

**МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА**

**КОНСТРУКЦІЇ КІЛЬЦЕВИХ НАСАДОК МАСООБМІНИХ
АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ І СПОРІДНЕНИХ ВИРОБНИЦТВ**

УДК 66.069.833:[66.048.3+66.071.2+66.061.35](048.83)

Мікульонок І.О., д.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тел. (044) 204-84-30

Анотація – розроблено класифікацію кільцевих насадок масообмінних апаратів харчових і споріднених виробництв. Розглянуто приклади конструктивного оформлення вітчизняних і закордонних неупорядкованих і впорядкованих кільцевих насадок, а також проаналізовано їхні переваги й недоліки.

Ключові слова – масообмінний апарат, кільцева насадка, класифікація, конструкція.

Постановка проблеми. Насадкові апарати є одними з найбільш розповсюджених видів масообмінного обладнання харчових, хімічних, нафтохімічних, нафтопереробних і деяких інших виробництв. На відміну від тарілчастих і плівкових масообмінних апаратів конструкція насадкових апаратів не передбачає наявності пристроїв для розподілу оброблюваних фаз по кожному окремому контактному елементу. Крім того, насадкові контактні елементи зазвичай достатньо дешеві, а також прості у виготовленні та експлуатації [1–6].

Аналіз останніх досліджень. Одними з найбільш простих, але достатньо ефективних контактних елементів насадкових масообмінних апаратів є кільцеві насадки й, насамперед, запропоновані понад сторіччя тому німецьким хіміком-технологом Фрідріхом Августом Рашигом (також іменованим Фрицем Рашигом) (Friedrich August Raschig (Fritz Raschig); 1863–1928) металеві або керамічні кільцеві контактні елементи, названі на його честь «кільцями Рашига» (Raschig rings) і призначені для заповнення ними колонних апаратів з метою фракційної дистиляції органічних речовин у масообмінних колонах.

Формулювання основних цілей. Традиційні кільця Рашига представляють собою прямий коловий кільцевий циліндр, зовнішній

діаметр якого дорівнює його висоті (тобто із круглими основами, перпендикулярними його поздовжній осі; рис. 1).

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

Основна частина. Кільця Рашига, як і сідла Берля, належать до першого покоління насадок, активне використання яких тривало з 1895 по 1950 р. Для другого покоління насадок (кінець 1950-х – початок 1970-х р.р.) характерне використання кілець Палля й сідел Інталокс, для третього (кінець 1970-х – 1990-і р.р.) – кілець CMR, Nutter і IMTR. До четвертого ж покоління насадок, що почалося з 1990-х рр., належать суперкільця Рашига (Raschig super-rings) [7]. Однак «кільця» останніх двох поколінь насадки в буквальному значенні цього слова не є кільцями, оскільки представляють собою насадки, виготовлені штампуванням з переважно прямокутної металевої або полімерної (пластмасової) заготовки із численними надрізнаними й вигнутими фрагментами. Тому надалі розглядатимемо лише дійсно кільцеві насадки, основу яких становить замкнена оболонка із двома відкритими основами (за винятком оболонок-багатогранників із плоскими або майже плоскими гранями, наприклад, згідно з міжнародними заявками № WO2005/021152A1, WO03/074168A1, пат. України № 1321 U, 1675 U, 1724 U, 2229 U, 3069 U, 12700 U, Росії № 2456070 C2).



Рис. 1. Керамічні кільця Рашига.

Незважаючи на широке поширення зазначених типів кільцевих насадок, розробниками нової техніки й технології пропонуються все нові конструкції кільцевих насадок з різноманітних матеріалів [5]. Аналіз наявних конструкцій дав змогу здійснити класифікацію кільцевих насадок за такими основними групами показників:

- способом укладання у контактній частині апарата;
- еквівалентним діаметром;

- матеріалом;
- зовнішньою формою;
- конструкцією;
- ступенем суцільності оболонки;
- ступенем рухомості конструктивних компонентів насадки один відносно одного;
- можливістю регулювання питомої поверхні;
- можливістю регулювання насипної щільності;
- реалізованою гідродинамікою оброблюваних фаз;
- можливістю підтримки заданої температури.

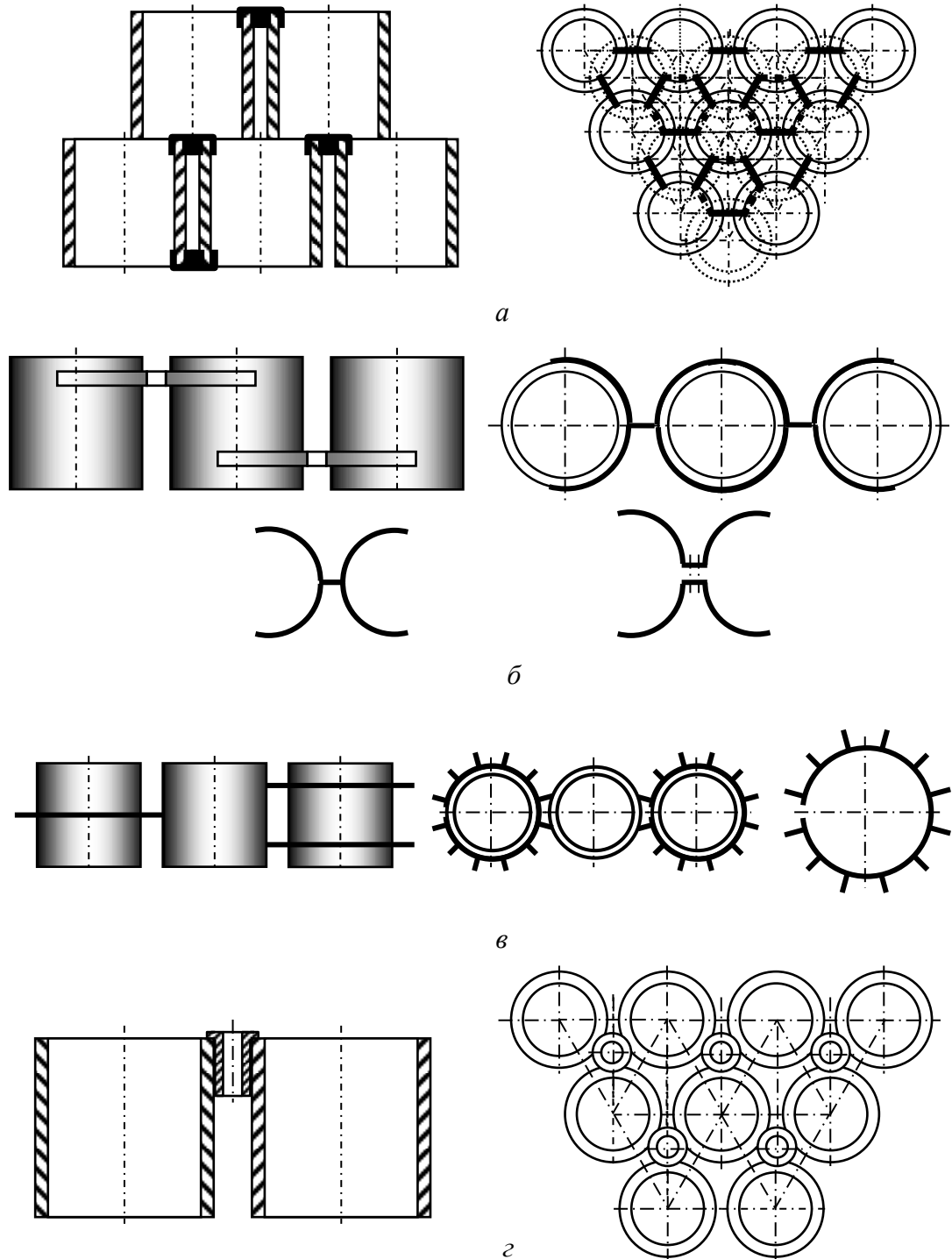
За способом укладання в апараті розрізняють неупорядковану (нерегулярну) і упорядковану (регулярну) насадку. Непорядковане завантаження використовують для насадок довільного розміру, а упорядковану – найчастіше для великих і середніх елементів насадки (еквівалентний діаметр не менше 50 мм). Переваги регулярної насадки – менший гідравлічний опір і великі швидкості легкої фази, а основні недоліки – відносна складність операцій завантаження й вивантаження (особливо для великогабаритних апаратів) і нерівномірність потоків фаз по поперечному перерізу контактної частини (аж до байпасування фаз поблизу стінок корпусу внаслідок зниженого гідравлічного опору [3, 6]).

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 розроблено конструкції кільцевих насадок, призначені лише як упорядкована насадка (пат. України № 6504 U, 36110 U). При цьому запропоновано насадку з проточною й розточкою з протилежних торців елемента для можливості з'єднання по довжині декількох елементів і в такий спосіб зміни довжини складеного насадкового елемента (пат. України № 106349 U).

Для забезпечення певної відстані між сусідніми в межах кожного шару елементами упорядкованої насадки запропоновано спеціальний пристрій у вигляді m-подібної скоби (пат. України № 75745 U). Розроблені й інші аналогічні конструкції (пат. України № 107206 U, 107208 U, 107209 U (рис. 2)). Із 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. України № 42586 U).

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 збільшується питома поверхня насадки, але одночасно зменшується вільний об'єм, а,

отже, й зростає гідравлічний опір. Тому малу насадку часто використовують для проведення масообмінних процесів за підвищеного тиску, коли втрата напору в апараті незначна порівняно з робочим тиском.



a – пат. України № 75745 U; *б* – пат. України № 107206 U;
в – пат. України № 107208 U; *г* – пат. України № 107209 U.

Рис. 2. Пристрої для забезпечення потрібної відстані між сусідніми в межах кожного шару елементами впорядкованої кільцевої насадки.

Під час вибору розміру насадки для забезпечення ефективної й рівномірної гідродинаміки фаз у шарі насадки необхідно дотримуватися виконання співвідношення еквівалентних діаметрів апарата й елементів насадки, яке має бути не менше десяти [6].

За матеріалом кільцеві насадки розділяють на виготовлені з кераміки, порцеляни, напівпорцеляни, скла, вуглецю, керметів (кераміко-металевих матеріалів), металів та їхніх сплавів, полімерів, а також пластмас та інших композиційних матеріалів [5].

Так, разом з традиційними керамічними й металевими насадками в останні роки набувають поширення полімерна й пластмасова насадка, що вирізняється високими експлуатаційними властивостями й виготовляється переважно з поліолефінів (у тому числі поліпропілену, наповненого скловолокном), фторполімерів, поліефірсульфону й поліфеніленсульфіду [8]. Завдяки високим технологічним властивостям полімерних матеріалів з них можна виготовляти насадки найрізноманітнішої форми, наприклад, литтям під тиском або екструзією.

Також запропоновано вуглецеву кільцеву насадку із зовнішнім діаметром від 13 до 76 мм, що вирізняється високою міцністю, тепловою й хімічною стійкістю, великим терміном служби, а також низькою насипною густиною (від 333 до 602 кг/м³) і коефіцієнтом теплового розширення [9].

Матеріал, з якого виготовлено насадку, може бути суцільним і пористим. В останньому випадку збільшується його питома поверхня й змочуваність, однак зростає схильність до забруднення.

Також розроблено насадки, повністю або частково виготовлені з декількох матеріалів – однакової або різної природи. При цьому вони можуть бути виконані 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 найпоширеніші насадки у вигляді прямого кругового циліндра (наприклад, кільця Рашига й Палля), напівкосого й косого кругового циліндра (з однією або обома основами, виконаними під гострим кутом до поздовжньої осі елемента), прямого еліптичного циліндра (у тому числі й скрученого по довжині – пат. України № 1738 U), однополого гіперболоїда (пат. України № 2396 U), а також у вигляді оболонки складної форми (пат. РФ № 107963 U1, України № 2449 U, 83712 U).

За конструкцією елементи насадки можуть представляти собою як окремі деталі, так і складальні одиниці, що складаються з декількох рухомих або нерухомих одна відносно одної деталей. Виконання елементів з декількох деталей зазвичай спрямовано на збільшення питомої поверхні насадки й зміну гідродинаміки оброблюваних фаз

(пат. РФ № 2465039 С1, 2517747 С1, 2524971 С1, України № 97216 U, 97518 U, 99625 U, 99875 U, 105171 U).

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 Палля). Зазначені наскрізні канали можуть бути утворені або видаленням фрагментів оболонки, або її надрізанням і відгинанням надрізованих елементів у вигляді пелюсток або смужок.

До першого типу можна віднести насадки згідно з пат. РФ № 107963 U1, 148733 U1, 160198 U1, 2370311 С1, України № 1738 U, 2396 U, 2449 U, 3940 U, 70776 A, 83712 U, 90390 U, 99625 U, 105171 U, 105236 U, 105266 U, 105267 U, Китаю № 105163844A, Тайваню № 231973B, 280805B, європейської заявки № 0579234A1, а до другого – пат. РФ № 42767 U1, 45650 U1, 50869 U1, 2290992 С1, Китаю № 202962480U, 203525723U, 204865856U.

У більшості випадків додаткові поверхні або турбулізуювальні елементи виконують з боку внутрішньої поверхні оболонки. У той же час запропоновано й конструкції з поздовжніми прямолінійними або гвинтовими зовнішніми ребрами, пазами й рифлями різних форм і розмірів, які в разі регулярної насадки також дистанціюють елементи між собою, забезпечуючи подібні режими руху фаз як усередині, так і зовні елементів (наприклад, пат. Іспанії № 1109280, України № 40347 A, РФ № 148733 U1, 160198 U1). Однак наявність рифлів нерідко не тільки збільшує питому поверхню та інтенсифікує перемішування оброблюваних фаз, скільки приводить до ускладнення конструкції насадки й збільшення її гідравлічного опору (пат. України № 72542 U), а також утворення застійних зон за умови певної орієнтації насадки в просторі (пат. РФ № 2370311 С1).

Елементи насадки з вікнами на бічній поверхні можна поділити на елементи з незмінною геометрією вікон і на елементи з регульованою геометрією вікон. До останніх належить конструкція за пат. України № 107957 U, усередині оболонки якої розміщено зігнуту в кільце пружну стрічку із прорізними в ній і відігнутими всередину пелюстками. При цьому поворотом стрічки відносно оболонки елемента можна змінювати прохідний переріз вікон у його стінці.

За ступенем рухомості конструктивних компонентів насадки один відносно одного розрізняють насадку з нерухомими (пат. України № 3940 U) і рухомими компонентами (а. с. СРСР № 1678437, 1703171, пат. України № 6504 U, 110926 U (рис. 3)). При цьому рухомі компоненти сприяють додатковому диспергуванню й перемішуванню фаз, а також ефективному обробленню забруднених середовищ.

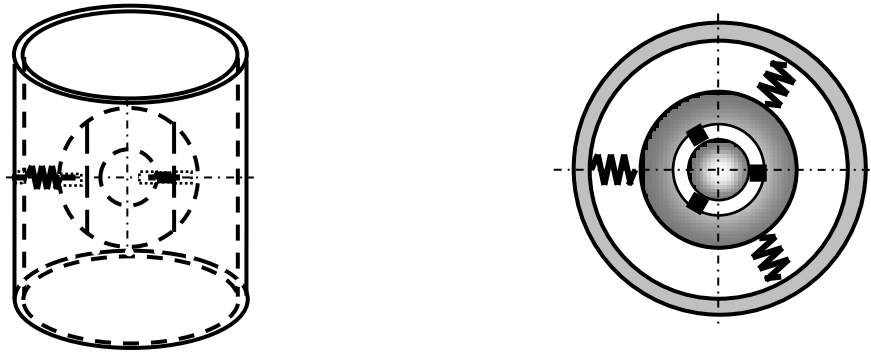


Рис. 3. Елемент насадки за пат. України № 110926 U.

За можливістю регулювання питомої поверхні розрізняють насадку з незмінною й регульованою питомою поверхнею. До останньої можна віднести насадку згідно з пат. України № 97233 U, робота якої заснована на використанні в її конструкції деталей з феромагнітного матеріалу з певною точкою Кюрі, при досягненні якої поверхня насадки стрибкоподібно збільшується (рис. 5).

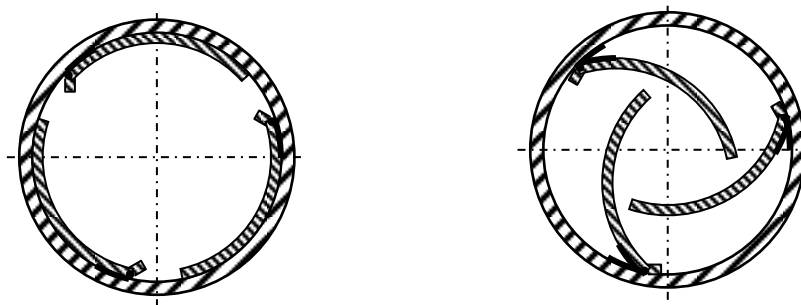


Рис. 5. Елемент насадки за пат. України № 97233 U.

За можливістю регулювання насипної густини розрізняють насадку з незмінною й регульованою насипною густиною. Так, до насадки з регульованою насипною густиною належить насадка у вигляді прямої циліндричної оболонки з основами, закритими знімними кришками (пат. України № 105266 U). Заповнюючи закриту кришками оболонку певним об'ємом сипучого матеріалу або рідини, можна в широких межах змінювати масу елемента та в такий спосіб – насипну густину насадки в цілому.

При цьому залежно від співвідношення густин матеріалу насадки й оброблюваних фаз, зокрема важкої фази, може змінюватися характер поведінки насадки в контактній частині масообмінного апарата. Якщо густина матеріалу насадки менша за густину важкої фази, то елементи насадки за умови їхнього вільного розміщення в контактній частині апарата під час його роботи починають рухатися, що сприяє ефективному перемішуванню фаз [5].

За реалізованою гідродинамікою фаз розрізняють насадки з

плівковим та плівково-барботажним режимами. До елементів першого типу можна віднести більшість кільцевих насадок, а до другого – насадки, у яких реалізується механізм масопередачі, характерний як для традиційних насадок, так і для тарілчастих колон.

Наприклад, згідно з пат. України № 105236 U у прямій циліндричній оболонці поперек її поздовжньої осі встановлено перфоровану перегородку, при цьому цю насадку використовують як упорядковану. Згідно ж з пат. України № 105267 U щонайменше одну основу прямої циліндричної оболонки закрито знімною кришкою із зануреним углиб оболонки перфорованим дном. В обох випадках на перфорованих елементах насадок (поперечній перегородці та одній або двох кришках) реалізується барботажний режим взаємодії оброблюваних фаз. Так, на рис. 4 наведено конструкцію елемента, що поєднує переваги як традиційної насадки, так і тарілки масообмінного апарата (пат. України № 110925 U (рис. 4)).

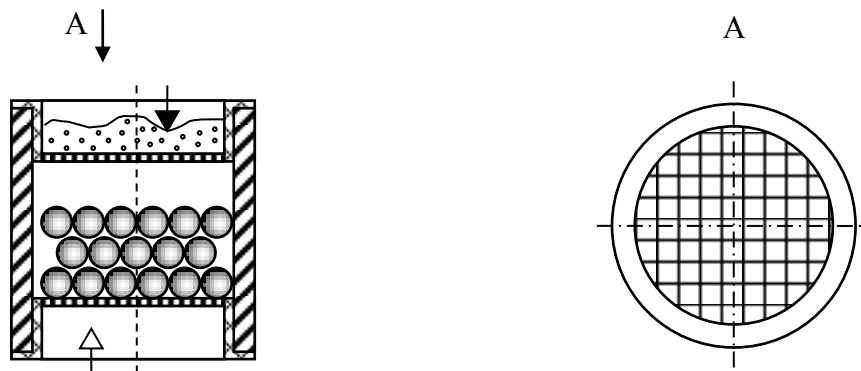


Рис. 4. Елемент насадки за пат. України № 110925 U.

За можливістю підтримки заданої температури розрізняють традиційні елементи насадки без термостабілізації, а також елементи з термостабілізацією, що забезпечують майже постійну температуру, що відповідає температурі проведення масообмінного процесу.

Так, при розміщенні насадки з феромагнітного матеріалу (або з кермету, до складу якого входить металевий феромагнетик) із точкою Кюрі, яка відповідає температурі проведення масообмінного процесу, в електромагнітному полі феромагнетик внаслідок індукції розігрівається. При досягненні насадкою температури, яка відповідає точці Кюрі, феромагнетик втрачає магнітні властивості й перестає нагріватися. За подальшого охолодження він знову набуває магнітних властивостей і знову починає нагріватися. У такий спосіб підтримується майже постійна температура насадки та оброблюваних в апараті фаз (пат. України № 52742).

Також розроблені конструкції достатньо технологічних і надійних в експлуатації насадок, що виготовляються штампуванням з

тонкостінних листових заготовок (пат. Китаю № 203525723U, Тайваню № 288992B), при цьому нерідко навіть без утворення відходів (пат. України № 28581 U, 97216 U, 97518 U, 105168 U).

Висновки. Як бачимо, незважаючи на більш ніж столітній вік кільцевих насадок, їхні конструкції продовжують удосконалюватися. При цьому розробниками пропонуються насадки різних типорозмірів, виготовлені з найрізноманітніших матеріалів.

У цій статті запропоновано класифікацію й виконано аналіз конструктивного оформлення кільцевих насадок масообмінних апаратів. Досягнення в області матеріалознавства й технології дає змогу кільцевим насадкам і сьогодні успішно конкурувати з іншими типами контактних пристроїв масообмінного обладнання, призначеного для розділення різноманітних рідких однорідних сумішей.

Література:

1. Рамм, В.М. Абсорбция газов. Москва: Химия, 1976. 655 с.
2. Мишин, В.П., Кацашвили, В.Г. Зарубежные насадочные устройства массообменной аппаратуры: обзор. информ. Москва: ЦИНТИ Химнефтемаш, 1982. 20 с. (Серия ХМ-1 «Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение»).
3. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / под ред. В.Г. Айнштейна. Ч.1. Москва: Логос, Высш. шк., 2002. 912 с.
4. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / А.М. Каган, А.Г. Лаптев, А.С. Пушнов, М.И. Фарахов; под ред. А.Г. Лаптева. Москва: Отечество, 2013. 454 с.
5. 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.
6. Мікульонок, І.О. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 340 с.
7. 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.
8. Plastic Packings Process Data: Raschig GmbH. URL: <http://s341789233.online.de/editor/assets/RASCHIG%20Plastic%20Packings-701.pdf> (дата звернення 01.04.2017).
9. Carbon Raschig Rings: Pyrotek Inc., USA. URL: https://pyrotek-inc.com/documents/datasheets/808_-_Carbon_Raschig_Rings_-_E4.pdf (дата звернення 01.04.2017).

КОНСТРУКЦИИ КОЛЬЦЕВЫХ НАСАДОК МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПИЩЕВЫХ И РОДСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Микулёнок И.О.

Аннотация – разработана классификация кольцевых насадок массообменных аппаратов пищевых и родственных производств. Рассмотрены примеры конструктивного оформления отечественных и зарубежных неупорядоченных и упорядоченных кольцевых насадок, а также выполнен анализ их преимуществ и недостатков.

DESIGNS OF RING PACKING CONTACT ELEMENTS OF MASS-TRANSFER APPARATUSES OF FOOD AND RELATED PRODUCTIONS

I. Mikulionok

Summary

Classification of ring packing contact elements of mass-transfer apparatuses of food and related productions is developed. Examples of a design of domestic and foreign disorder and ordered ring packing contact elements are reviewed, and also the analysis of their advantages and imperfections is made.