Технічні науки

УДК 66.048.3.069.82(048.83)

**Мікульонок Ігор Олегович**
*доктор технічних наук, професор*
*Національний технічний університет України*
*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**Микулёнок Игорь Олегович**
*доктор технических наук, профессор*
*Национальный технический университет Украины*
*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*
**Mikulionok Ihor**
*Doctor of Technical Sciences, Professor*
*National Technical University of Ukraine*
*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Андреєв Ігор Анатолійович**
*кандидат технічних наук, доцент*
*Національний технічний університет України*
*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**Андреев Игорь Анатолиевич**
*кандидат технических наук, доцент*
*Национальный технический университет Украины*
*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*
**Andreiev Ihor**
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*
*National Technical University of Ukraine*
*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Орел Олексій Юрійович**
*студент*
*Національного технічного університету України*
*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**Орел Алексей Юрьевич**
*студент*
*Национального технического университета Украины*
*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*
**Orel Olexii**
*Student of the*
*National Technical University of Ukraine*
*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Чайківський Костянтин Вікторович**
*студент*
*Національного технічного університету України*
*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**Чайковский Константин Викторович**
*студент*
*Национального технического университета Украины*
*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*
**Chaikivskyi Kostiantyn**
*Student of the*
*National Technical University of Ukraine*
*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

# ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ КОНТАКТНИХ ТАРІЛОК МАСООБМІННИХ КОЛОН

# ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОНТАКТНЫХ ТАРЕЛОК МАССООБМЕННЫХ КОЛОНН

# PERSPECTIVE DESIGNS OF CONTACT PLATES OF MASS-TRANSFER COLUMNS

***Анотація.*** *Запропоновано перспективні конструкції високоефективних барботажних контактних тарілок масообмінних колонних апаратів. Виконано критичний аналіз нових конструкцій ковпачкових і ситчастих тарілок, запатентованих співробітниками й студентами КПІ ім Ігоря Сікорського.*

***Ключові слова:*** *масообмінний апарат, контактна тарілка, барботаж, конструкції.*

***Аннотация.*** *Предложены перспективные конструкции высокоэффективных барботажных контактных тарелок массообменных колонных аппаратов. Выполнен критический анализ новых конструкций колпачковых и ситчатых тарелок, запатентованных сотрудниками и студентами КПИ им. Игоря Сикорского*

***Ключевые слова:*** *массообменный аппарат, контактная тарелка, барботаж, конструкции.*

***Summary.*** *Perspective designs of highly effective bubbling contact plates of mass-exchanged columned apparatuses are proposed. The critical analysis of new designs of the cap-type and sieve plates patented by employees and students of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute is made.*

***Key words:*** *mass-transfer apparatus, contact plate, bubbling, designs.*

Тарілчасті колонні апарати є одним з найбільш розповсюджених видів тепломасообмінного обладнання хімічних, нафтопереробних, харчових та багатьох інших виробництв. При цьому серед різноманітних конструкцій тарілчастих колон як зі зливальними (переливними) пристроями, так і без них, виділяються колони з барботажними (зокрема ковпачковими, ситчастими й провальними) тарілками, що забезпечують високу ефективність роботи в широкому діапазоні навантажень по важкій і легкій фазах, а також співвідношення густин оброблюваних фаз [1–3]. При цьому за багатьма показниками тарілчасті колонні апарати не лише не поступаються, а й навіть перевершують більш прості насадкові колони [4–7].

Незважаючи на високу ефективність і надійність існуючих барботажних контактних тарілок масообмінних колон, що добре зарекомендували себе під час оброблення найрізноманітніших середовищ [8], протягом останніх десятиліть тривають досить активні пошуки шляхів удосконалення їх конструкцій. Насамперед, це можна пояснити прагненням дослідників і проектувальників розробити конструкції не спеціалізованих, а універсальних контактних тарілок, що надасть змогу ефективно обробляти безліч середовищ із різними властивостями.

При цьому варто зазначити, що останнім часом крім різноманітних чорних і кольорових металів і сплавів для виготовлення як тарілок у цілому, так і їхніх елементів (передусім контактних) все частіше застосовують різноманітні полімерні матеріали, передусім композиційні, властивості яких (а отже й виготовлених з них виробів) можна прогнозувати на етапі розроблення їхнього складу [9–11].

Далі розглянуто вдосконалені конструкції барботажних контактних тарілок масообмінних колон, запропоновані дослідниками й студентами

Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

У патенті [12] запропоновано конструкцію тарілки спрощеної конструкції та підвищеного ступеня диспергування легкої фази під час проходження нею шару важкої фази, що збільшує питому поверхню фаз на тарілці, а отже і ефективність тарілки та колони в цілому.

Тарілка масообмінної колони містить основне горизонтальне полотно 1 з патрубками 2 для проходу легкої фази, розміщені над ними ковпачки 3 з прорізами та/або щілинами 4 в їхній нижній частині, а також розташоване паралельно основному горизонтальному полотну 1 додаткове перфороване горизонтальне полотно 5, при цьому ковпачки розташовані в отворах 6 додаткового перфорованого горизонтального полотна 5, встановленого над прорізами та/або щілинами 4 ковпачків 3 (рис. 1).

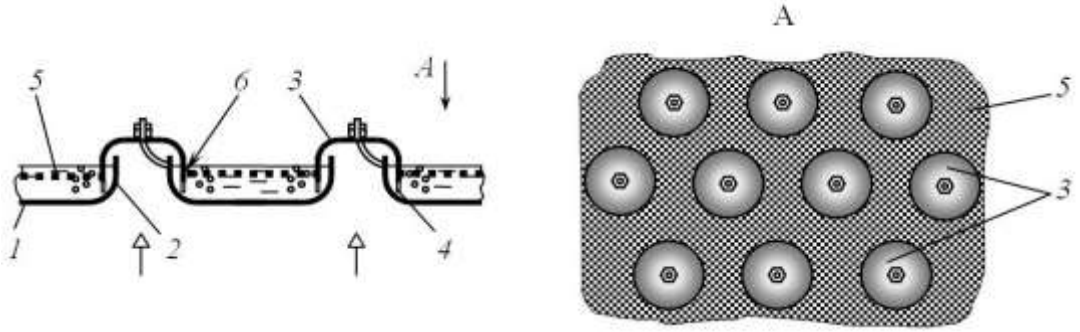


**Рис. 1. Схема будови полотна тарілки згідно з пат. України № 129958 U [12]**

Під час роботи апарата важка фаза рухається по основному горизонтальному полотну 1 і додатковому перфорованому горизонтальному полотну 5, а легка – з підтарілкового простору крізь патрубки 2 проходить під ковпачки 3 і далі крізь їхні прорізи та/або щілини 4 диспергується в об'ємі важкої фази, що рухається під додатковим перфорованим горизонтальним полотном 5. Після цього легка фаза додатково диспергується в об'ємі важкої

фази, що рухається над додатковим перфорованим горизонтальним полотном 5.

У патенті [13] запропоновано тарілку, яка забезпечує бризкоуловлювання, а отже унеможливлює небажаний частковий перехід важкої фази на верхню тарілку, що поліпшує умови масопередачі в апараті. При цьому також підвищується надійність фіксації ковпачків на горизонтальному полотні тарілки.

Тарілка масообмінного апарата містить горизонтальне полотно 1 з розбортованими вгору отворами 2 з утворенням газових патрубків 3 та спрямованих вгору співвісними з ними кільцевими виступами 4, на яких своїми основами 5 з прорізами та/або щілинами 6 зафіксовані ковпачки 7, над якими з можливістю взаємодії з ними встановлено перфороване горизонтальне полотно 8 (рис. 2).

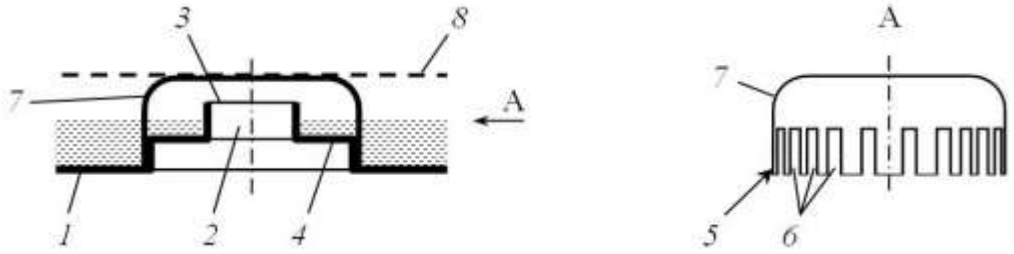


**Рис. 2. Схема будови полотна тарілки згідно з пат. України № 130245 U [13]**

Під час роботи масообмінного апарата важка фаза рухається по горизонтальному полотну 1 тарілки, а легка – проходить крізь газові патрубки 3, кільцевий простір між ними й ковпачками 7, їхні вертикальні прорізи та/або щілини 6 і далі – крізь шар важкої фази, що рухається по горизонтальному полотні 1. Встановлене над ковпачками 7 перфороване горизонтальне полотно 8 затримує краплі важкої фази, що уносяться потоком легкої фази в напрямку верхньої тарілки (не показана), після чого затримані

краплі поступово укрупнюються й повертаються в потік важкої фази, що рухається по горизонтальному полотну 1 тарілки, що істотно поліпшує умови масопередачі. Одночасно перфороване горизонтальне полотно 8 надійно фіксує всі ковпачки 7 на горизонтальному полотні 1, що підвищує надійність тарілки та апарата в цілому.

У патенті [14] описано контактну тарілку, конструкція якої забезпечує саморегулювання прохідного перерізу по легкій фазі та істотно знижує рівень бризковинесення, що розширює технологічні можливості тарілки та масообмінного апарата в цілому.

Контактна тарілка містить горизонтальне полотно 1 з патрубками 2 для проходу легкої фази, а також закріплений на кожному з них зігнутий стрижень 3 з розташованим на його вертикальній ділянці 4 рухомим у вертикальному напрямку ковпачком 5 з центральним отвором 6 у кришці 7 та прорізами та/або щілинами 8 у нижній частині, при цьому на торцях вертикальних ділянок 4 зігнутих стрижнів 3 встановлено перфороване горизонтальне полотно 9 (рис. 3).

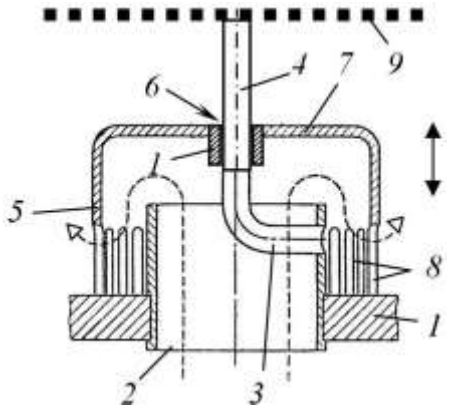


**Рис. 3. Схема будови полотна тарілки згідно з пат. України № 134565 U [14]**

Під час роботи масообмінного апарата важка фаза (рідина) рухається по горизонтальному полотну 1, а легка (газ, пара) потрапляє в газові патрубки 2,

після чого проходить прорізи та/або щілини 8 ковпачка 5 і барботує крізь шар важкої фази на горизонтальному полотні 1.

У разі збільшення навантаження по легкій фазі ковпачки 5 під дією тиску з боку легкої фази поступово піднімаються по вертикальних ділянках 4 зігнутих стрижнів 3, збільшуючи прохідний переріз між горизонтальним полотном 1 та ковпачками 5. У разі зниження зазначеного навантаження ковпачки 5 поступово опускаються. У такий спосіб здійснюється саморегулювання пропускної здатності тарілки по легкій фазі.

Встановлення на торцях вертикальних ділянок 4 зігнутих стрижнів 3 перфорованого горизонтального полотна 9 забезпечує ефективне бризкоуловлювання, що істотно підвищує ефективність тарілки та масообмінного апарата в цілому.

У патенті [15] описано контактну тарілку, конструкція якої забезпечує регулювання прохідного перерізу між ковпачками й полотном тарілки, що забезпечує високу ефективність процесу масопередачі в широкому діапазоні навантажень тарілки по оброблюваних фазах.

Контактна тарілка масообмінного апарата містить горизонтальне полотно 1 з патрубками 2 для проходження легкої фази та розташованими над ними ковпачками 3 з вертикальними прорізами та/або щілинами 4 в їхніх нижніх частинах 5, а також встановлене над ковпачками 3 перфороване горизонтальне полотно 6, при цьому ковпачки 3 нерухомо закріплені на перфорованому горизонтальному полотні 6, встановленому з можливістю регулювання відстані *h* між ним і горизонтальним полотном 1 (рис. 4).

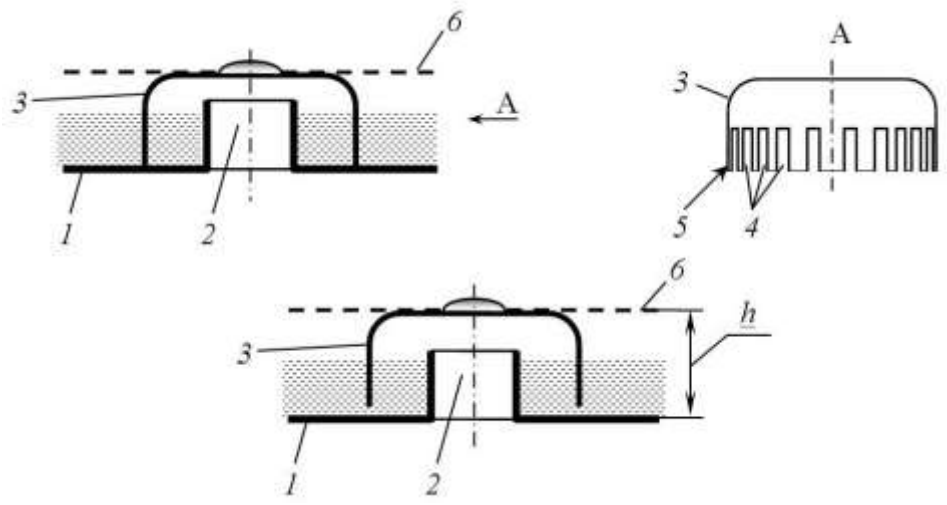


**Рис. 4. Схема будови полотна тарілки згідно з пат. України № 134566 U [15]**

Під час роботи масообмінного апарата важка фаза рухається по горизонтальному полотну 1 тарілки, а легка – проходить крізь патрубки 2, кільцевий простір між ними й ковпачками 3, їхні вертикальні прорізи та/або щілини 4 і далі – крізь шар важкої фази, що рухається по горизонтальному полотні 1. Встановлене над ковпачками 3 перфороване горизонтальне полотно 6 затримує краплі важкої фази, що уносяться потоком легкої фази в напрямку верхньої тарілки (не показана), після чого затримані краплі поступово укрупнюються й повертаються в потік важкої фази, що рухається по горизонтальному полотну 1 тарілки, що істотно поліпшує умови масопередачі.

У разі зміни співвідношення навантажень по оброблюваних фазах внаслідок зміни відстані *h* між перфорованим горизонтальним полотном 6 і горизонтальним полотном 1 можна регулювати прохідний переріз між ковпачками 3 і полотном тарілки 1, що забезпечує високу ефективність процесу масопередачі.

Для забезпечення підвищеного часу контакту оброблюваних фаз між собою, що підвищує ефективність процесу масопередачі на тарілці та в

апараті в цілому, запропоновано вдосконалену конструкцію ковпачків [16].

У зазначеній тарілці, що містить горизонтальне полотно 1 з патрубками 2 для проходження легкої фази та розташованими над ними ковпачками 3 з вертикальними прорізами та/або щілинами 4 в їхніх нижніх частинах 5, при цьому верхню частину кожного прорізу та/або кожної щілини 4 споряджено відігнутою назовні пелюсткою 6, яку виконано скрученою по довжині. Також пелюстки 6 можуть бути виконані скрученими на однаковий кут в одному напрямку, а прорізи та/або щілини 4 виконані трапецієподібними з більшою основою з боку горизонтального полотна 1 (рис. 5).

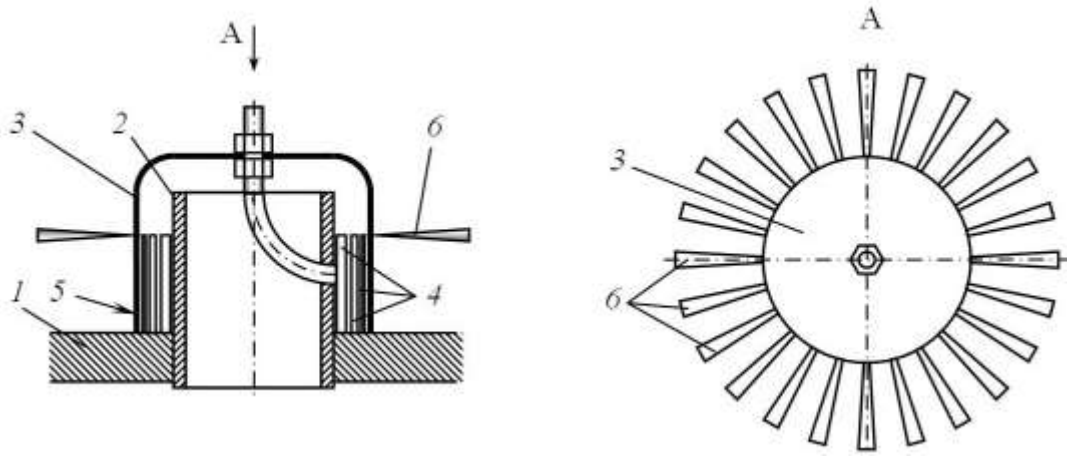


**Рис. 5. Схема будови ковпачка тарілки згідно з пат. України № 134837 U [16]**

Під час роботи масообмінного апарата з пропонованими тарілками важка фаза рухається по горизонтальному полотну 1 тарілки, а легка – проходить крізь патрубки 2, кільцевий простір між ними й ковпачками 3, їхні вертикальні прорізи та/або щілини 4 і далі – крізь шар важкої фази, що рухається по горизонтальному полотні 1. Внаслідок виконання пелюсток 6 скрученими по довжині здійснюється відхилення потоку бульбашок легкої фази від вертикалі, що збільшує час її перебування у важкій фазі.

Виконання пелюсток 6 скрученими на однаковий кут в одному напрямку

забезпечує рівномірне закручування потоку легкої фази, що також інтенсифікує процес масопередачі, а виконання прорізів та/або щілин 4 трапецієподібними з більшою основою з боку горизонтального полотна 1 забезпечує більшу витрату потоку легкої фази з боку верхньої поверхні горизонтального полотна 1. Також трапецієподібні пелюстки 6 перекривають більшу поверхню, ніж прямокутні, що також сприяє більш ефективному диспергуванню легкої фази.

Також потрібно зазначити, що появі нових конструкцій контактних тарілок масообмінних апаратів сприяє не лише великі можливості, що надаються дослідникам і конструкторам засобами числового моделювання, але й досягнення матеріалознавства й технології, які можуть оперативно реагувати на потребу виготовлення елементів хімічного обладнання, призначеного для обробки найрізноманітніших речовин та їхніх сумішей.

Застосування на практиці удосконалених контактних тарілок масообмінних апаратів дає змогу підвищити ефективність проведення таких технологічних процесів як ректифікація, абсорбція, десорбція, екстракція, а також підвищити надійність технологічного обладнання. Для ретельного обґрунтування ефективності роботи таких апаратів планується виконати відповідні експериментальні дослідження.

## Література

1. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В 2-х кн. Москва : Химия, 1981. 812 с.
2. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с.

3. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с.
4. Микулёнок И. О. Классификация насадок массообменных аппаратов // Химическая промышленность. 2011. Т. 88, № 2. С. 67–74.
5. Методы интенсификации процессов тепло- и массообмена в колонных аппаратах с насадкой / А. С. Пушнов, А. С. Севрюков, М. Г. Беренгартен, И. О. Микулёнок // Химическая техника. 2013. № 11. С. 39–43.
6. 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.
7. Mikulionok I. O. Ring packing contact elements of mass transfer devices (review of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 54, Nos 1–2. P. 125–129. DOI: 10.1007/s10556-018-0450-y.
8. 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, Nos 5–6. P. 410–417. DOI: 10.1007/s10556-018-0495-y.
9. Микулёнок И. О. Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей // Пластические массы. 2012. № 9. С. 29–38.
10. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
11. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 324 с.
12. Пат. 129958 U Україна МПК(2006.01) B01D 3/18. Тарілка масообмінної колони / І. А. Андреєв, І. О. Мікульонок, І. М; Стеблецький; заявник і

патентовласник – вони ж. № u 201804231; заявл. 17.04.2018; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22.

13. Пат. 130245 U Україна МПК(2006.01) B01D 3/20. Тарілка масообмінного апарата / І. А. Андреєв, І. О. Мікульонок, І. М; Стеблецький; заявник і патентовласник – вони ж. № u 201806989; заявл. 21.06.2018; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22.
14. Пат. 134565 U Україна МПК(2006.01) B01D 3/20. Контактна тарілка масообмінного апарата / І. О. Мікульонок, І. А. Андреєв, К. В. Чайківський; заявник і патентовласник – вони ж. № u 201812364; заявл. 12.12.2018; опубл. 27.05.2019, Бюл. № 10.
15. Пат. 134566 U Україна МПК(2006.01) B01D 3/20. Контактна тарілка масообмінного апарата / І. А. Андреєв, І. О. Мікульонок, К. В. Чайківський; заявник і патентовласник – вони ж. № u 201812365; заявл. 12.12.2018; опубл. 27.05.2019, Бюл. № 10.
16. Пат. 134837 U Україна МПК(2006.01) B01D 3/20. Тарілка масообмінного апарата / І. О. Мікульонок, І. А. Андреєв, О. Ю. Орел; заявник і патентовласник – вони ж. № u 201812363; заявл. 12.12.2018; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 11.