN204638210U). Перевага конструкції – висока рівномірність розподілу рідини по поперечному перерізу колони, а недолік – висока матеріалоемність.

Також розподільники лоткового типу, що принципово не відрізняються від вже розглянутих, описано в пат. № CN205700583U, CN207012977U, CN207025347U та CN207025348U.

Розподільник у вигляді горизонтального полотна із сукупністю паралельних тунельних ковпачків (пат. № CN204656550U). З боку внутрішньої поверхні бортів кожного ковпачка закріплено стрічку з вертикальними хвилеподібними гофрами, що забезпечує формування з рідини, що переливається через борти, численних струменів. Легка фаза вільно проходить крізь патрубки ковпачків (між їхніми бортами), на виході з яких над рівнем рідини встановлено хвилясті відбійники для відокремлення крапель рідини.

В аналогічному розподільнику знизу ковпачків у шаховому порядку змонтовано багатопотокові головки, що забезпечують рівномірне зрошення насадки по всьому поперечному перерізу колони (пат. № CN204933481U). Легка фаза вільно проходить крізь патрубки ковпачків з V-подібними відбійниками.

Ковпачкові розподільники з V-подібними відбійниками над тунельними ковпачками запропоновано також у пат. № CN206199299U та CN206731137U.

Розподільник у вигляді сукупності паралельних вертикальних листів, що формують гравітаційну плівку рідини для зрошення нерегулярної або регулярної насадки (заявки № PL2173464T3 і TN2009000535A1).

На виході кожного лотка розподільника також змонтовано вертикальні смуги, що формують гравітаційну плівку рідини для зрошення насадки (пат. № CN208407009U).

В аналогічному розподільнику смуги виконано з горизонтальними гофрами, що розбивають плівку рідини на окремі краплі (пат. № EP1464370A1).

Розподільники у вигляді багатоструминних головок (дощових або душових насадок; а. с. № SU682255A1, пат. № RU113170U1 і RU125877U1). Недолік конструкцій – винесення крапель рідини потоком легкої фази в разі дроблення тонких струменів рідини, а також необхідність наявності великого простору під головкою для рівномірного розподілу факела рідини по всьому поперечному перерізу колони.

Розподільник у вигляді багатоструминної головки містить дві робочі зони: перфоровану центральну й кільцеву зовнішню у вигляді решітки, що забезпечують рівномірний факел рідини (пат. № CN103949080A; рис. 3.9).

Розподільники у вигляді багатоструминних головок, що розподіляють рідину по всьому поперечному перерізу колони у вигляді сукупності вертикальних струменів, а не факела (пат. № CN207593640U, CN207856935U та RU2465957C1).

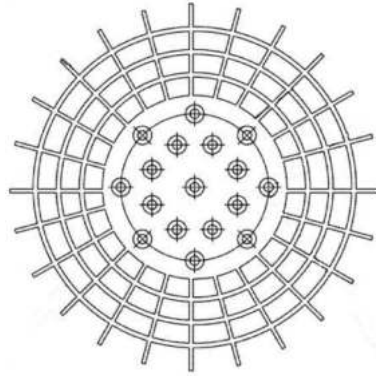


Рис. 3.9. Багатоструминна головки розподільника згідно з пат. № CN103949080А

За типом факела рідини, що формується, – пристрої з плоским факелом, а також об’ємним порожнистим і об’ємним суцільним (заповненим) факелом.

Пристрій з формуванням плоского факела виконано у вигляді заглушеної з боку вільного кінця горизонтальної труби, що має ряд спрямованих вертикально вниз радіальних отворів і зовнішній подовжній паз, що проходить через них (а. с. № SU835501A1). Струмені рідини на виході з отворів, стикаючись зі стінками паза, дробляться на краплі з утворенням вузького вертикального факела. Недолік пристрою – необхідність великої кількості аналогічних труб для рівномірного розподілу рідини по насадці.

Також розроблено пристрої з формуванням об’ємного порожнистого та об’ємного суцільного (заповненого) факела у формі кругового циліндра, конуса та параболоїда обертання (а. с. № SU1209305A1 і SU1214225A1).

Тепер проаналізуємо конструкції пристроїв для перерозподілення рідини контактної частини тепломасообмінних колон.

Найбільшого поширення в колонах різного діаметра набули перерозподільники у вигляді спрямованого меншою основою вниз зрізаного конуса, більша основа якого відповідає діаметру колони [20]. Під час роботи колони рідина від її стінок перерозподіляється до її центральної частини.

Для більш рівномірного зрошення нижнього шару насадки до нижньої основи пере розподільника, що розглянуто, на вертикальних підвісках закріплюють круглу відбортовану вгору тарілку з патрубками для проходу рідини (за аналогією з тарілчастим розподільником). При цьому легка фаза проходить знизу вгору між вертикальними підвісками [20, 50].

Конічний перерозподільник виконано за одне ціле з опорною решіткою та встановлено між фланцями сусідніх царів корпуса колони (пат. № CN206103902U).

Конічний перерозподільник з надрізаними й відігнутими всередину його порожнини лусочками, що забезпечують взаємодію фаз на внутрішній поверхні перерозподільника (пат. № UA50588U).

Конічний перерозподільник заповнено елементами нерегулярної насадки, при цьому його нижня частина контактує з опорною решіткою шару насадки (пат. № UA1685U). Перевага конструкції – ефективне використання вільного простору перерозподільника для взаємодії фаз.

Конічний перерозподільник у вигляді численних подовжених пелюсток, спрямованих до вершини конуса (пат. № US2639130A). Така конструкція забезпечує не тільки частковий перерозподіл рідини від периферії колони до її подовжньої осі, але й вільне проходження легкої фази між пелюстками, а отже й відсутність застійних зон між перерозподільником і корпусом колони.

Перерозподільник містить конічний збірник з розташованою в його нижній частині перфорованою тарілкою з патрубками, на виході кожного з яких змонтовано гвинтові лопаті для розбризкування рідини (пат. № CN206823805U).

Перерозподільник у вигляді сукупності конічних шарів, діаметр яких зменшується в напрямку руху важкої фази (зверху донизу), при цьому сусідні шари розташовано з проміжком один відносно одного для проходження легкої фази, що рухається догори (пат. № DE2901935A1; рис. 3.10). Перерозподілювана від периферії колони до її подовжньої осі рідина в решті-решт надходить у розподілювальну тарілку. Недолік конструкції – значна висота.

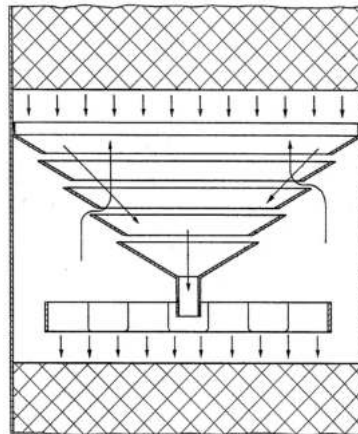


Рис. 3.10. Перерозподільник згідно з пат. № DE2901935A1

Перерозподільник у вигляді перфорованої плоскої відбортованої вгору тарілки із встановленими по всій її площі патрубками, верхній крайки яких розташовано нижче від крайки відбортовки, а їхні нижні кінці виконано скошеними до центру тарілки, що сприяє частковому перерозподілу рідини від периферії колони до її центру (пат. № CN104826573A та CN204638209U).

Перерозподільник абсорбера містить дві встановлені з проміжком одна відносно одної паралельні тарілки з патрубками для проходу рідини й легкої фази. Нижні кінці рідинних патрубків виходять за межі нижньої тарілки, а верхні кінці газових патрубків – за межі верхньої тарілки, при цьому у просторі між тарілками рухається холодоагент для охолодження рідини, що нагрівається в процесі абсорбції (пат. № UA1686U).

Опорна решітка колони містить горизонтальне полотно з отворами для проходу оброблюваних фаз, а також сукупність розташованих над ним на одному рівні пластин для підтримки елементів насадки (пат. № UA136148U; рис. 3.11). Зазначені пластини виконано перфорованими, а простір між ними заповнено додатковими елементами насадки меншого розміру, при цьому висота шару додаткових елементів насадки (а отже й гідравлічний опір) збільшується від центру полотна до його периферії. Збільшення опору шару додаткових елементів насадки від центру полотна до його периферії забезпечує перерозподіл потоку рідини від периферії до центру колони, завдяки чому відпадає потреба в монтажі окремого перерозподільного пристрою під опорною решіткою.

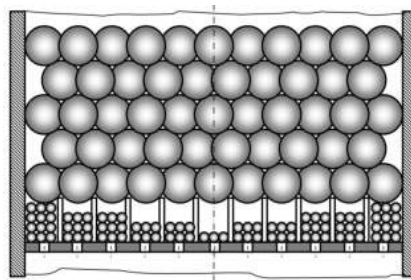


Рис. 3.11. Опорно-перерозподільна решітка згідно з пат. № UA136148U

Насадковий тепломасообмінний апарат містить вертикальний циліндричний корпус з контактною частиною, утвореною щонайменше двома ярусами неупорядкованих насадкових елементів, розташований між зазначеними ярусами перерозподільний пристрій, а також пристрої для підведення легкої й важкої фаз у вертикальний циліндричний корпус і відведення їх з нього (пат. № UA140147U; рис. 3.12). Перерозподільний пристрій містить плоский опорний елемент з отворами для проходу легкої й важкої фаз, а також встановлену на плоскому опорному елементі співвісну з вертикальним циліндричним корпусом кільцеву перфоровану обичайку, порожнину якої, а також кільцевий простір між нею й вертикальним циліндричним корпусом заповнено неупорядкованими насадковими елементами, при цьому еквівалентний діаметр неупорядкованих насадкових елементів у зазначеному кільцевому просторі менше за еквівалентний діаметр неупорядкованих насадкових елементів у порожнині кільцевої перфорованої обичайки. Забезпечується безпосередня участь перерозподільного пристрою у тепломасообмінному процесі, що дає змогу зменшити висоту контактної частини апарата, що знижує матеріаломісткість апарата в цілому.

Перерозподільний пристрій насадкової тепломасообмінної колони виконано у вигляді сукупності кільцевих секторів, встановлюваних у шарі насадки з контактом їхньої зовнішньої поверхні з внутрішньою поверхнею контактної частини корпуса колони та їхніх торців з торцями сусідніх кільцевих секторів, а також з утворенням отвору для проходу оброблюваних

середовищ, при цьому кожний з кільцевих секторів виконано у вигляді гнучкого трубчастого елемента з гладкою зовнішньою поверхнею з боку внутрішньої поверхні контактної частини корпуса колони та з гофрованою в поперечному напрямку стінкою з протилежного боку (пат. № UA150777U; рис. 3.13). Пристрій може бути оснащено поперечними розпірними стрижнями для притискання протилежно розташованих кільцевих секторів до внутрішньої поверхні контактної частини корпуса колони, при цьому кожний з кільцевих секторів у поперечному перерізі може бути виконано у вигляді трикутника з основою з боку внутрішньої поверхні контактної частини корпуса колони.

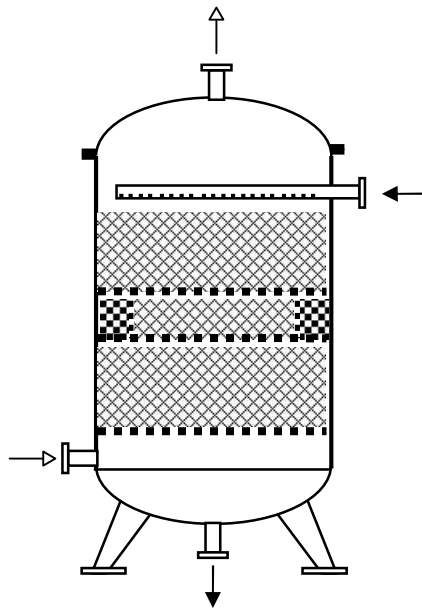


Рис. 3.12. Насадкова колона та її перерозподільний пристрій згідно з пат. № UA140147U

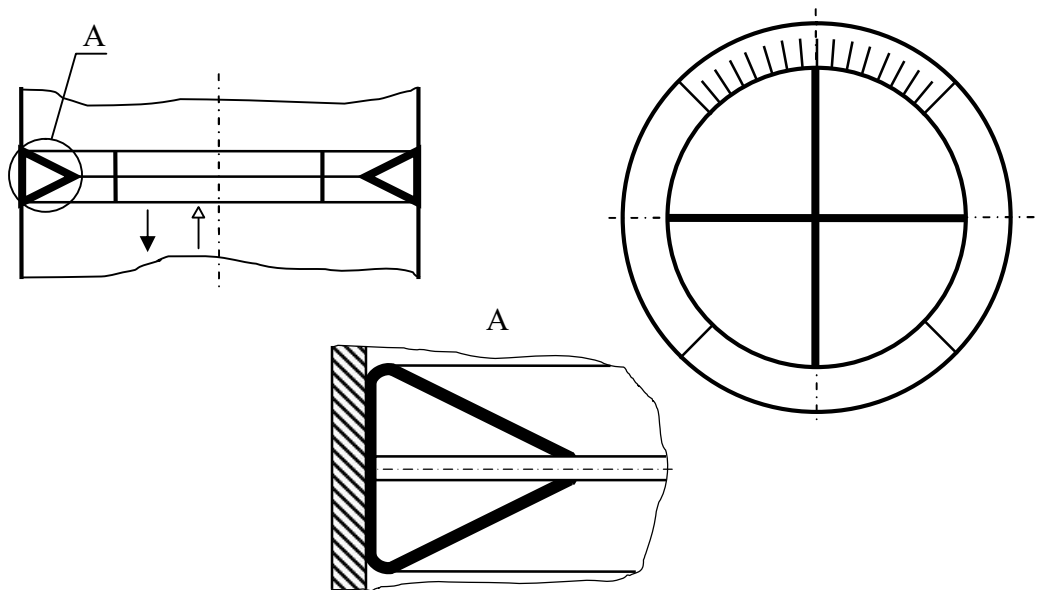


Рис. 3.13. Перерозподільний пристрій згідно з пат. № UA150777U

Переважна більшість пристроїв для розподілу й перерозподілу рідини в насадкових колонах виготовляють з металу. Однак найширші можливості розробникам хімічного обладнання надають композиційні матеріали, у тому числі полімерні [25]. Підбором якісного та кількісного складу таких матеріалів можна забезпечити необхідні технологічні та експлуатаційні властивості зазначених пристроїв.

Як бачимо, кількість конструкцій пристроїв для розподілу та перерозподілу рідини в насадкових тепломасообмінних колонах набагато менше кількості конструкцій насадкових контактних елементів [2, 3, 16, 17, 25]. Однак, враховуючи роль зазначених пристроїв у забезпеченні ефективності тепломасообмінного обладнання, можна припустити, що дослідники та винахідники продовжать їх вдосконалювати.

3.3. Пристрої для розподілу й перерозподілу легкої фази

Для проведення тепломасообмінних процесів абсорбції, десорбції, ректифікації та рідинної екстракції найбільшого поширення набули тарілчасті та насадкові колони, які характеризуються універсальністю, високою продуктивністю, а також відносною простотою конструкції та експлуатації [2].

Ефективність роботи тепломасообмінних колон залежить не тільки від типорозміру контактних елементів (насамперед тарілок і насадки), але й від допоміжних пристроїв: сепараторів [51], розподільників та перерозподільників важкої фази (рідини) [52], а також розподільників легкої фази (газу, пари, їх суміші, рідини; далі – газової фази, газу) [53] у контактній частині колон.

Аналіз конструктивного виконання пристроїв для розподілу газової фази в колонах дає змогу запропонувати їх класифікацію (рис. 3.14).

Штуцерні пристрої – у вигляді зовнішніх штуцерів (штуцерів, що не входять у порожнину колони) та утоплених штуцерів (штуцерів, що входять у порожнину колони).

Пристрої для введення газової фази виконано у вигляді радіально привареного до корпусу колони вхідного штуцера (пат. № CN204684940U, RU113170U1, RU125877U1 і RU162246U1, а. с. № SU399245A1). Перевага пристроїв – простота конструкції, недолік – необхідність наявності досить високої стабілізуючої частини корпусу для забезпечення рівномірного розподілу газової фази по перерізу колони.

Пристрій для введення газової фази виконано у вигляді тангенціально привареного до корпусу колони вхідного штуцера та вищерозтішованої газорозподільювальної тарілки ковпачкового типу, що замінює рух у нижній частині колони з радіального на спіральний, що знижує газоерозійне зношування внутрішньої поверхні корпусу (пат. № EP3389809A1, заявки № WO2017/103194A1 та US2017/173492A1).

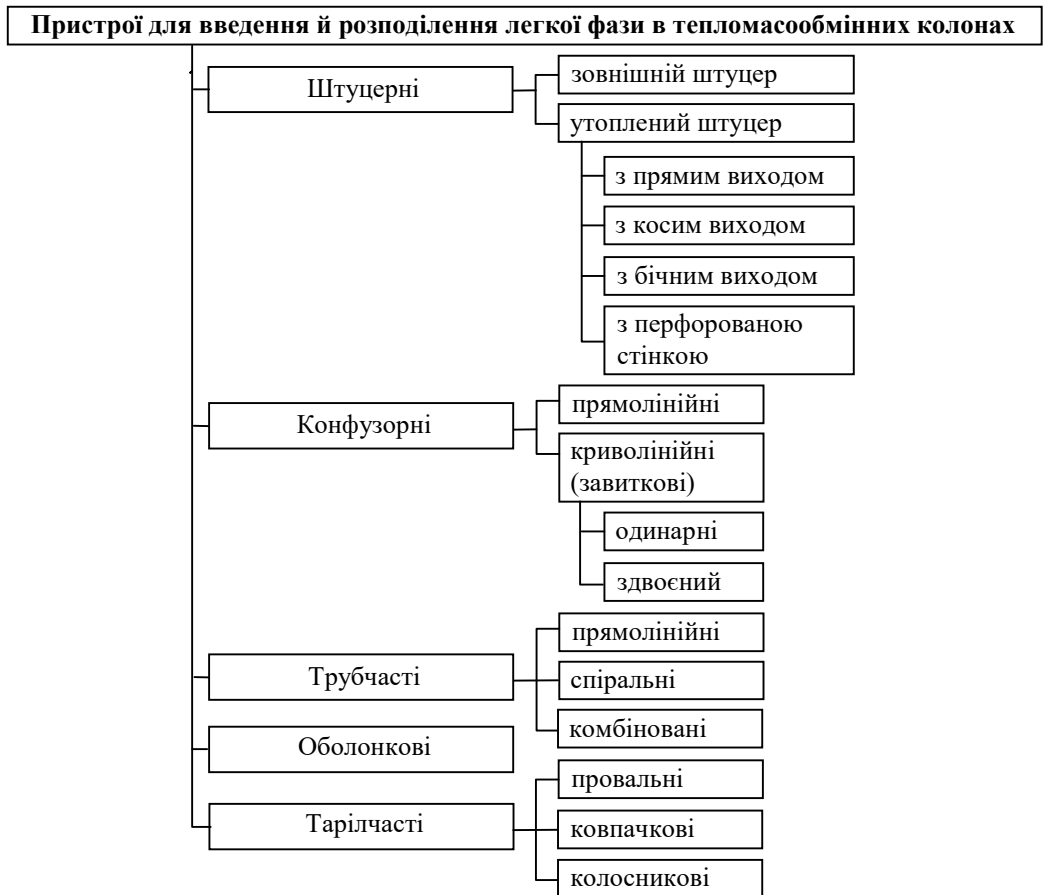


Рис. 3.14. Класифікація пристроїв для введення й розподілення легкої фази в тепломасообмінних колонах

Пристрій для введення газової фази виконано у вигляді радіально встановленого входного штуцера та розміщеної над ним газорозподільної провальної тарілки, також призначеної для підтримання шару насадки [21]. Недолік конструкції – нерівномірний розподіл газу по поперечному перерізу колони, а також інтенсивне зношування внутрішньої поверхні стінки корпусу колони, розташованої навпроти вихідного отвору штуцера для введення газової фази.

Для зниження зношування внутрішньої поверхні стінки корпусу колони вихід штуцера для введення газової фази виконано скошеним у бік днища колони (пат. № CN201101943Y та RU173764U1; [20]). Недолік конструкції – нерівномірний розподіл газу по поперечному перерізу колони, а також інтенсивне зношування внутрішньої поверхні стінки корпусу колони, розташованої навпроти вихідного отвору входного штуцера.

Також для зниження зношування внутрішньої поверхні стінки корпусу колони вона має два зустрічно розташовані штуцери для введення газової фази, вихід яких скошено в бік днища колони (пат. № CN211069579U). У процесі роботи колони обидва газові потоки стикаються один з одним і прямують у бік днища колони, після чого загальний газовий потік повертається на 180° і рівномірно по перерізу колони піднімається агору.

Пристрій введення газу в колонний апарат містить крутовигнутий відвід з кутом вигину 90° [40], приєднаний до виходу втопленого в порожнину колони штуцера та спрямований у бік кінцевого днища колони (пат. № CN201216921Y). Розвертаючись на 180° після виходу з відводу та контакту з кінчним днищем газовий потік рівномірно розподіляється по поперечному перерізу колони та прямує вгору.

В аналогічних пристроях відвід спрямовано в бік кришки колони (пат. № CN210813991U та RU2288020C1).

Конфузорні пристрої – прямолінійні та криволінійні (завиткові, равликові) пристрої.

Для підвищення рівномірності розподілу газу по поперечному перерізу колони до виходу штуцера для введення газової фази також приєднують коробчастий конфузор з відкритими бічними стінками та вертикальними криволінійними лопатками, що відхиляють потік газу в сторони (пат. № EP1588749A1; рис. 3.15) або вниз (пат. № DE1519711A1; рис. 3.16) з подальшим його поворотом вгору.

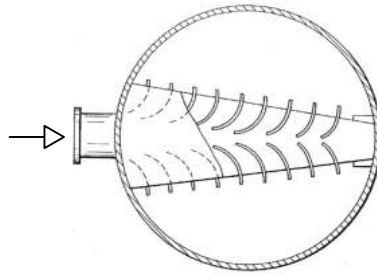


Рис. 3.15. Схема розподільного конфузора з горизонтально відхильними лопатками (пат. № EP1588749A1)

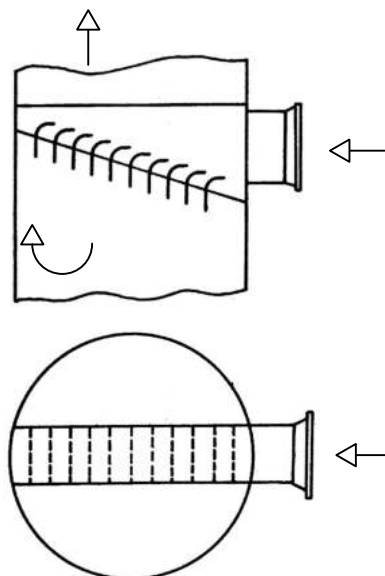


Рис. 3.16. Схема розподільного конфузора з вертикально відхильними лопатками (пат. № DE1519711A1)

Також для зниження ерозійного зношування корпусу колони до виходу штуцера для введення газової фази приєднують так званий завиток – криволінійний канал, що розширюється, у вигляді равлика [54]. За умови високого навантаження по газовій фазі використовують здвоєне введення газової фази в подвійний завиток [54] (рис. 3.17).

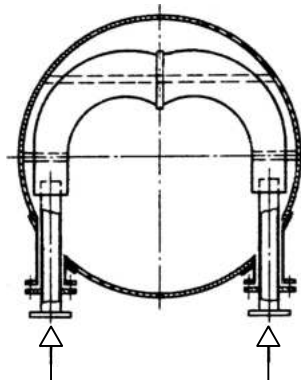


Рис. 3.17. Схема введення газового потоку за допомогою подвійного завитка [54]

Для підвищення рівномірності розподілу газового потоку по перерізу колони завиток оснащують вертикальними відхильними лопатками (пат. № EP1588749A1), а для спрямування потоку вгору – виконаним на внутрішній грані нижньої криволінійної пластини завитка й відігнутих вгору козирком (пат. № UA25626U).

Трубчасті пристрої – у вигляді перфорованих прямолінійних труб, спіральних труб та комбіновані трубчасті пристрої.

Пристрій у вигляді сукупності перфорованих прямолінійних труб з колектором, винесеним за межі колони (пат. № CN208493678U; рис. 3.18). Недолік конструкції – значне ослаблення корпусу колони в місцях проходження крізь його стінку трубок.

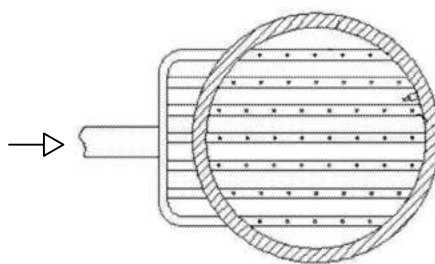


Рис. 3.18. Схема трубчастого пристрою (пат. № CN208493678U)

Пристрої введення газу в колонний апарат містять приєднану до виходу штуцера перфоровану прямолінійну трубу або перфоровану спіральну трубу (змійовик), при цьому перфорацію труби виконано в її верхній частині (пат. № CN204522356U та CN205109074U).

В аналогічному пристрої перфорацію труби виконано в її нижній частині (пат. № CN206996264U). Таке технічне рішення забезпечує більш рівномір-

ний розподіл газової фази по перерізу колони, однак призводить до підвищення гідравлічного опору газової магістралі колони.

Перфорацію спіральної труби газу виконано в її нижній частині, при цьому підведення газу до труби здійснюється крізь осьову трубу, вхід якої розташовано у верхній частині колони, а газ розподіляється безпосередньо в рідку фазу (пат. № CN207452044U).

Комбінований трубчастий пристрій виконано у вигляді співвісної з корпусом колони підвідної труби та перфорованих трубок, які радіально відходять від неї та сполучаються з кільцевими перфорованими трубками, розташованими співвісно з підвідною трубою (пат. № CN103464057A, CN105268396A та CN207628136U)). Газ, що надходить у трубу, крізь перфорацію радіальних і кільцевих трубок виходить у порожнину колони, рівномірно розподіляючись по її перерізу.

До трубчастих пристроїв також можна віднести конструкцію, в якій введення газового потоку в колону відбувається крізь отвори в стінці корпусу, сполучені з порожниною кільцевого колектора, що охоплює корпус (пат. № CN110075664A та CN210114954U).

Тарілчасті пристрої – у вигляді провальних перфорованих тарілок, ковпачкових тарілок і колосникових (щілинних) тарілок.

Над підвідною трубою поперек колони розташовано плоску похилу перфоровану тарілку, що гальмує газовий потік, який виходить з підвідної труби та спрямовує одержану сукупність газових струменів вгору по колоні (пат. № CN201101938Y). Недоліки пристрою – інтенсивне газозерозійне зношування решітки, а також газозабразивне зношування решітки та забивання її отворів у разі оброблення газового потоку з дисперсними частинками.

Тарілчастий пристрій виконано у вигляді криволінійної провальної тарілки – перфорованого сегмента сферичної оболонки, спрямованого своєю вершиною в бік днища колони та виготовленого зі склопластика (пат. № CN110152474A). Кожен отвір перфорації виконано ступінчастим, при цьому його діаметр зменшується за ходом руху газу крізь решітку.

Для підвищення рівномірності розподіл газу по поперечному перерізу колони між штуцером для введення газової фази та провальною тарілкою встановлено ковпачкову тарілку [20, 21].

Колосниковий пристрій (щілинну тарілку) виконано у вигляді набору встановлених з проміжком одна відносно одної двотаврових балок, виготовлених із склопластику (пат. № CN201216919Y). Переваги конструкції – висока технологічність, міцність і жорсткість, а недолік – низька ремонтпридатність, оскільки балки в колоні круглого поперечного перерізу мають різну довжину.

Оболонкові пристрої виконують у вигляді оболонок обертання для диспергування (дроблення потоку газу на мікропотоки) і зміни напрямку руху газу.

Пристрій у вигляді вертикальної циліндричної оболонки, встановленої всередині корпусу колони співвісно з ним і оснащеної верхнім кільцем, що перекриває проміжок між корпусом колони та оболонкою, при цьому в оболонці й кільці виконано отвори для проходу газу (пат. № RU2674424C1; рис. 3.19). У процесі роботи потік газу, що виходить з вхідного штуцера, частково проходить крізь кільце, а частково всередину оболонки, після чого прямує вгору в контактну частину колони. Недолік конструкції – інтенсивне газозерозійне зношування оболонки з боку вхідного штуцера.

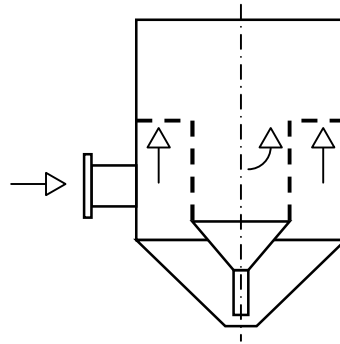


Рис. 3.19. Схема пристрою у вигляді оболонки (пат. № RU2674424C1)

На відміну від пристроїв для розподілу та перерозподілу рідини в тепломасообмінних колонах [52] кількість типорозмірів пристроїв для розподілу легкої фази набагато менше. Це пояснюється насамперед набагато нижчими значеннями в'язкості й густини газу й пари (порівняно з рідиною). Тим не менш, враховуючи велике значення цих пристроїв для ефективної роботи тепломасообмінних апаратів, їх вдосконалення триває. При цьому розробники можуть скористатися ефективними технічними рішеннями, призначеними для розподілу газової фази в апаратах псевдозрідженого шару [55, 56].

3.4. Переливні пристрої тарілок

Одними з найпоширеніших апаратів у процесах поділу рідких і газових однорідних систем є тарілчасті колони, секціоновані по висоті контактної частини поперечними тарілками [2, 21, 24].

За механізмом переходу важкої фази (рідини) з однієї тарілки на іншу (зазвичай нижчерозташовану) розрізняють прості за конструкцією колони з провальними тарілками та більш складні, але й більш ефективні колони з переливними (перетоковими) пристроями. До колон з переливними пристроями належать насамперед перехрестнопотокові колони з ситчастими, ковпачковими, клапанними та струминними тарілками. При цьому якщо конструкції контактних тарілок розглянуто досить повно [5, 6, 34], то переливним пристроям у науково-технічній літературі уваги майже не приділяється.

Аналіз конструктивного виконання переливних пристроїв тарілок тепломасообмінних колон дає змогу запропонувати їхню класифікацію (рис. 3.20).



Рис. 3.20. Класифікація переливних пристроїв тарілок тепломасообмінних колон

За характером процесу переливання рідини в часі – пристрої безперервної та періодичної (циклічної) дії.

Більшість переливних пристроїв належить до пристроїв безперервної дії, набагато рідше використовуються пристрої періодичної дії, що забезпечують циклічний перелив рідини після певного часу її затримки на полотні тарілки.

Періодичний переливний пристрій автоматичної дії містить вигнутий карман із впускним і випускним патрубками, при цьому випускний патрубок оснащено поплавковим клапаном, що спрацьовує після заповнення кармана певною кількістю рідини (пат. № RU2158624C1).

Пристрій періодичної дії з відкидним днищем, що перекриває вихідний отвір зливного каналу та автоматично відкривається під дією рідини, що накопичується в зливному каналі (пат. № US3797811A та FR2102927A5; рис. 3.21). Закриття днища забезпечується противагою чи пружиною.

У колоні з переливним пристроєм періодичної дії рідина з парних тарілок синхронно переливається на нижчерозташовані непарні тарілки в два ета-

пи: на першому етапі переливається 30–70 % (об.) наявної на тарілках рідини, а на другому (після закінчення заданого часу затримки рідини на тарілках) – переливається частина рідини, що залишилася (пат. № RU2372965C2, UA141245U та 124988C2). Недолік пристрою – одночасна робота тільки половини тарілок колони, а також наявність складних механізмів, що забезпечують циклічний перелив рідини в колоні.

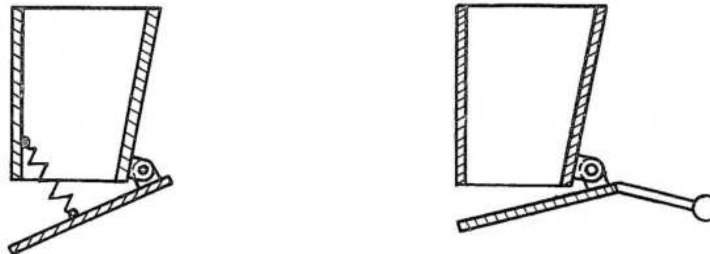


Рис. 3.21. Переливний пристрій згідно з пат. № US3797811A та FR2102927A5

За призначенням – робочі й запобіжні (аварійні).

Запобіжні (аварійні) переливні пристрої призначено для аварійного скидання рідини та попередження неприпустимого переповнення рідиною контактної частини колони.

Запобіжний переливний пристрій у вигляді зливних труб, розташованих на вході в барботажную зону тарілки (пат. № CN204891271U). За неприпустимого підвищення рівня рідини на тарілці й переповненні робочого переливного каналу у формі кругового сегмента надлишок рідини з тарілки зливається через запобіжний переливний пристрій.

За кількістю зливів рідини – одно-, дво- та багатозливні пристрої.

За низьких навантажень по рідині використовують однозливні пристрої, що забезпечують її односпрямований рух з перехресною течією по полотну тарілки, а за підвищених навантажень – дво- і багатозливні пристрої, що забезпечують здебільшого двонаправлений (розгалужений) і радіальний рух рідини з перехресною течією. Гідравлічний опір тарілок з багатозливними пристроями нижче, ніж тарілок з однозливним пристроєм, проте ефективність перших зазвичай нижче внаслідок більшої нерівномірності потоків оброблюваних фаз [2].

Переливну перегородку однозливного пристрою колони з великим навантаженням по рідині (пат. № CN2441535Y) виконано опуклою та/або змінної висоти (зменшується від центру до периферії), що збільшує її периметр і поліпшує розподіл рідини по барботажній частині тарілки. Також у перегородці можуть бути виконано перфорації, що знижують вихороутворення на вході в барботажную зону тарілки.

Однозливний пристрій колони з великим навантаженням по рідині також призначений для її рівномірного розподілу по полотну тарілки, для чого в зливному каналі тарілки вищерозташованої тарілки встановлено дві похилі пластини (пат. № CN101306257A; рис. 3.22).

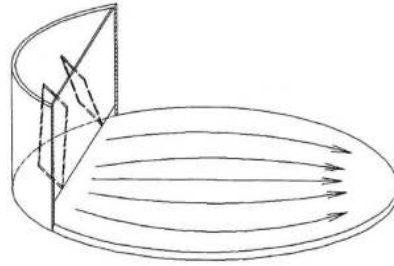


Рис. 3.22. Переливний пристрій згідно з пат. № CN101306257A

У зливному каналі однозливного пристрою розміщено пакет відбійних листів, розташованих з проміжком і зі зміщенням по висоті один відносно одного, при цьому у відбійних листах можуть бути виконано перфорації для підвищення дегазації рідини (пат. № CN101874933A; рис. 3.23). Конструкція поліпшує дегазацію рідини, а також рівномірність її розподілу на вході в барботажну зону нижчерозташованої тарілки.

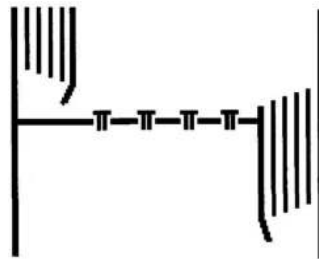


Рис. 3.23. Переливний пристрій згідно з пат. № CN101874933A

В аналогічному пристрої проміжок між сусідніми відбійними листами зростає від зливної перегородки корпусу колони (пат. № US2682395A).

Також з аналогічною метою в зливному каналі встановлено пакет не плоских, а опуклих відбійних листів у вигляді концентрично розташованих секторів циліндричних обичайок (а. с. № SU1274702A1).

Аналогічний пристрій у зливному каналі містить лише один відбійний лист, верхню крайку якого розташовано вище зливної перегородки, а нижній – нижче полотна тарілки (заявка № DE1801538A1). Рідина з тарілки зливається в проміжок між зливним і відбійним листами, а виділена з рідини легка фаза крізь проміжок між відбійним листом та корпусом колони повертається у простір над полотном тарілки.

У пристрої аналогічного призначення відбійний лист виконано перфорованим і вигнуто в бік корпусу колони (пат. № CN101721827A).

За зливною планкою розташовано решітку для попередньої дегазації рідини, остаточна дегазація якої відбувається в зливному каналі (пат. № RU2194560C1). Виділена з рідини в зливному каналі легка фаза за допомогою газовідвідних трубок відводиться під вищерозташовану тарілку.

Для поліпшення дегазації рідини в зливному каналі на вертикальному зливному листі та стінці корпусу колони по черзі закріплено лотки зі зливни-

ми крайками, що перекривають одна одну та забезпечують багаторазовий перелив рідини та її дегазацію (пат. № CN104722095A та CN204637628).

Для мінімізації потрапляння легкої фази в зливний патрубок і далі на нижчерозташовану тарілку його верхню частину розташовано над полотном даної тарілки у встановленій з проміжком відносно нього захисній трубі, закріпленій на вищерозташованій тарілці, при цьому нижню крайку захисної труби розташовано з проміжком відносно даної тарілки, а на її верхній ділянці виконано отвори (пат. № RU2233194C1). Рідина, що зливається, з боку нижньої крайки захисної труби потрапляє в кільцевий канал між нею й зливною трубою, піднімається в міжтрубному просторі, звільняючись при цьому від бульбашок легкої фази, і через верхній край зливної труби потрапляє в її порожнину. Виділена з рідини легка фаза крізь отвори у верхній частині захисної труби виводиться в простір під вищерозташованою тарілкою.

Зливну трубу пристрою аналогічного принципу дії розміщено всередині двох захисних коаксіальних труб (пат. № FR2040827A5).

Нижню крайку вертикального зливного листа однозливного пристрою виконано зубчастою, при цьому зубці відігнуто від площини зливного листа під різним кутом, що забезпечує рівномірний розподіл рідини на вході в барботажну зону нижчерозташованої тарілки (пат. № CN101970071A).

З аналогічною метою в зливному каналі змонтовано пакет гофрованих листів з гофрами, що розходяться зверху вниз від центру зливної перегородки (заявка № EP3260180A1).

Опуклий (у бік зливного каналу) зливний лист пристрою змінює свою форму від прямолінійної вгорі до ламаної лінії, симетричної відносно центру та опуклої в бік корпусу колони (пат. № CN102698456A). Поверхня зливного листа, утворена плоскими фігурами, покращує рівномірність розподілу рідини після її виходу з випускного отвору вході в барботажну зону нижчерозташованої тарілки.

Зливний лист переливного пристрою виконано у вигляді вертикального листа, що має три прямокутні ділянки, при цьому зливну перегородку центральної ділянки зливного листа розташовано нижче за зливні перегородки бічних ділянок (пат. № JPS5527045A). Така конструкція забезпечує рівномірний рух рідини барботажної частини тарілки.

Однозливний пристрій із зливною трубою регульованої висоти забезпечує зміну рівня рідини на тарілках (пат. № GB1508569A).

Пристрій зі зливною трубою, вхідну ділянку якої розташовано над полотном тарілки та плавно загнуто в її бік, що практично унеможлиблює потрапляння легкої фази в зливну трубу (пат. № CN1325752A).

Технологічний однозливний пристрій з криволінійним зливним листом і стінкою зливного каналу виконано з листової заготовки за одне ціле з барботажною частиною тарілки (пат. № GB817579A).

Прийомний круговий сегмент тарілки виконано з піднятим над її полотном вершиною й розбіжними від його осі симетрії отворами перфорації для спрямованого введення легкої фази в рідину, що виходить із зливного каналу (а. с. № SU1494912A1; рис. 3.24). Недоліки – небажане збурення потоку рідини на вході в барботажну зону полотна тарілки.

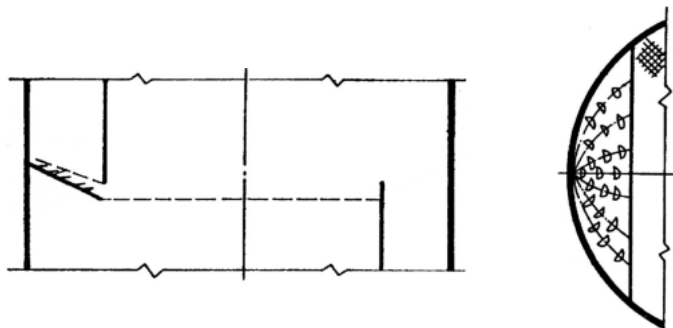


Рис. 3.24. Конструкція зливного каналу згідно з а. с. № SU1494912A1

Однозливний пристрій суттєво знижує ймовірність утворення на стінках переливного каналу різних відкладень (пат. № US6371455B1, заявка № WO02/053249A2; рис. 3.25). Похилий лист зливного пристрою виконано вигнутим по всій його висоті: від опуклого з боку зливної перегородки до увігнутого з боку випускного отвору.

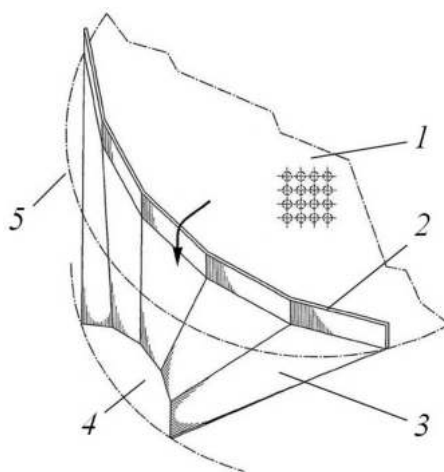


Рис. 3.25. Конструкція зливного каналу згідно з пат. № US6371455B1 і заявкою № WO02/053249A2: 1 – полотно тарілки; 2 – зливна перегородка; 3 – зливний лист; 4 – випускний отвір; 5 – корпус колони

Зливна перегородка, відігнута до корпусу колони й відповідно до зливного каналу, виключає утворення застійної зони поблизу неї, але знижує ефективність дегазації рідини, що потрапляє в зливний канал (пат. № CN105854331A та CN205019758U).

Зливна перегородка, відігнута в бік зони барботажу й відповідно від зливного каналу (або має спрямований у зазначеному напрямку козирок), забезпечує деяку затримку рідини на тарілці (заявка № US2001/030374A1).

Пристрій із зливним каналом у формі завитка, що утворює гідрозатвор з боку випускного отвору (пат. № GB447858A; рис. 3.26). Недолік – складність виготовлення, значні габарити та наявність застійної зони в нижній частині пристрою.

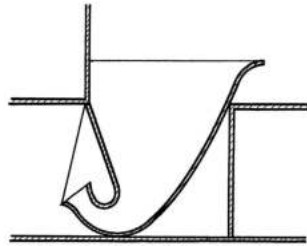


Рис. 3.26. Переливний пристрій згідно з пат. № GB447858A

Тарілка, що забезпечує радіальний рух рідини з перехресною течією, містить плоске (пат. № GB682721A, заявка № DE2620848A1) або перфороване опукле (пат. № CN204352582U, заявка № US2017/348609A1) кругле полотно з центральною суцільною ділянкою для прийому рідини з вищерозташованої тарілки. Рідина, що надходить на тарілку, рухається від її центру до периферії, збирається в кільцевий піддон біля стінки корпусу колони й по декількох похилих каналах надходить у центральний зливний патрубок для подачі на вищерозташовану тарілку.

Тарілка, що забезпечує радіальний рух рідини з перехресною течією, містить два типи тарілок: плоскі з центральним зливним патрубком і трохи опуклі меншого діаметра, що утворюють кільцевий зливний канал з корпусом колони (пат. № CN253469A). На плоских тарілках рідина рухається у радіальному напрямку від периферії до центру, а в опуклих – від центру до периферії. Недолік колони – наявність двох типів тарілок.

Колони аналогічного принципу дії, але з двома типами плоских тарілок (пат. № US3045989A, US4065528A, GB725268A, GB1014123A, CN376883A та CN2412634Y).

Пристрій аналогічного призначення містить встановлений над зливним каналом сепаратор, виконаний у вигляді плоскої або гофрованої сітки й розташований з нахилом відносно подовжньої осі колони, при цьому нижню крайку сепаратора закріплено на зливному листі нижче полотна тарілки, а верхня розташована вище полотна тарілки та має канали для виходу відокремленої від рідини легкої фази (пат. № RU2342181C1).

Колона з послідовно розташованими відцентровими та доцентровими лускатими тарілками, оснащеними однозливними пристроями у вигляді розташованої відповідно на периферії та в центрі зливної труби, при цьому на кожній з тарілок закріплено стрічку, вигнуту по спіралі Архімеда (пат. № RU2113266C1). У процесі роботи рідина рухається в радіально-коловому напрямку, а зливається – з відцентрової тарілки по периферійній зливній трубі та з доцентрової – по центральній зливній трубі.

Колона з аналогічними тарілками, круглу барботажну частину кожної з яких розташовано з ексцентриситетом відносно осі колони для полегшення потрапляння рідини до зливного каналу (заявки № DE2927840A1 та GB2053721A).

Барботажна тарілка з двома переливними пристроями у вигляді діаметрально розташованих кругових сегментів зі зливними перегородками різної висоти (заявка № EP3219371A1). Між переливними пристроями паралельно їх зливним перегородкам розміщено розділову пластину, нижню крайку якої розташовано на рівні верхньої крайки низької зливної перегородки, а верхню крайку – вище верхньої крайки високої зливної перегородки. У сусідніх тарілках один під одним розташовано переливні пристрої з різною висотою зливних перегородок. Таким чином, на кожній тарілці розділова пластина забезпечує дві зони барботажу з різною гідродинамікою фаз.

Ситчаста тарілка з двозливним пристроєм, утвореним паралельними зливними коробами у вигляді паралелепіпедів з перфорацією в центральній частині їхніх дниць і розташованим під зазначеною перфорацією поперечним перфорованим по всій довжині V-подібним жолобом для розподілу рідини на нижчерозташовану тарілку (пат. № US6568663B1).

Двозливний пристрій у вигляді циліндричних зливних труб, при цьому пристрої сусідніх тарілок зміщено до їх протилежних крайок (пат. № CN599802A5).

Барботажна колона з двома типами тарілок: з однозливним пристроєм у вигляді діаметрально розташованого короба у вигляді паралелепіпеда і з двозливним пристроєм з протилежно розташованими зливними каналами у вигляді кругових сегментів (пат. № RU2060766C1).

Кожну барботажну тарілку колони розділено розташованими вздовж радіусів вертикальними перегородками на три незалежні секції з індивідуальною зливною трубою, що перерозподіляє рідину в сусідню секцію нижчерозташованої тарілки, так що рідина по висоті колони рухається по спіралі (пат. № GB514135A).

Барботажні тарілки з односпрямованим рухом рідини й переливним пристроєм, що включають три зливні труби й бічні жолоби для підведення рідини на приймальний сегмент нижчерозташованої тарілки (а. с. № SU74541A1; рис. 3.27).

Луската тарілка з чотиризливним трубчастим пристроєм забезпечує круговий зустрічний рух двофазної суміші в чотирьох зонах (пат. № US4151232A). Зливні труби виконано вигнутими для того, щоб зони сусідніх тарілок було повернено одна відносно одної на 45°.

Ситчаста тарілка з багатозливним пристроєм у вигляді паралельних коробів, у нижній частині оснащених гідрозатворами, бічні стінки яких виконано з вирізами для струменевого розподілу рідини на тарілку (пат. № RU2599400C1).

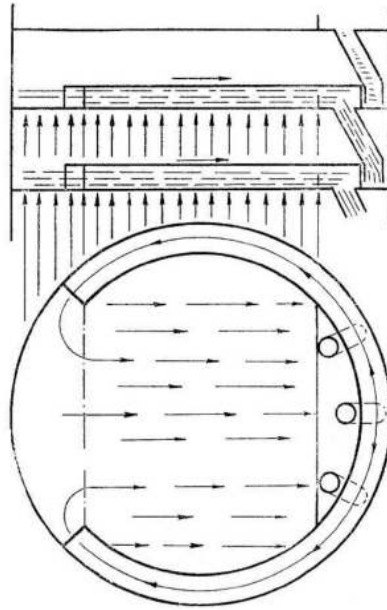


Рис. 3.27. Переливний пристрій згідно з а. с. № SU74541A1

Аналогічна сітчаста тарілка без гідрозатворів у коробах і меншою щільністю зрошення нижньої тарілки (а. с. № SU904725A1).

Багатозливний пристрій забезпечує надійну роботу тарілки та колони в цілому навіть за умови відхилення її осі від вертикалі (пат. № US4311564A).

Багатозливний пристрій у вигляді сукупності зливних трубок, що розміщено всередині парового патрубку кожного ковпачка ковпачкової тарілки, при цьому нижні кінці зливних трубок опущено в простір між ковпачками нижчерозташованої тарілки (пат. № US1744543A). Недолік конструкції – необхідність наявності двох конструкцій тарілок (з різним розташуванням ковпачків).

За розташуванням зливних патрубків – пристрої з переливними патрубками в межах тарілки, а також за її межами. При цьому пристрої зі зливними каналами в межах полотна тарілки можуть бути з центральним, периферійним та комбінованим зливом.

Пристрої з переливними патрубками, розташованими за межами тарілки (за межами корпуса колони), найбільш поширені в лабораторній техніці [57].

За формою поперечного перерізу зливного каналу – пристрої зі зливними каналами круглого суїльного, круглого кільцевого, овального, прямокутного поперечного перерізу, а також у вигляді кругового сегмента.

Барботажи колони діаметром до 800 мм комплектуються нерозбірними тарілками зі зливним патрубком овальної форми, а колони діаметром від 1000 мм – розбірними тарілками з переливним каналом, що мають форму кругового сегмента та обмеженим зливним листом і стінкою корпуса [2]. При цьому переливний канал у вигляді кругового сегмента може бути постійного (пат. № US2612360A, US4051206A, US5788894A, GB734218A, GB1206760A,

DE1032219B, FR1075427A, JPS5476485A, JPS57115623U, CN200984468Y, CN203183728U, KR20010049477A та RU125482U1, заявка № EP0059449A1), такого, що зменшується (пат. № US4207276A, US4275021A, GB606318A, RU126265U1), а також змінного – спочатку постійного, а потім такого, що зменшується (заявка № EP1317948A1), а також спочатку такого, що зменшується, а потім постійного (пат. № US3027145A) поперечного перерізу.

Пристрій з вертикальним зливним листом, у нижній частині оснащеним заспокійливим козирком різної форми: у вигляді кругового сегмента або рівнобедреної трапеції, при цьому площа утвореного козирком і стінкою корпуса колони випускного отвору не перевищує 70 % площі поперечного перерізу зливного каналу (пат. № US5632935A та JP2003220328A, заявка № WO01/60489A2).

У пристроях з похилим зливним листом, оснащеним у нижній частині заспокійливим козирком з випускними щілинами (пат. № US5632935A та JP2003220328A, заявка № WO01/60489A2).

В аналогічному пристрої в заспокійливому козирку замість щілин виконано отвори, при цьому площа отворів біля корпуса колони більше, ніж з боку зливного листа, що знижує вихороутворення на вхідній ділянці тарілки нижче (заявка № GB2321417A).

У переливному пристрої у формі сегмента круга на полотні тарілки закріплено тільки зливну планку та відсутній зливний лист (пат. № US4673464A). Недолік конструкції – можливість проскакування легкої фази крізь пристрій, а також значне вихороутворення на полотні тарілки в місці надходження рідини з вищерозташованої тарілки.

Пристрої з одним (пат. № US1776032A, US1776033A та US3712595A) або декількома (пат. № UA139163U) круглими зливними каналами, а також зі зливним каналом круглого кільцевого (пат. № US6568663B1 і RU2599400C1, а. с. № SU904725A1).

За ступенем рухливості елементів – пристрої з нерухомими та рухомими елементами.

Переважає більшість пристроїв не містить рухомих елементів. Однак деякі конструкції, перш за все періодичної дії, мають рухомі елементи (наприклад, пристрої, що розглянуто раніше згідно з пат. № RU2158624C1, RU2372965C2 та UA141245U).

Тарілка з двома зонами контакту фаз містить циліндроконічний зливний патрубок і розташований під ним дисковий розподільник, закріплений на байпасній трубці із запірним підйомним клапаном (пат. № RU2233693C1 та UA75805C2). За умови стрімкого збільшення витрати легкої фази запірний клапан піднімається, пропускаючи легку фазу й цим знижуючи швидкість газу в барботажній зоні тарілки. При цьому на виході з трубки байпасу потік легкої фази закручується, інтенсифікуючи взаємодію фаз у просторі між тарілками.

У колоні з барботажними тарілками всередині співвісно розташованих зливних труб проходить вал з крильчатками, під дією яких рідина, що рухається крізь зливні труби, надходить на нижчерозташовану тарілку під надлишковим тиском (пат. № JPS5959203A).

За наявністю додаткових функцій – пристрої без додаткових функцій і з додатковими функціями.

Найбільш поширеною додатковою функцією переливного пристрою є утворення додаткової зони контакту фаз у тарілках з двома зонами контакту фаз, в яких переливний пристрій крім своєї безпосередньої функції також забезпечує розподіл рідини у вигляді плівки у просторі між сусідніми тарілками.

Пристрій містить розташований по центру барботажної зони тарілки, що утворює першу зону контакту фаз, циліндроконічний зливний патрубок і розташований під ними розподільник рідини у вигляді зрізаного конуса, що розширюється вниз, із заглибленням у верхній основі, в якому з утворенням гідрозатвора розташовано нижній кінець конічного зливного патрубку (пат. № UA140991U; рис. 3.28). З розподільника рідина стікає у вигляді кільцевої плівки, що розширюється в бік нижчерозташованої тарілки, контактуючи при цьому з висхідним потоком легкої фази та утворюючи другу зону контакту фаз.

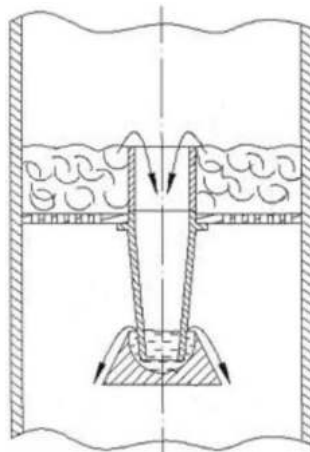


Рис. 3.28. Переливний пристрій згідно з пат. № UA140991U

Переливний пристрій для утворення другої зони контакту фаз містить циліндроконічний зливальний патрубок, нижню крайку якого з утворенням гідрозатвора опущено в розподільник рідини, виконаний у вигляді низького стакана з перфорованим днищем, що забезпечує вихід рідини не тільки у вигляді кільцевої плівки, але й сукупності струменів (пат. № US6371454B1; рис. 3.29). Стакан може бути виконано як з плоским, так і з увігнутим або конічним днищем.

Аналогічний пристрій, але зі стаканом, що має плоске суцільне днище, описано в пат. № CN107405536A.

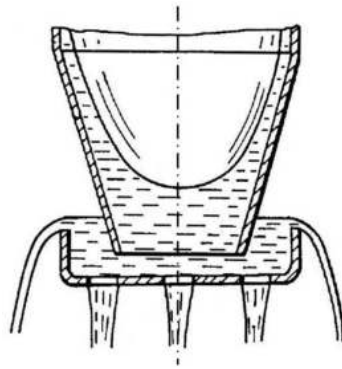


Рис. 3.29. Розподільник рідини переливного пристрою згідно з пат. № US6371454B1

Двозливний пристрій аналогічної конструкції, але з розподільником рідини у вигляді розташованих біля крайки тарілки двох циліндричних стаканів, при цьому пристрої сусідніх тарілок зміщено до їх протилежних крайок (пат. № RU2502548C2).

Пристрій, що забезпечує додаткову зону контакту фаз, виконано у вигляді циліндроконічного зливного патрубку із співвісною циліндричною вставкою та двома розсікачами потоку – дисковим і кільцевим, що утворюють дві співвісні кільцеві плівки рідини (пат. № US4179487A).

У зливному каналі тарілки розміщено проточну коробку з каталізатором для підвищення ефективності хімічної реакції (заявка № EP0583914A2).

Потрібно зазначити, що під час виготовлення переливних пристроїв барботажних тарілок тепломасообмінних колон доцільними можуть бути композиційні матеріали [27, 28]. Крім ефективних експлуатаційних властивостей, необхідних для роботи в умовах агресивних середовищ, ці матеріали мають і високі технологічні властивості, що забезпечують виготовлення пристроїв в цілому або їхніх елементів різних форм і розмірів майже без відходів [36].

3.5. Опорні пристрої тарілок

Одними з найефективніших апаратів у процесах розділення рідких і газових однорідних сумішей є тарілчасті колони, контактними елементами яких є тарілки [2, 24].

Тарілки закріплюють у корпусі тепломасообмінної колони з використанням опорних пристроїв, які також зазвичай запобігають проскакуванню фаз. Фіксують і ущільнюють у колонному апараті всі типи тарілок: провальні, ситчасті, ковпачкові, клапанні, струминні, жалюзійні, а також тарілки комбінованих тепломасообмінних колон [5, 6, 34, 46, 58]. При цьому опорні пристрої тарілок мають не меншу роль у забезпеченні ефективності процесу тепломасообміну, ніж такі допоміжні пристрої колони як сепаратори й переливні пристрої [51, 59].

Аналіз конструктивного виконання опорних пристроїв тарілок масообмінних колон дає змогу запропонувати їхню класифікацію (рис. 3.30).



Рис. 3.30. Класифікація опорних пристроїв тарілок тепломасообмінних колон [58]

За можливістю розбирання – розбірні та нерозбірні пристрої.

Більшість опорних пристроїв виконують розбірними, що дещо ускладнює виготовлення та монтаж колони, проте підвищує зручність її експлуатації. Нерозбірні опорні пристрої зазвичай використовують у колонах невеликого діаметра, а також у спеціалізованих колонах.

Нерозбірний пристрій містить кільцевий трубчастий елемент з кільцевим розрізом, приварений як до корпусу колони (безпосередньо або через опорне кільце), так і до тарілки (а. с. № SU1012941A1; рис. 3.31). Розрізний кільцевий трубчастий елемент є одночасно компенсатором для запобігання виникненню критичних температурних напружень в елементах колони, що виникають у процесі її роботи.

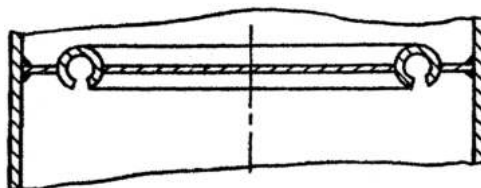


Рис. 3.31. Схема опорного пристрою згідно з а. с. № SU1012941A1

За місцем розташування опорного елемента – пристрої з опорним елементом, розташованим на корпусі колони, з опорним елементом, розташованим на контактній тарілці, а також з комбінованим опорним елементом (розташованим як на корпусі колони, так і на тарілці).

Більшість опорних пристроїв належить до пристроїв з опорним елементом, розташованим на корпусі колони. Одним з найбільш простих і поширених серед них є пристрій у вигляді привареного до корпусу колони опорного кільця й розміщеного на ньому полотна тарілки, зафіксованого за допомогою плоских клинів (пат. № JPS57113803A). Пристрій технологічний у виготовленні та зручний в експлуатації, проте внаслідок наявності опорного кільця з внутрішнім діаметром менше від зовнішнього діаметра тарілки він придатний лише для монтажу розбірних тарілок.

Пристрій містить опорний кільцевий елемент, приварений до корпусу колони та призначений для розміщення на ньому тарілки, закріпленої за допомогою штапованих фігурних фіксаторів (пат. № DE2840145A1; рис. 3.32). Пристрій технологічний у виготовленні та зручний в експлуатації, проте для ефективної роботи тарілки передбачає точне горизонтування опорного кільця.

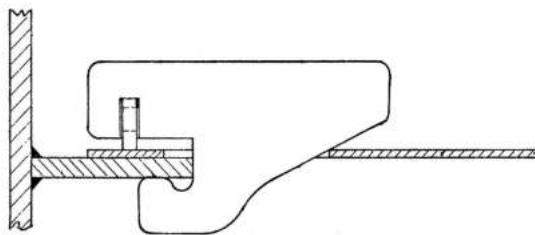


Рис. 3.32. Схема опорного пристрою згідно з пат. № DE2840145A1

Пристрій містить опорний кільцевий елемент С-подібного поперечного перерізу, приварений до корпусу колони (пат. № CN203874780U; рис. 3.33). Периферійну частину тарілки вільно розміщено в западині кільцевого елемента, тому в разі виготовлення елементів колони з різних матеріалів у процесі її роботи за підвищених температур забезпечується вільне подовження елементів колони без виникнення в них термічних напружень. При цьому з боку периферійної частини тарілки в западині кільцевого елемента розміщено еластичний наповнювач, що забезпечує ущільнення пристрою. Недолік пристрою – можливість закріплення лише розбірних тарілок.

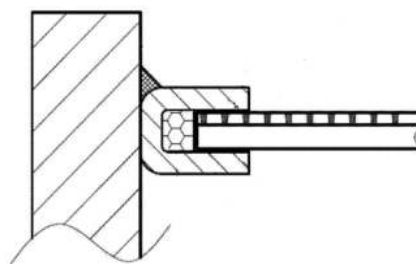


Рис. 3.33. Схема опорного пристрою згідно з пат. № DE2840145A1

Пристрій з опорним елементом, розміщеним на контактній тарілці, містить розрізне розтискне опорне кільце, що притискається до внутрішньої поверхні корпусу колони через ущільнювальну стрічку (пат. № GB725130A). Недолік пристрою – можливість зниження сили тертя між опорним кільцем і корпусом колони або збільшення механічних напружень в елементах пристрою в результаті їх нерівномірного теплового розширення в процесі роботи колони.

Пристрій з комбінованим опорним елементом описано в уже згаданій конструкції згідно з а. с. № SU1012941A1 (див. рис. 3.31).

За можливістю зміни положення опорного елемента по висоті колони – пристрої з фіксованим і регульованим положенням по висоті колони.

Пристрій з фіксованим положенням опорного елемента по висоті колони містить приварене до корпусу колони опорне кільце, а також розташовану на одному рівні з ним тарілку, при цьому зовнішній діаметр тарілки менше за внутрішній діаметр опорного кільця (пат. № US4075298A). Тарілка прикріплюється до опорного кільця за допомогою накладених на них і зафіксованих за допомогою болтів двох півкілець. Перевага конструкції – простий монтаж і демонтаж контактної тарілки, оскільки вона вільно проходить крізь отвір опорного кільця, а недолік – зниження корисної площі поверхні тарілки.

Пристрій з регульованим положенням опорного елемента по висоті колони описано у згаданому вже пат. № GB725130A. Опорне кільце може бути встановлено в довільному місці по висоті колони.

Пристрій з регульованим положенням опорного елемента по висоті колони містить вертикальний стрижень, що проходить вздовж подовжньої осі колони, із закріпленими на ньому за допомогою рухомих втулок ситчасті тарілки з переливними патрубками, призначений для використання в колонах невеликого діаметра (пат. № US4391675A). Переміщенням втулок вздовж стрижня регулюють положення тарілок на висоті колони. Ущільнення тарілок здійснюється їхніми тонкостінними конічними відбортовками, діаметр вершин яких у вільному стані перевищує внутрішній діаметр корпусу колони. За потреби монтажу тарілок, пакет попередньо закріплених на вертикальному стрижні тарілок вводиться в корпус за знятої кришки колони. Демонтаж тарілок здійснюється одночасно крізь зняте днище колони. Недолік пристрою – неможливість розміщення тарілок у колоні зі стаціонарними внутрішніми пристроями, що перешкоджають вільному розміщенню (витягуванню) пакета тарілок у корпусі (з корпусу) колони.

За наявністю окремого ущільнювального елемента – опорні пристрої з наявністю окремого ущільнювального елемента та пристрої з ущільненням за умови безпосереднього контакту тарілки та корпусу колони.

До пристроїв з наявністю окремого ущільнювального елемента належить пристрій, що містить приварене своєю основою до внутрішньої поверхні кор-

пуса колони кільце П-подібного поперечного перерізу, при цьому в западині кільця встановлено закладне кільце (яке може бути розрізним для зручності монтажу) з фіксаторами, відігнутими в бік контактної тарілки, що закріплюється на закладному кільці (пат. № CN101549212A та CN201394373Y; рис. 3.34).

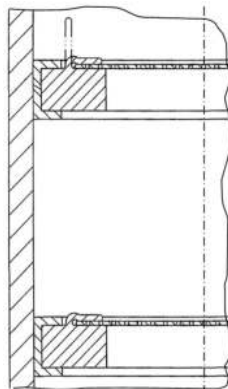


Рис. 3.34. Схема опорного пристрою згідно з пат. № CN101549212A

До пристроїв з ущільненням за умови безпосереднього контакту тарілки та корпусу колони можна віднести пристрої, в яких тарілку встановлено на привареному до внутрішньої поверхні корпусу колони опорному кільці та закріплено на ньому за допомогою болтів (пат. № CN2757890Y і CN211863909U). Недолік пристроїв – можливість монтажу на опорному кільці лише розбірних тарілок.

В аналогічному пристрої тарілка фіксується на привареному до внутрішньої поверхні корпусу колони опорному кільці за допомогою пластинчатих притискних планок, прикріплених до тарілки за допомогою болтів (пат. № CN203954719U). Перевага пристрою – відсутність необхідності виконання отворів в опорному кільці.

Опорний пристрій тарілки 1 без окремого ущільнювального елемента виконано у вигляді розрізного кільцевого елемента 2, встановлюваного на підтримувальний елемент циліндричного корпусу апарата, при цьому розрізний кільцевий елемент виконано у вигляді L-подібного кутика з горизонтальною полицею, спрямованою всередину циліндричного корпусу, а зазначений елемент виконано пружним із зовнішнім діаметром d у вільному стані більшим за внутрішній діаметр циліндричного корпусу D (пат. № UA122692U; рис. 3.35).

За ступенем регулювання зусилля притискання ущільнювального елемента – опорні пристрої з фіксованим та регульованим зусиллям притискання ущільнювального елемента.

Конструктивно простий пристрій з фіксованим зусиллям притискання виконано у вигляді плоского еластичного кільця із зовнішнім діаметром, що перевищує внутрішній діаметр корпусу колони (пат. № GB739359A). Під час монтажу тарілки еластичне кільце набуває форми плоского кільця з відбортовою, що прилягає до внутрішньої поверхні корпусу.

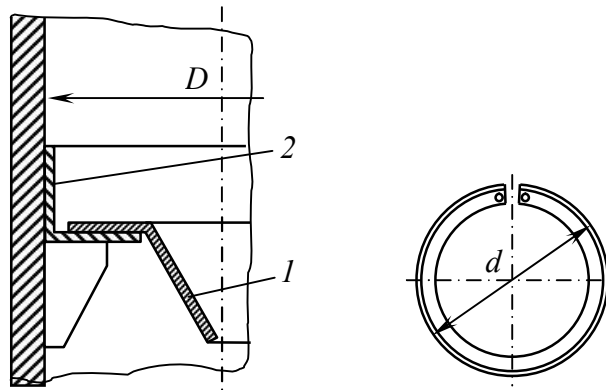


Рис. 3.35. Схема опорного пристрою згідно з пат. № UA122692U:
1 – тарілка; 2 – розрізний кільцевий елемент

В аналогічному пристрої для підвищення деформованості та полегшення монтажу-демонтажу тарілки плоске еластичне кільце виконано з радіальними прорізами з боку зовнішньої поверхні (а. с. № SU1005807A1). Під час монтажу тарілки еластичне кільце набуває форми плоского кільця з відбортовкою, що прилягає до внутрішньої поверхні корпусу. Недолік пристрою – можливість часткового проскакування оброблених фаз крізь радіальні прорізи еластичного кільця.

Для підвищення надійності ущільнення кільце ущільнювача виконують з U-подібним поперечним перерізом і вирізом, спрямованим назовні (пат. № US5118449A; рис. 3.36). У результаті несанкціонованому проходженню фаз перешкоджають два плоскі кільця, утворених бічними сторонами кільця ущільнювача.

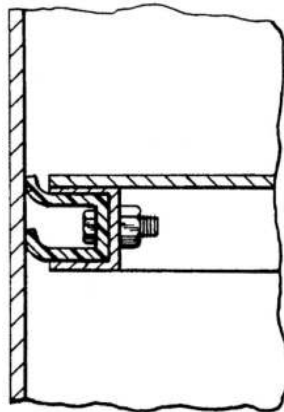


Рис. 3.36. Схема опорного пристрою згідно з пат. № US5118449A

Технологічний у виготовленні та зручний у монтажі та демонтажі пристрій з фіксованим зусиллям притискання виконано у вигляді ущільнювального кільця (силіконова гума, поліалкілен, поліетилен, політетрафторетилен), розміщеного в кільцевій западині знімного борту полотна тарілки, що фіксується на полотні притискними планками (пат. № DE3047868A1; рис. 3.37).

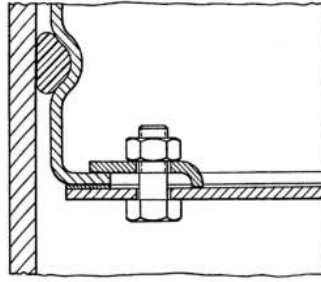


Рис. 3.37. Схема опорного пристрою згідно з пат. № DE3047868A1

Пристрій з регульованим зусиллям притискання містить розміщену між опорним кільцем корпусу колони й відбортовкою тарілки сальникову набивку [60]. Зміною зусилля стиснення сальникової набивки у вертикальному напрямку регулюють зусилля її притискання до внутрішньої поверхні корпусу колони та зовнішньої поверхні відбортовки тарілки.

Про ефективність опорного пристрою із сальниковим ущільненням можна зробити висновок за фактом впровадження такого технічного рішення американкою компанією Atlantic Richfield Company (ARCO) під час модернізації колони вакуумної перегонки нафти, внаслідок якої продуктивність колони збільшилася майже на 11% [61].

Пристрій з регульованим зусиллям притискання містить закріплену на периферії полотна тарілки замкнену еластичну трубку, внутрішню порожнину якої сполучено з магістраллю високого тиску (пат. № СН562046А5). Зміною тиску всередині еластичної трубки регулюють зусилля її притискання до внутрішньої поверхні корпусу колони. Недолік пристрою – необхідність підведення стисненого повітря або технологічної рідини до кожної тарілки.

За місцем розташування ущільнювального елемента – з розташуванням ущільнювального елемента над полотном тарілки, під полотном тарілки, з боку полотна тарілки, а також з комбінованим розташуванням ущільнювального елемента.

Пристрій з розташуванням ущільнювального елемента над полотном тарілки містить притискне кільце, що прикріплюється до полотна за допомогою стяжних болтів, при цьому між полотном тарілки й притискним кільцем розміщено пружне ущільнювальне кільце, виконане у вигляді зовнішньої половини тора, що контактує із внутрішньою поверхнею корпусу (пат. № UA147131U; рис. 3.38). Недолік пристрою – складність конструкції притискного кільця.

Пристрій з розташуванням ущільнювального елемента під полотном тарілки містить закріплене на корпусі кільце ущільнювача трикутного поперечного перерізу з вершиною, спрямованою до подовжньої осі корпусу, при цьому тарілка взаємодіє з верхньою гранню ущільнювального кільця та підтискається до неї розрізним фіксувальним кільцем, що взаємодіє з нижньою гранню ущільнювального кільця (пат. № UA113944U; рис. 3.39).

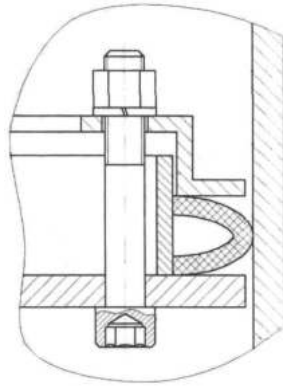


Рис. 3.38. Схема опорного пристрою згідно з пат. № UA113944U

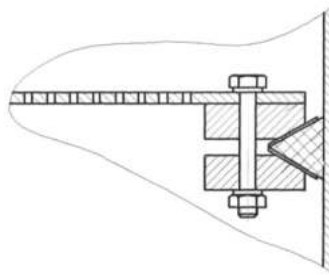


Рис. 3.39. Схема опорного пристрою згідно з пат. № UA113944U

Недолік цього пристрою – необхідність достатньої міцності кільця ущільнювача та неможливість монтажу декількох нерозбірних тарілок в одній царзі корпусу. Крім того, зважаючи на прийнятий у хімічному машинобудуванні допуск на овальність для корпусів колонних апаратів, який зазвичай становить 1 %, надійність ущільнення такої конструкції дуже проблематична.

Пристрій з розташуванням ущільнювального елемента з боку полотна тарілки містить розміщене в кільцевому виступі корпусу колони кільце ущільнювача, на яке спирається виступ ступінчастої відбортовки тарілки (пат. № RU2033234C1; рис. 3.40). Пристрій вирізняється простотою конструкції та експлуатації, проте він нетехнологічний у виготовленні (внаслідок необхідності виконання кільцевих виступів корпусу колони). Крім того, за необхідності зміни відстані між тарілками майже весь корпус необхідно виконувати гофрованим.

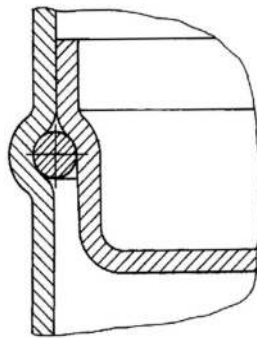


Рис. 3.40. Схема опорного пристрою згідно з пат. № RU2033234C1

У пристрої, аналогічного конструкції згідно з пат. № RU2033234C1, виступ ступінчастої відбортовки тарілки спирається на кільцеву западину корпусу колони (пат. № RU2033234C1). Таке технічне рішення дає змогу відмовитися від спеціального кільця ущільнювача, проте для забезпечення ефективного ущільнення воно передбачає високу точність виготовлення опорних поверхонь тарілки й корпусу. Крім того, така конструкція колони унеможливує монтаж декількох нерозбірних тарілок в одній царзі корпусу.

В удосконаленому пристрої над кільцем ущільнювача в проміжку між відбортовкою тарілки й корпусом колони розміщено сальникову набивку, що підвищує надійність ущільнення (пат. № UA42399A).

Пристрій з комбінованим розташуванням ущільнювального елемента містить розміщене між сусідніми царгами опорне кільце, на яке спирається тарілка за допомогою еластичного ущільнювального елемента, при цьому додатковий ущільнювальний елемент розташовано в проміжку між відбортовкою тарілки та внутрішньою поверхнею царги (пат. № RU2214852C1). Недолік пристрою – наявність у кожній царзі лише однієї контактної тарілки.

За кількістю фіксованих тарілок – пристрої для фіксації окремої тарілки та пристрої для фіксації двох тарілок.

Переважну більшість пристроїв призначено для закріплення окремої контактної тарілки, проте запропоновано пристрій для фіксації в корпусі колони двох сусідніх тарілок (пат. № UA106892C2; рис. 3.41). Цей пристрій виконано у вигляді опуклої тонкостінної пружної оболонки, торці якої герметично приєднано до тарілок, з'єднаних одна з одною декількома нарізними шпильками. Регулюванням відстані між сусідніми тарілками забезпечують необхідну деформацію оболонки, що набуває форми частини тора й прилеглої до внутрішньої поверхні корпусу колони. Недоліки пристрою – можливість використання в контактній частині колони з парною кількістю тарілок, утворення застійних зон важкої фази між корпусом колони та верхньою зовнішньою частиною оболонки, а також неможливість забезпечення відстані між сусідніми тарілками з точки зору ефективності тепломасообміну.

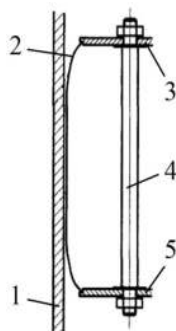


Рис. 3.41. Схема опорного пристрою згідно з пат. № UA106892C2:

1 – корпус колонного апарата; 2 – опукла тонкостінна пружна оболонка;
3, 5 – вище- і нижчерозташована тарілки, відповідно; 4 – нарізний стрижень

Як бачимо, не існує будь-яких універсальних опорних пристроїв тарілок тепломасообмінних колон, оскільки їхня конструкція визначається багатьма чинниками, зокрема температурою й тиском в колоні, а також хімічною активністю оброблюваних середовищ.

3.6. Вбудовані сепаратори

Ефективність роботи тепломасообмінних колон різного типу залежить не тільки від взаємодії фаз у контактній частині колон, а й ступеня розділення їх між собою на виході з тепломасообмінного обладнання. При цьому відокремлення крапель рідини від потоку легкої фази (газу, пари, газопарової суміші; далі – газу) здійснюють за допомогою спеціальних пристроїв – сепараторів (бризковловлювачів, краплевідділювачів, краплевідбійників) [2, 20, 21, 24]. Сепаратори не лише сприяють очищенню газової фази, але й запобігають незворотним втратам рідини (наприклад, втрати води в градирнях, а також абсорбенту під час скидання очищених в абсорбері газів в атмосферу).

Найбільш поширеними для відділення крапель рідини від обробленого в тепломасообмінній колоні газового потоку є вбудовані (внутрішні) сепаратори, тобто сепаратори, розміщені в порожнині верхньої частини корпуса колони або його кришки. На відміну від більш універсальних виносних сепараторів, що розміщуються за межами колони (наприклад, пат. № RU2250796C1 і RU2536991C1), вбудовані сепаратори забезпечують компактність тепломасообмінного обладнання.

У тепломасообмінних колонах також можуть бути успішно використані багато конструкцій сепараторів, розроблених для випарних апаратів, перш за все трубчастих апаратів безперервної дії як з природною, так і з примусовою циркуляцією випаровуваного розчину.

Аналіз конструктивного виконання вбудованих сепараторів тепломасообмінних колон дає змогу запропонувати їх укрупнену класифікацію (рис. 3.42).

За ступенем відділення крапель із загального газового потоку – моносепаратори та полісепаратори.

Моносепаратор забезпечує вловлювання крапель рідини з газового потоку в цілому й використовується як загальний сепаратор більшості насадкових, тарілчастих і розпилувальних колонних апаратів, а полісепаратор виконують у вигляді сукупності однакових елементів, що встановлюються на виході газу з одного або декількох контактних елементів (наприклад, над вертикальними трубками або листами плівкових тепломасообмінних колон [20, 24]).

За механізмом відділення крапель із загального потоку легкої фази – сепаратори, принцип дії яких заснований на використанні гравітаційних, інерційних, відцентрових сил, на відділенні за допомогою шару насадки, а також сепаратори комбінованої дії.

Найпростішими, але й найменш ефективними є гравітаційні сепаратори, конструктивно оформлювані у вигляді вільного простору корпусу колони над його контактною частиною [24]. Висота сепараційного простору зазвичай становить не менше одного-півтора діаметрів корпусу в його верхній частині.

Найбільшого поширення в тепломасообмінних колонних апаратах набули інерційні сепаратори, що характеризуються простотою конструкції, відсутністю рухомих частин і невеликим гідравлічним опором. Принцип їх дії заснований на багаторазовій зміні напрямку та швидкості газу.



Рис. 3.42. Класифікація вбудованих сепараторів тепломасообмінних колон

Найпростіший інерційний сепаратор виконано у вигляді горизонтально розташованого опуклого вгору диска (а. с. № SU697137A1). Перевага конструкції – низька матеріалоємність.

Інерційний сепаратор, виконаний у вигляді вертикального патрубку, співвісно встановленого всередині перевернутого циліндричного стакана (рис. 3.43) [24]. Перевага сепаратора – висока ефективність і простота конструкції.

Інерційний сепаратор, виконаний у вигляді пакета еквідистантно установлених вертикальних гофрованих листів з горизонтальними гофрами [24].

Радіус гофрів становить 6–12 мм, крок розташування листів – 5–10 мм, а висота пакета зазвичай не перевищує 0,15–0,18 м. Завдяки багаторазовій зміні напрямку руху газу та великій поверхні контакту листів відбувається інтенсивна коалесценція крапель рідини з утворенням струменів і плівок, що вільно стікають з пластин в контактну частину колони. Перевага сепаратора – досить висока ефективність та низький гідравлічний опір (до 0,5 кПа).

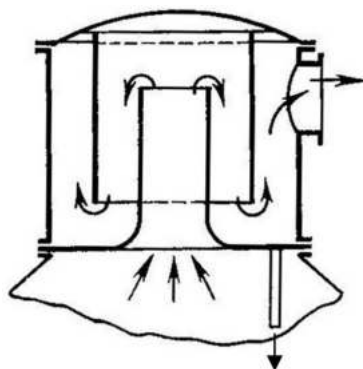


Рис. 3.43. Схема інерційного сепаратора [24]

Інерційний сепаратор містить пакет встановлених вертикальних гофрованих порожнистих листів з горизонтальними або вертикальними гофрами, при цьому в стінках зазначених листів виконано отвори або розташовані вздовж гофрів щілини (а. с. № SU1111797A1). Під час хвилеподібного руху газу між листами виділені з нього краплі рідини крізь отвори або щілини потрапляють у порожнини листів, з яких спрямовуються в колектор, після чого виділена з газового потоку рідина повертається в контактну частину апарата.

В інерційному сепараторі, що містить пакет встановлених вертикальних гофрованих листів з горизонтальними гофрами, на яких виконано дискретні «кармани» для уловлювання й відведення рідини (заявка № EP2272579A1).

Інерційний сепаратор містить пакет еквідистантно встановлених вертикальних гофрованих листів з горизонтальними гофрами, у западинах яких укладено волокнистий матеріал (пат. № UA60782A). Виділені з газового потоку краплі рідини утримуються волокнистим матеріалом, з якого видаляються під дією капілярних сил в горизонтальному напрямку й повертаються в контактну частину колони.

Більш простий інерційний сепаратор, що містить пакет еквідистантно встановлених вертикальних гофрованих листів з вертикальними гофрами, у западинах яких виконано подовжні пази (пат. № UA40567U). Виділені з газового потоку краплі рідини утримуються в пазах западин гофрів і поступово стікають у контактну частину колони.

Інерційний сепаратор у вигляді набору кутиків, які розташовано в горизонтальній площині з перекриттям один одного та спрямовано вершинами в один бік (пат. № CN209735618U). Недолік конструкції – низька технологічність і ремонтпридатність внаслідок значної кількості кутиків різної довжини

(у разі використання сепаратора в циліндричних колонах).

Інерційний сепаратор у вигляді двох пакетів похилих пластин, що сходяться догори (пат. № UA82502U; рис. 3.44). Сепаратор має той самий недолік, що й попередня конструкція. Крім того, він істотно збільшує висоту колони.

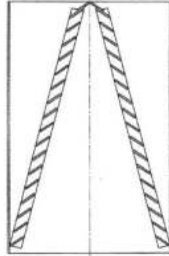


Рис. 3.44. Схема інерційного сепаратора згідно з пат. № UA82502U

Інерційний сепаратор у вигляді закріплених на еліптичній кришці двох співвісних перевернутих стаканів, внутрішній з яких виконано з вирізом, оберненим у протилежний бік від горизонтального штуцера для відведення газової фази (пат. № CN209237370U; рис. 3.45). При цьому у верхній частині днища закріплено тарілку у вигляді зрізаного конуса для попереднього відділення великих крапель.

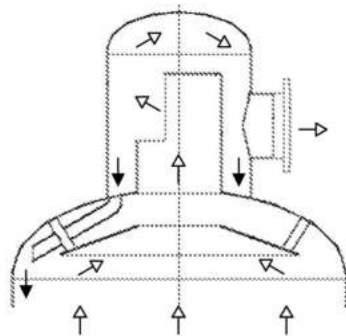


Рис. 3.45. Схема інерційного сепаратора згідно з пат. № CN209237370U

Інерційний сепаратор у вигляді перевернутого стакана з перфорованою стінкою, розташованою всередині верхньої частини колони з кільцевим проміжком відносно внутрішньої поверхні стінки корпуса колони, при цьому розподільник рідини розміщено під суцільним днищем стакана (пат. № CN214261903U; рис. 3.46).

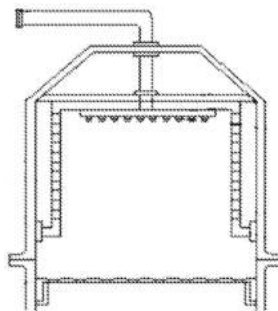


Рис. 3.46. Схема інерційного сепаратора згідно з пат. № CN214261903U

Відцентровий прямоточний сепаратор містить послідовно розташовані завихрювач потоку, виконаний у вигляді кільцевого дифузора з гвинтовими лопатками, а також перфоровану трубу й випрямляч потоку, виконаний у вигляді кільцевого конфузора (пат. № RU2363520C1). Ззовні перфорованої труби розташовано подовжні сепараційні лопатки, що утворюють кільцевий циліндр для відділення крапель рідини.

Основний недолік відцентрових сепараторів – достатньо високий гідравлічний опір (до 0,01 МПа).

Сепаратор комбінованої дії, виконаний у вигляді сукупності укладених один на одному пористо-комірчастих нікелевих пластин, розташованих під кутом до подовжньої вертикальної осі колони, не меншим за кут стікання рідини (пат. № RU2065317C1; рис. 3.47). Уловлювання рідини засноване як на дії інерційних сил, так і на контакті крапель зі стінками пор пластин, подальшою їх коалесценцією й видаленням під дією сили тяжіння (стіканням) у контактну частину колони. Недолік конструкції – підвищена швидкість газу у верхній частині простору під сепаратором (між «піднятою» частиною сепаратора й корпусом колони), що не виключає проскакування крапель рідини крізь пакет пористих пластин.

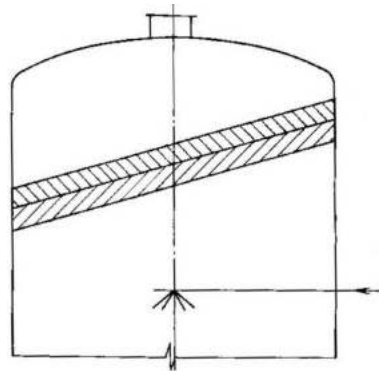


Рис. 3.47. Схема сепаратора комбінованої дії згідно з пат. № RU2065317C1

За можливістю зміни ефективності відділення крапель – сепаратори фіксованої (незмінної) та регульованої ефективності.

Сепаратор містить пакет еквідистантно встановлених вертикальних гофрованих листів з вертикальними гофрами, при цьому листи стягнуто між собою за допомогою нарізних шпильок з дистанційними втулками (пат. № UA40974U). Змінюючи довжину втулок, можна регулювати ширину каналів між листами, а отже, й ефективність відділення крапель рідини, що розширює технологічні можливості сепаратора.

Сепаратор містить кілька встановлених один над одним горизонтальних перфорованих листів з прямолінійними гофрами трикутного поперечного перерізу (пат. № GB1053777A; рис. 3.48). Змінюючи кількість листів (при цьому сусідні листи розташовують під прямим кутом один відносно одного) також можна регулювати ефективність відділення крапель рідини.

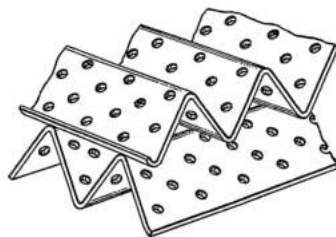


Рис. 3.48. Схема сепаратора згідно з пат. № GB1053777A

За ступенем складання сепаратора – сепаратори у вигляді деталі, складальної одиниці, а також у вигляді сукупності окремих елементів (наприклад, шару кускового матеріалу).

Найпростіший за конструкцією сепаратор виконано у вигляді однієї деталі – круглого горизонтального диска, розташованого перед штуцером для виведення газового потоку з колони [24].

Сепаратор у вигляді згорнутої у вигляді диска гофрованої стрічки, гофри якої виконано трикутного поперечного перерізу й нахилені до вертикалі під кутом 30–45° (пат. № CN2176179Y). Сепаратор може містити кілька встановлених один над одним аналогічних дисків, при цьому гофри сусідніх дисків нахилені в протилежні боки. Перевага конструкції – висока ефективність поділу фаз, технологічність і компактність.

В аналогічному сепараторі гофри виконані S-подібними (з похилими центральними й вертикальними кінцевими ділянками), що знижує гідравлічний опір пристрою (пат. № CN205095810U; рис. 3.49).

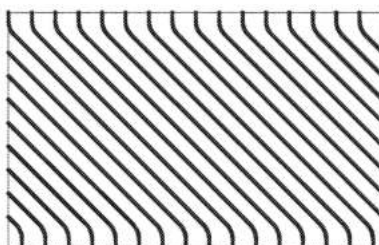


Рис. 3.49. Фрагмент розгортки стрічки дискового сепаратора згідно з пат. № CN205095810U

Сепаратор насадкової тепломасообмінної колони у вигляді провальної тарілки з шаром розміщених на ній елементів насадки – нерегулярної або регулярної (пат. № UA110928U та UA117553U). Перевага конструкції – використання як сепаратора елементів насадки, аналогічних елементам контактної частини тепломасообмінного апарата, а також створення додаткової контактної зони (хоч і менш ефективною).

Сепаратор у вигляді декількох ярусів елементів регулярної насадки, під кожним з яких розташовано збірник виділеної з газового потоку рідини, сполучений із загальним колектором, що повертає її в контактну частину колони (пат. № RU2440172C2).

За ступенем рухливості елементів сепаратора – сепаратори з нерухомими й рухомими елементами.

Сепаратор тепломасообмінної колони з рухомою (коливальною) насадкою виконано у вигляді перфорованої конічної оболонки з перфорованим днищем і розміщеної всередині її порожнини елементами насадки, меншими, ніж елементи насадки контактної частини колони, при цьому над конічною оболонкою змонтовано зрошувальний пристрій (пат. № RU2473376C2). Недолік сепаратора – розташування зрошувального пристрою на виході газового потоку з конічної оболонки, що не виключає винесення крапель рідини з колони.

Сепаратор з послідовно розташованими вздовж вертикальної осі завихрювачем і конічним розсікачем газового потоку, приводного ротора й конічного краплезбірника (пат. № RU2658037C1). Недолік пристрою – наявність обертового ротора й витрата енергії на його обертання.

За матеріалом сепаратора – металеві, неметалеві та комбіновані сепаратори.

Найбільшого поширення набули металеві сепаратори (листові, сіткові, а також виготовлені у вигляді об'ємних конструкцій).

Останнім часом все частіше використовують неметалеві сепаратори, які виготовляються переважно з полімерних матеріалів. Завдяки можливостям підбору якісного та кількісного складу композиційних матеріалів [27, 28, 62], а також методу перероблення їх у виробі [36, 43] можна виготовляти сепаратори найрізноманітнішого типорозміру з експлуатаційними властивостями, що забезпечують розділення найрізноманітніших неоднорідних систем.

У пат. № FR2035507A5 розглянуто конструкцію сепаратора, виконаного з пористої кераміки.

Сепаратор у вигляді набору сіток, виготовлених із сталевого дроту, переплетеного з полімерними або скляними нитками (пат. № DE2308076A1).

Незважаючи на допоміжну роль сепараторів у процесі масопередачі, від їхньої роботи залежить ефективність тепломасообмінної колони в цілому. Тому пошуки нових ефективних конструкцій сепараторів без сумніву будуть продовжені, чому сприятимуть досягнення у створенні нових матеріалів, а також можливості, що надаються високопродуктивною обчислювальною технікою з відповідним програмним забезпеченням.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Багаторічний досвід промислової експлуатації тепломасообмінних колон довів їхню високу ефективність і незамінність у процесах розділення рідких і газоподібних однорідних систем у хімічних, нафтохімічних, нафтопереробних, харчових та інших великотоннажних виробництвах.

Якість роботи тепломасообмінних колонних апаратів залежить від конструктивно-технологічного оформлення процесів розділення, що проходять у них. При цьому чи не основну роль у цьому відіграють такі конструктивні елементи колон як їхні контактні й допоміжні пристрої, зокрема елементи насадки, контактні тарілки, пристрої для введення важкої й легкої фаз у контактну частину колон, пристрої для перерозподілення потоку важкої фази по висоті насадкових колон, сепаратори для відокремлення крапель важкої фази від потоку легкої фази, а також переливні пристрої тарілчастих колон.

Для підвищення ефективності роботи тепломасообмінних колон можна рекомендувати такі заходи:

- збільшувати основні показники елементів насадки – вільний об'єм і питому поверхню, при цьому беручи до уваги, що зазвичай вони є альтернативними;

- з точки зору забезпечення ефективної гідродинаміки фаз в колоні найбільш доцільною формою елементів насадки є кільцева, тому потрібно зосередити увагу саме на вдосконаленні насадок кільцевої форми;

- спорядження елементів насадки різноманітними турбулізаторами потоку інтенсифікує процес тепломасообміну, внутрішніми перегородками – збільшує питому поверхню та підвищує міцність насадки, проте ці заходи збільшують її гідравлічний опір; тому під час розроблення насадок нових типорозмірів потрібно мінімізувати зростання їх гідравлічного опору;

- використовувати рухливу насадку або її конструктивні елементи;

- комбінувати різні види контактних елементів по висоті тепломасообмінних колон, зокрема насадку й тарілки або насадку різного типорозміру;

- здійснювати пошук нових конструкційних матеріалів для виготовлення контактних елементів і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон – міцних, легких, хімічно стійких і дешевих; для цього потрібно широко застосовувати досягнення в галузі матеріалознавства й нових технологій, зокрема нові композиційні матеріали з прогнозованими властивостями, а також 3D технології;

- широко застосовувати методи сучасного математичного моделювання для вдосконалення конструктивно-технологічного оформлення контактних і допоміжних пристроїв та тепломасообмінних колон у цілому.

Наведені в монографії численні конструкції контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон, а також їхня класифікація може стати у пригоді в розробленні нових зразків технологічного обладнання хімічних виробництв.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мишин В. П., Кацашвили В. Г. Зарубежные насадочные устройства массообменной аппаратуры : обзор. информ. Москва : ЦИНТИХимнефтемаш, 1982. 20 с. (Серия ХМ-1 «Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение»).
2. Тютюнников А. Б., Товажнянский Л. Л., Готлинская А. П. Контактные элементы массообменных колонн. Киев : ИСИО, 1993. 440 с.
3. Методы интенсификации процессов тепло- и массообмена в колонных аппаратах с насадкой / А. С. Пушнов, А. С. Севрюков, М. Г. Беренгартен, И. О. Микуленок // Химическая техника. 2013. № 11. С. 39–43.
4. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / А. М. Каган, А. Г. Лаптев, А. С. Пушнов, М. И. Фарахов; под ред. А. Г. Лаптева. Казань : Отечество, 2013. 454 с. URL: https://ingehim.ru/images/Kgan_Laptev_Pushnov_Farakhov_2013_Contact_packings_of_industrial_heat_and_mass_transfer_apparatuses.pdf (дата звернення: 13.12.2021).
5. Mikulenok I. O. Designs of bubble caps of the contact plates of mass-exchange columns (review of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 54, N 5–6. P. 410–417. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0495-y>
6. Mikulionok I. O. Design of the valves of the contact plates of mass-transfer columns (survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. Vol. 55, N 9–10. P. 762–771. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00881-5>
7. Леонтьев В. С., Сидоров С. И. Современные насадочные колонны: особенности конструктивного оформления // Химическая промышленность. 2005. Т. 82, № 7. С. 347–356.
8. Кремнева Т. В. Цилиндрические нерегулярные насадки для тепломассообменных процессов нефтегазоперерабатывающих производств: от колец Рашига до самых современных конструкций // Технологии нефти и газа. 2006. № 3. С. 66–74.
9. Сравнение тарельчатых и насадочных контактных устройств колонных аппаратов / Г. Б. Дмитриева, М. Г. Беренгартен, А. М. Каган и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2007. № 1. С. 9–10.
10. Каган А. М., Юдина Л. А., Пушнов А. С. Гидравлическое сопротивление и удельная поверхность нерегулярных насадок // Химическая промышленность. 2008. Т. 85, № 3. С. 147–152.
11. Рууге Т. С. Развитие конструкций тарельчатых массообменных колонн газожидкостного контакта : [обзор. информ.]. Москва : ЦИНТИХимнефтемаш, 1982. 37 с. (Серия ХМ-1 «Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение»).
12. Щелкунов В. А., Круглов С. А., Молоканов Ю. К. Конструкции клапанных тарелок массообменных аппаратов : обзор. информ. Москва :

ЦИНТИхимнефтемаш, 1982. 40 с. (Серия ХМ-1 «Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение»).

13. Рыбинский А. Г., Чехов О. С. Современные конструкции теплообменных тарельчатых контактных устройств : обзор. информ. Москва : ЦИНТИхимнефтемаш, 1984. 44 с. (Серия ХМ-1 «Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение»).

14. Мікульонок І. О. Інтелектуальна власність. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 248 с.

15. Мікульонок І. О. Інтелектуальна власність та патентознавство. 3-ге вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. 244 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31664> (дата звернення: 13.12.2021).

16. Микулёнок И. О. Классификация насадок массообменных аппаратов // Химическая промышленность. 2011. Т. LXXXVIII (88), № 2. С. 67–74.

17. Mikulionok I. O. Classification of Nozzles of Mass Transfer Apparatuses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, N 9. P. 1631–1637. DOI: 10.1134/S107042721109031X

18. Классификация конструкций насадок колонных аппаратов и методов интенсификации в них процессов тепломассообмена / А. С. Пушнов, И. О. Микулёнок, А. С. Севрюков, М. Г. Беренгартен // Химическая технология. 2014. № 4. С. 244–250.

19. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / под ред. В. Г. Айнштейна. Ч. 1. Москва : Логос, Высшая школа, 2002. 912 с.

20. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 2. Массообменные процессы и аппараты. Москва : Химия, 1995. 368 с.

21. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В 2-х кн. Москва : Химия, 1981. 812 с.

22. Мікульонок І. О. Керамічні насадки тепломасообмінних апаратів // Кераміка: наука и жизнь. 2011. № 2. С. 24–34.

23. Рамм В. М. Абсорбция газов. М.: Химия, 1976. 655 с.

24. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169> (дата звернення: 04.12.2021).

25. Mikulionok I. O. Ring packing contact elements of mass transfer devices (review of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 54, No. 1–2. P. 125–129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0450-y>

26. Schultes M. Raschig Super-Ring: A New Fourth Generation Packing Offers New Advantages // Chemical Engineering Research and Design. 2003. Vol. 81, Part A. P. 48–57.

27. Мікульонок І. О. Термопластичні композитні матеріали та їх наповнювачі. Класифікація та загальні відомості // Хімічна промисловість України. 2005. № 5. С. 30–39.

28. Микулёнок И. О. Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей // Пластические массы, 2012. № 9. С. 29–38.

29. Plastic Packings Process Data (Product Bulletin 701): Raschig GmbH [Electronic resource]. URL: <http://s341789233.online.de/editor/assets/RASCHIG%20Plastic%20Packings-701.pdf> (дата звернення: 04.12.2021).

30. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.

31. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 292 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084> (дата звернення: 04.12.2021).

32. Carbon Raschig Rings: Pyrotek Inc., USA [Electronic resource]. URL: https://pyrotek-inc.com/documents/datasheets/808_-_Carbon_Raschig_Rings_-_E4.pdf (дата звернення: 04.12.2021).

33. Mikulionok I. O. Classification of stamped packing elements of mass-exchange apparatuses (survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 56, N 9–10. P. 861–869. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00853-9>

34. Mikulionok I. O. Classification of the designs of the stamped contact plates of mass-exchange columns (survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. Vol. 55, N 9–10. P. 847–855. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-020-00703-0>

35. Mikulionok I. O. Classification of the Packing Contact Elements of Mass-Exchange Towers with Second-Order form of the Surfaces (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 57, N 11–12. P. 976–981. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01034-y>.

36. Mikulionok I. O. Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51, N 1–2. P. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-015-9990-6>

37. Plastic Packing and Column Internals. Koch-Glitsch. Bulletin KGPPCI-1.1. Rev. 05-2019. URL: <https://www.koch-glitsch.com/Technical-Documents/Brochures/Plastic-Packing-and-Column-Internals> (дата звернення: 13.12.2021).

38. Mikulionok I. O. Classification of the Structures of Volume-Exchange Towers with Loose Packing (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, N 3–4. P. 168–175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00941-w>

39. Mikulenok I. O. Intensification of Fabrication of Extruded Polymeric Shapes // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014. Vol. 50, No. 7–8. P. 483–488. DOI: 10.1007/s10556-014-9927-5
40. Мікульонюк І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061> (дата звернення: 04.12.2021).
41. Замянян А. А., Рамм В. М. Абсорберы с подвижной насадкой. Москва: Химия, 1980. 184 с.
42. Mikulionok I. O. Pretreatment of Recycled Polymer Raw Material // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2011. Vol. 83, N 6. P. 1105–1113. DOI: 10.1134/S1070427211060371
43. Mikulyonok I. O. Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 48, No. 11–12. P. 658–661.
44. Лукашова В. В., Мікульонюк І. О., Радченко Л. Б. Екструзія пінополімерів. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 176 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37522> (дата звернення: 04.12.2021).
45. ГОСТ 9634–81. Колпачки капсульные стальные колонных аппаратов. Конструкция и размеры. Технические требования. Москва : Изд-во стандартов, 1981. 3 с.
46. Mikulyonok I. O. Combined contact devices for mass-exchange towers // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2012. Vol. 48, N 1–2. P. 71–76. DOI: 10.1007/s10556-012-9576-5
47. Микулёнок И. О. Классификация наклонных тарелок массообменных колонн (обзор конструкций) // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2022. № 7. С. 45–48.
48. Галустов В. С., Анискин С. В., Михайлов Е. А. Распыливающие устройства с заполненным факелом для орошения тепло- и массообменных аппаратов. Москва : ЦИНТИхимнефтемаш. 1988. 34 с.
49. Міжнародна патентна класифікація (МПК-2021.01). URL: <http://base.uivr.org/mpk2009/index.html?level=c&version=2> (дата звернення: 31.12.2021).
50. Основные процессы и аппараты химической технологии / под ред. Ю.И. Дытнерского. Москва : Химия. 1991. 496 с.
51. Mikulionok I. O. Classification of Built-In Separators of Mass-Exchange Columns (Survey of Patents) // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2021. Vol. 57, N 5–6. P. 522–528. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00969-y>
52. Mikulionok I. O. Classification of Devices for Distribution and Redistribution of Liquid in Mass-Exchange Towers with Motionless Packing (Survey of Patents) // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2021. Vol. 57, N 7–8. P. 611–617. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00983-0>

53. Mikulionok I. O. Classification of Devices for Introduction and Distribution of Light Phase in Mass-Exchange Columns (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 58. N 5–6. P. 427–432. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01110-3>

54. Поникаров И. И., Гайнуллин М. Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. Москва : Альфа-М, 2006. 608 с.

55. Mikulionok I. O. Plate-Type Gas Distribution Grids for Fluidized Bed Apparatuses (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. N 1–2. P. 168–175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00911-2>

56. Mikulionok I. O. Classification of Gas-Distribution Grids of Fluidized Bed Apparatuses (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. N 3–4. P. 346–353. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00927-8>

57. Мановян А. К., Хачатурова Д. А., Лозин В. В. Лабораторная перегонка и ректификация нефтяных смесей. Москва : Химия, 1984. 240 с. URL: https://www.studmed.ru/manovyan-ak-hachaturova-da-lozin-vv-laboratornaya-peregonka-i-rectifikaciya-neftyanyh-smesey_811dbaff2d9.html (дата звернения: 13.12.2021).

58. Микулёнок И. О. Классификация опорных устройств тарелок массообменных колонн (обзор конструкций) // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2022. № 7. С. 41–44.

59. Mikulionok I. O. Classification of Overflow Devices of Mass-Transfer Columns (Review of Designs) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 57, N 9–10. P. 878–884. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01020-4>

60. ОСТ 26-01-66–86. Тарелки колпачковые стальных колонных аппаратов. Параметры, конструкция и размеры. Москва : ЦИНТИхимнефтемаш, 1986. 31 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293841/4293841791.pdf> (дата звернения: 13.12.2021).

61. Voss G. H., Vaughn P. H., Pennington I. Stop tray leaks: reduce cost // Hydrocarbon Processing. 1981. N 9. P. 131–133.

62. Chung D. D. L. Composite Materials: Science and Applications. London : Springer Verlag London Limited, 2010. 349 p. URL: https://www.academia.edu/36174278/Composite_Materials_Science_and_Applications (дата звернения: 13.12.2021).

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Перелік умовних позначень і скорочень.....	4
1. Проблематика розроблення контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон.....	5
1.1. Дослідження ретроспективи конструктивно-технологічного оформлення контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон	5
1.2. Методика дослідження конструктивно-технологічного оформлення контактних і допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон	6
2. Контактні пристрої тепломасообмінних колон.....	7
2.1. Насадки тепломасообмінних колон.....	7
2.1.1. Формування класифікаційних ознак насадок тепломасообмінних колон	7
2.1.2. Класифікація насадок	7
2.1.3. Кільцеві насадки	21
2.1.4. Насадки з поверхнею другого порядку	30
2.1.5. Штамповані насадки.....	36
2.1.6. Рухлива насадка	51
2.2. Тарілки тепломасообмінних колон.....	65
2.2.1. Формування переліку тарілок тепломасообмінних колон.....	65
2.2.2. Ковпачкові тарілки	65
2.2.3. Клапанні тарілки	80
2.2.4. Штамповані тарілки	104
2.2.5. Похилі тарілки	124
2.3. Комбіновані контактні пристрої тепломасообмінних колон	133
3. Допоміжні пристрої тепломасообмінних колон	140
3.1. Формування переліку допоміжних пристроїв тепломасообмінних колон	140
3.2. Пристрої для розподілу й перерозподілу важкої фази	140
3.3. Пристрої для розподілу й перерозподілу легкої фази	153
3.4. Переливні пристрої тарілок.....	158
3.5. Опорні пристрої тарілок	169
3.6. Вбудовані сепаратори	178
Висновки та рекомендації	185
Перелік посилань.....	186

Наукове видання

Мікульонок Ігор Олегович

**КОНТАКТНІ ТА ДОПОМІЖНІ ПРИСТРОЇ
ТЕПЛОМАСООБМІННИХ КОЛОН**

Монографія

В авторській редакції

Мікульонок Ігор Олегович



1986 року з відзнакою закінчив факультет хімічного машинобудування Київського ордена Леніна політехнічного інституту імені 50-річчя Великої Жовтневої соціалістичної революції за спеціальністю «Машини та апарати хімічних виробництв» та одержав кваліфікацію інженера-механіка.

1995 року здобув другу вищу освіту (патентознавець-маркетолог).

Натепер працює на посаді професора кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Доктор технічних наук (2010), професор (2011), старший науковий співробітник (2015).

Заслужений винахідник України (2009), відмінник освіти (2015).

Відзначений нагрудними знаками «Винахідник СРСР» (1990) і «Творець» (2009), медаллю Всесвітньої організації інтелектуальної власності «За винахідництво» (2016).

Автор і співавтор тисячі двохсот винаходів і корисних моделей, понад двадцяти монографій, а також близько сотні підручників, навчальних посібників і навчально-методичних матеріалів.