

УДК 66.063.62, 62.93

ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНИЙ ВВОД ЕНЕРГІЇ (ДІВЕ) ТА ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЯ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

Ободович О.М.¹, д.т.н., Хоменко В.О.², Сидоренко В.В.³, к.т.н., Степанова О.Є.⁴, к.т.н.¹професор, завідувач відділу Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7213-3118>, e-mail: tdsittf@ukr.net²гол. конструктор Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст 2а, Київ, 03057, Україна, e-mail: xbo1959@gmail.com³с.н.с., старший дослідник, Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-7719>, e-mail: vrangel08@i.ua⁴с.н.с. Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7179-7251>, e-mail: super-olesya2807@ukr.net<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2024.4>

В статті наведено огляд конструктивних особливостей роторно-пульсаційних апаратів в яких реалізується метод дискретно-імпульсного вводу енергії – метод інтенсифікації тепломасообмінних процесів, що сприяє розробці та впровадженню енергозберігаючих технологій в різних галузях промисловості.

The article provides an overview of the design features of rotor-pulsation devices in which the method of discrete-pulse energy input is implemented – a method of intensification of heat and mass exchange processes, which contributes to the development and implementation of energy-saving technologies in various industries

Бібл. 8, рис. 5.

Ключові слова: дискретно-імпульсне введення енергії, роторно-пульсаційний апарат, інтенсифікація тепломасообмінних процесів, енергозберігаючі технології. N – потужність електродвигуна; ω_0 – кутова швидкість; M – моменти сил гідродинамічного опору;

ДІВЕ – дискретно-імпульсний ввід енергії;

РПА – роторно-пульсаційний апарат.

Вступ. Розробка і впровадження нових енергозберігаючих технологій є одним з головних завдань підприємств в різних галузях промисловості.

В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено новий підхід до інтенсифікації тепломасообмінних процесів у гетерогенних системах, в основі якого лежить принципово новий метод дискретно-імпульсного вводу енергії (ДІВЕ), реалізація якого оптимально вирішує питання в багатьох технологічних процесах таких як: диспергування, емульгування, перемішування гомогенізація та ін.

Суть методу ДІВЕ полягає в тому, що енергія яка вводиться в апарат, розподілена дискретно в просторі (по всьому робочому об'єму системи), і в кожному елементі об'єму виділяється ефективна питома потужність у

виділі коротких імпульсів, тобто дискретно в часі. Цей принцип можна реалізувати практично, коли в рідкому середовищі рівномірно розподілити досить велику кількість газових бульбашок, які швидко розширюються і стискаються при періодичних і різких скидах тиску в системі. Система розподілена в рідині пульсуючих бульбашок є трансформатором енергії від зовнішнього джерела (наприклад, компресора), що працює в стаціонарному режимі, в енергію, дискретну за часом і простором. Це забезпечує в будь якій точці робочого об'єму високу питому потужність, виділену в імпульсі. Аномально високе значення швидкостей, прискорень і локальних тисків поблизу міжфазної границі бульбашок зумовлюють появу потужних гідродинамічних факторів: ударних хвиль, розвинутої турбулентності і

т.п., а це, в свою чергу, дає змогу досягти граничних значень інтенсивності подрібнення при менших витратах енергії [1].

Мета ДІВЕ полягає в інтенсифікації тепломасообмінних та гідродинамічних процесів в технологічних середовищах, а також створенні методики їх оптимізації та способів управління.

Ідея ДІВЕ полягає в тому, щоб попередньо стаціонарно і довільним станом розподілену в робочому об'ємі енергію акумулювати в локальних дискретних точках системи і в подальшому імпульсно реалізувати для досягнення необхідних теплофізичних ефектів. Нетрадиційні методи інтенсифікації тепломасообмінних процесів шляхом дискретно-імпульсного введення енергії в дискретні середовища лягли в основу нових технологій отримання емульсій різних видів. В багатьох галузях промисловості та побуті широко застосовуються емульсії різних видів, що зумовлює постійне підвищення вимог до їх якості, у першу чергу, стійкості та однорідності. Тому є висока потреба в розробці високоефективного обладнання та визначення раціональних технологічних режимів при обробці систем типу “рідина-рідина” [2].

Мета роботи. Провести огляд існуючих модифікацій роторно-пульсаційних апаратів (РПА), в яких реалізується метод ДІВЕ, їх конструктивні особливості та галузі застосування.

В інституті технічної теплофізики НАН України було створено обладнання, принцип роботи якого полягає в реалізації методу ДІВЕ, зокрема роторно-пульсаційні апарати (РПА).

Роторно-пульсаційні апарати (РПА) представляють собою високоефективне малогабаритне обладнання для створення однорідних сумішей різних рідин з широкою можливістю їх застосування. За допомогою РПА оптимально вирішуються питання в багатьох технологічних процесах таких як: диспергування, емульгування, перемішування та гомогенізація різних систем, а саме порошкоподібних, рідких, багатокомпонентних, високо та низько в'язких середовищ в багатьох галузях промисловості. Найважливішим показником роботи РПА являється розмір дисперсних частинок емульсії, що отримується після обробки в РПА з механічної суміші взаємно нерозчинних рідин або компонентів, що важко змішуються.

Використання роторно-пульсаційних апаратів найбільш перспективним є в таких галузях промисловості:

1. Целюлозно-паперова – для вирівнювання помелу волокон у паперовій масі, приготування композицій

волокнистих суспензій і диспергування волокнистої суспензії при різних концентраціях маси.

2. Харчова:

- у виробництвах молока і молокопродуктів – для гомогенізації незбираного молока, відновлення сухого молока, приготування йогуртів, плавлених і м'яких сирів;

- при гомогенізації дозволяє досягати рівномірного розподілу жиру, збільшити однорідність продукту, також продукт набуває стійкості до відстоювання вершків і розвитку процесів окислення, збільшується термін зберігання;

- у хлібопекарському виробництві – для приготування тіста із зерна і круп [4];

- у спиртовому виробництві – для мокрого помелу зерна [5];

- для приготування соків, квасу, майонезу, гірчиці, рибних, фруктових та овочевих паст і пюре, переробка ягід і фруктів – на джеми і повидла, овочів і грибів – на ікру.

3. Косметична, парфумерна та фармакологічна – для приготування кремів, вазеліну, мазей, шампунів, бальзамів, лосьйонів, гелів, лікарських препаратів у формі розчину.

4. Сільське господарство – для приготування заміниacza незбираного молока для відкорму молодняка, як з сухого молока, так і зі свіжої рослинної сировини (ріпаку, люпину, сої); переробка грубих харчових відходів при виробництві кормів для тварин, птиці та риби; підвищення ефективності мінеральних і органічних добрив (гною тварин і птишиного посліду).

5. Виробництво будівельних та оздоблювальних матеріалів: приготування рідкої фази клею з сухих компонентів (досягається скорочення циклу приготування до 30 разів); приготування пластифікаторів, мастик, пігментів, водоемульсійних фарб; приготування активованих водоцементних суспензій при виробництві бетону і пінобетону різних модифікацій і призначень.

6. Нафтопереробний: приготування котельного та пічного палив з відходів нафтопродуктів і відпрацьованого масла; приготування, літолу, масел і мастил; приготування водопаливних емульсій (“мазут-вода”, “дизельне паливо-вода”), біопаливних емульсій (“торф-вода-мазут”, дизпаливо); переробки відстою бензо- і нафтоцистерн; виробництва різних модифікацій бітуму.

7. Хімічна промисловість – для виробництва лакофарбових виробів, кислот, миючих засобів, хімікатів,

барвників, чорнил, різних видів технічних розчинів, а також для утилізації відходів хімічних і нафтопереробних виробництв.

8. Підготовки питної води, очищенні стічних вод. РПА може бути встановлений у технологічну лінію підготовки питної води, а також на станціях аерації при очищенні стічних вод. Це дає можливість очищати воду від заліза, марганцю, сірководню, карбондіоксиду, фтору, а також регулювати водневий показник шляхом насичення і абсорбування киснем повітря рідких середовищ.

Огляд існуючих конструкцій РПА та їх особливості.

Взагалі, існує багато розробок роторно-пульсацийних апаратів різної конструкції в залежності від їх використання. Дане обладнання може використовуватися як окрема установка так і встановлюватись в технологічних лініях. В основному всі РПА за конструктивними особливостями можна розподілити наступним чином:

- за геометричною формою робочих органів (дискові, циліндричні, у вигляді зубів тощо);
- за кількістю пар робочих органів (один статор і один ротор; два статори і один ротор; два статори і два ротори та ін.);
- за геометрією прорізів в робочих органах (круглі та щільні продовжні);
- за принципом виконання монтажу (горизонтальні та вертикальні);
- за наявністю інших робочих елементів (мішалки, ножі, крильчатки з лопатками та ін.);
- за продуктивністю (об'єму речовини, що обробляється в апараті за одиницю часу).

Найчастіше, робочі органи РПА представляють собою систему коаксіальних циліндрів або дисків з зазорами між ними, що зазвичай не перевищують 1 мм. Статори жорстко закріплюються в корпусі або з кришкою корпусу, а ротори з'єднані в різний спосіб з приводом установки, обертаються з високою кутовою швидкістю. Ротори та статори розміщені послідовно. Циліндричні тіла або диски оснащені радіальними прорізами прямокутної або круглої форми. Внаслідок обертання роторів, прорізи в роторах та статорах періодично співпадають або взаємно перекриваються. При співпадині прорізів середовище, що обробляється, тече через прорізи в радіальному напрямку за рахунок відцентрових сил та перепаду тиску. В момент взаємного перекриття прорізів в роторах та статорах радіальний рух середовища гальмується і в

потоці середовища виникають локальні імпульси тиску, що відіграють важливу роль для процесу гомогенізації гетерогенних середовищ.

Важлива особливість даних апаратів, що відрізняє їх від апаратів подібної дії в тому, що рух рідкого середовища має обертально-пульсацийний характер. Обертально-пульсацийні потоки характеризуються високими рівнями локальних швидкостей, прискорень, градієнтів тиску, нормальних та дотичних напруг, зміни яких відбуваються за дуже короткі проміжки часу і в обмежених об'ємах робочої зони апарату. До важливих характеристик процесу, що розглядається слід віднести велику вірогідність виникнення турбулентних пульсацій, адіабатного закипання середовища, кавітації та акустичних ефектів. З цим, головним чином, пов'язані основні механізми силової дії на гетерогенне середовище з сторони робочих органів РПА, що призводить до ефективного подріблення дисперсних частинок. Оскільки всі ці ефекти силової дії на середовище мають переважно локальний характер в просторі і імпульсний в часі, то РПА відносяться до апаратів, що працюють з реалізацією методу ДІВЕ.

Проведення теоретичних досліджень РПА дають можливість правильно підібрати моделі для розрахунків гідродинамічних процесів РПА, дозволяють ефективно використовувати апарати подібного типу в енергозберігаючих технологіях в багатьох галузях промисловості.

При розробці конструкцій РПА виникає необхідність розрахунку мінімальної потужності електродвигуна N , необхідної для того, щоб ротор обертався з постійною кутовою швидкістю ω_0 , долаючи сили гідродинамічного опору.

$$N = \omega_0 \cdot \bar{M}, \quad (1)$$

де ω_0 – кутова швидкість;

$\bar{M}$ – моменти сил гідродинамічного опору, що діють на ротор та визначаються з урахуванням в'язкості середовища [3].

Також при проектуванні РПА, виборі режимів роботи апарату, слід також враховувати явище дисипації енергії в потоці, що являє собою процес нагрівання рідини при проходженні через робочі органи РПА внаслідок перетворення механічної енергії в теплову. Суттєвий перегрів вузлів та деталей апарату може призвести до їх пошкодження, тому слід враховувати цей фактор при визначенні зазорів між ротором та статорами, а також визначенні геометрії прорізів ро-

бочих органів РПА. Важливу роль при проектуванні конструкцій відіграє можливість встановлення та контролю бажаних зазорів між коаксіальними циліндрами роторів і статорів, так як від їх величини залежить якість обробки компонентів.

Наведені нижче роторно-пульсаційні апарати відрізняються їх конструктивними особливостями.

На рис. 1 представлена конструкція РПА з одним ротором та двома статорами [6].

Робочий вузол роторно-пульсаційного апарату містить корпус 7, в якому розташовані із зазором між собою співвісні ротор 1, внутрішній 2 та зовнішній 3 статори, що виконані у вигляді циліндричних втулок із поздовжніми прорізами 4. При цьому, наприклад, зовнішній статор 3 по товщині виконано з двох частин 5 і 6, встановлених з можливістю повороту одна відносно одної та фіксацією в заданому положенні (рис. 1).

Робочий вузол роторно-пульсаційного апарату працює в такий спосіб. Залежно від параметрів і властивостей оброблюваного рідкого середовища взаємним поворотом на необхідний кут частин 5 і 6 зовнішнього статора 3 досягають необхідного ступеня взаємного перекриття поздовжніх прорізів 4, після чого фіксують положення частин 5 і 6 зовнішнього статора 3 між собою.

До робочого вузла роторно-пульсаційного апарата подається рідка система. Внаслідок обертання ротора 1, що знаходиться на валу, виникає відцентрова сила, за рахунок якої та перепаду тиску рідина послідовно проходить крізь поздовжні прорізи статора 2, ротора 1 та статора 3, а також міжциліндрові зазори. При цьому потік піддається значній гідромеханічній дії поздовжніх прорізів ротора 1 та статорів 2, 3 та їх міжциліндрових зазорів, внаслідок значних градієнтів зсувних напружень, прискорень та тиску.

Крім того, потік середовища проходить крізь систему високоінтенсивних кінематичних вихорів, що виникають у прорізах ротора 1 та статорів 2, 3.

За рахунок вищезазначених факторів у вузлі роторно-пульсаційного апарату реалізуються інтенсивна гомогенізація та емульгування оброблюваної системи.

Розглянутий робочий вузол роторно-пульсаційного апарату, що є нескладним у виготовленні та зручним в експлуатації, дає можливість за рахунок збільшення тривалості обробки за один цикл інтенсифікувати процеси гідродинамічної обробки рідких систем та, як наслідок, підвищити якість кінцевого продукту.

Конструкція РПА представлена на рис. 2 [7] більш вдосконалена ніж РПА на рис. 1 тим, що є можливість з більшою точністю практично встановити зазори між статорами та роторами і зафіксувати їх.

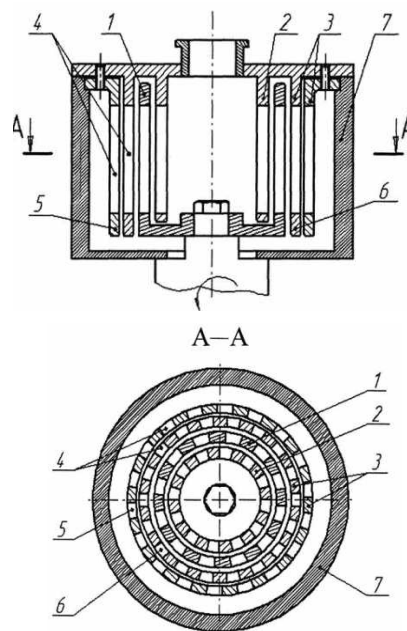


Рис. 1. РПА з одним ротором та двома статорами:

1 – ротор; 2 – статор внутрішній; 3 – статор зовнішній; 4 – поздовжні прорізи ротора та статорів; 5, 6 – частини зовнішнього статора; 7 – корпус

В даній конструкції РПА (рис. 2) шпонкове з'єднання з валом приводу замінено муфтою у вигляді зубчатого вінця, що закріплена на валу разом з комплектом роторів, а комплект статорів виготовлений з торцевим буртиком, який встановлений на зовнішній торцевій поверхні корпусу. Запропонована конструкція забезпечує встановлення двох комплектів коаксіальних циліндрів (статорів та роторів) з рівномірними зазорами між ними завдяки тому, що статори можна вільно переміщувати по торцевій поверхні корпусу перпендикулярно до осі обертання для отримання рівномірних зазорів з наступною фіксацією штифтами комплекту статорів з корпусом. Заміна шпонкового з'єднання роторів з валом приводу обертання торцевою муфтою у вигляді зубчатого вінця дозволяє уникнути псування вала і розбивання посадок, що забезпечує стабільну величину зазорів між роторами і статорами та дозволяє знімати вал з приводу обертання без використання спеціальних пристроїв.

Пристрій працює таким чином. Рідина подається в РПА через вхідний патрубок 8, проходить через рухомі 3 нерухомі 4 статори та ротори з прорізами 5, де відбувається її обробка. При цьому рідина зазнає впливу високих швидкостей і напружень зсуву та пульсацій тиску, внаслідок чого відбувається інтенсивне переміщення рідини з отриманням високоякісних дисперсій і емульсій з розміром частинок 0,1-2 мкм. Далі рідина через патрубок відведення продукту 2 відводиться з пристроєм.

Особливостями конструкції апарату (рис. 3) [8] є те, що апарат містить корпус з встановленими в ньому ротором і статором з робочими елементами у вигляді зубів. Корпус апарату розділений на дві секції перегородками, в яких є отвори різного діаметру. Одна з перегородок насаджується на вал до основи ротора і кріпиться до нього шпонкою, а друга – розташована в середній частині корпусу, причому нижньою стороною спирається на втулку, надітою на вал, а верхньою стороною закріплена гайкою.

Технічним результатом в даній конструкції багатосекційного роторно-пульсаційного апарату є те, що за рахунок встановлених в корпусі розділових перегородок з різним діаметром отворів збільшується час перебування частинок в апараті, що дозволяє інтенсифікувати протікання технологічних процесів і підвищити якість одержуваної суміші, а також підвищити ефективність процесів в апараті.

Недоліками даної конструкції апарату є складність у виготовленні робочих органів, оскільки різні діаметри робочих отворів. Також розділові перегородки здійснюють додатковий гідравлічний опір та збільшують витрати енергії на проведення процесів в апаратах.

Особливостями конструкції апарату (рис. 4) [8] є те, що на робочих поверхнях ротора і статора виконані концентрично розташовані по колу ряди шипів відповідно, що чергуються відповідно з пазами, причому ротор встановлений на вал приводу з можливістю реверсив-

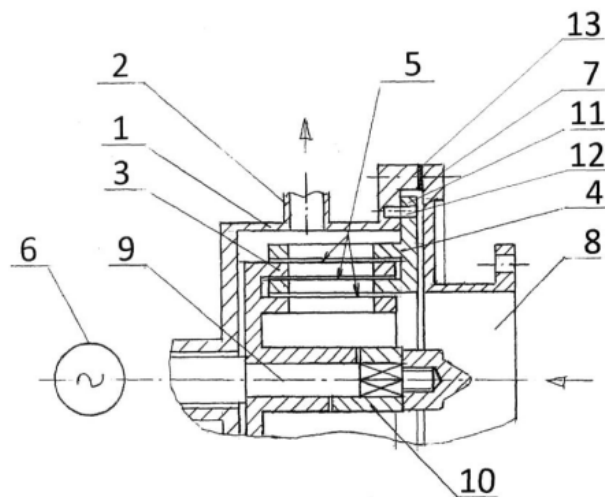


Рис.2. Конструкція РПА з можливістю встановлення зазорів між статорами і ротором та його фіксацією: 1 – корпус; 2 – патрубок відведення продукту; 3 – ротор з прорізами; 4 – статор з прорізами; 5 – прорізи ротора та статора; 6 – привід вала обертання; 7 – кришка корпусу; 8 – вхідний патрубок; 9 – вал приводу; 10 – торцева муфта; 11 – буртик статора; 12 – штифт; 13 – прокладка

ного обертання. На робочій поверхні ротора встановлені вхідні лопатки, при цьому шипи останнього ряду є вихідними лопатками і мають різну форму по довжині і по поперечному перерізі в різних варіантах виконання. Лопатки для можливості реверсивного обертання ротора

мають однакові по обидва боки кути атаки “ α ” і кути виходу “ β ”. Осі симетрії вхідних лопаток, додаткових вхідних лопаток і вихідних лопаток розташовані радіально, а поздовжня вісь напірного патрубку і центральні осі ротора і статора розташовані на одній прямій.

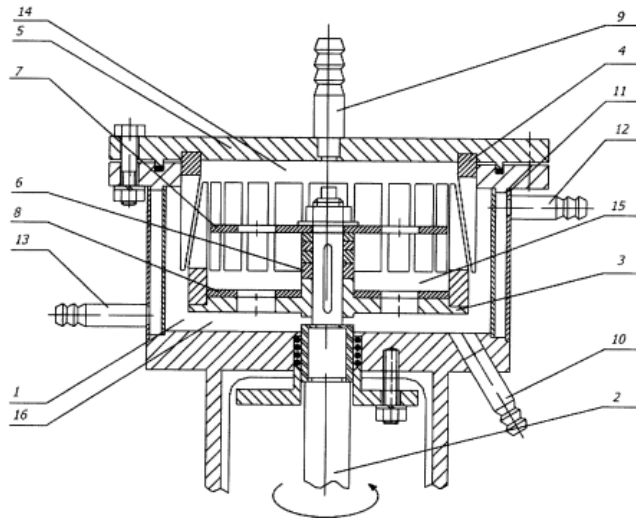


Рис. 3. Багатосекційний роторно-пульсаційний апарат з робочими елементами ротора і статора у вигляді зубів: 1 – корпус; 2 – вал; 3 – ротор; 4 – статор; 5 – кришка; 6 – регулювальні шайби; 7, 8 – перегородки; 9, 10 – патрубки для введення та виведення компонентів; 11 – сорочка; 12, 13 – вхідний та вихідний патрубок холодоносія; 14 – робоча порожнина; 15 – нижня частина робочої області; 16 – зовнішня порожнина апарату

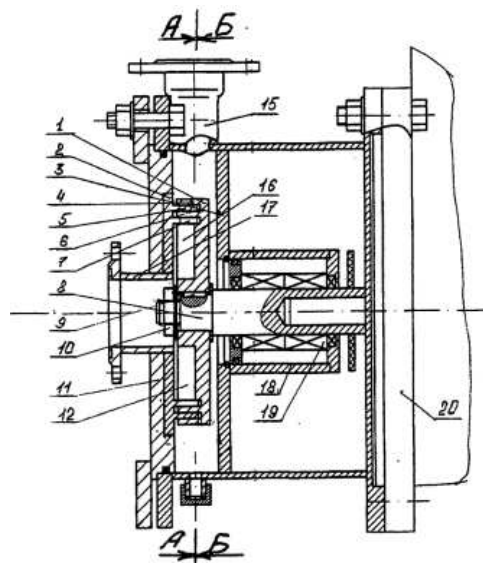


Рис. 4. Конструкція РПА з можливістю реверсивного обертання ротора: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – корпус; 4, 5 – ряди шипів; 6, 7 – пази; 8 – привідний вал; 9, 10 – фіксуючі пристрої; 11 – кришка; 12 – вхідні лопатки; 13 – додаткові вхідні лопатки; 14 – вихідні лопатки; 15 – напірний патрубок; 16 – камера попереднього змішування; 17 – впускний патрубок; 18 – корпус підшипника; 19 – підшипниковий вузол; 20 – фіксуюча плита

Дана конструкція РПА сприяє збільшенню терміну служби апарату. При обертанні ротора 1 в одному напрямку, наприклад за годинниковою стрілкою, у ротора 1 зношуються ліві кромки входних лопаток 12, додаткових входних лопаток 13, шипів 4 і вихідних лопаток 14, також у статора 2 зношуються ліві кромки шипів 5. При їх зносі апарат перемикають на реверсивне обертання, тобто на обертання проти годинникової стрілки.

Недолікам конструкції є встановлений у верхній частині апарату вихідний патрубок, що заходиться в радіальному напрямі дії відцентрової сили. Таке розташування патрубка потребує створення додаткового напору апаратом для прокачування оброблюваного середовища вище рівня входного патрубка, або встановлення додаткового допоміжного обладнання насосу, що також збільшує питомі витрати енергії.

На рис. 5 представлено РПА, який може бути встановлений у технологічну лінію підготовки питної води, а також на станціях аерації при очищенні стічних вод. Це дає можливість очищати воду від заліза, марганцю, сірководню, карбондіоксиду, фтору, а також регулювати водневий показник шляхом насичення і абсорбування киснем повітря рідких середовищ.

В основі очищення води від заліза, марганцю, сірководню, карбондіоксиду, фтору, а також регулювання рН лежать аераційно-окислювальні процеси. Для прискорення цих процесів необхідно інтенсифікувати перенесення кисню крізь приграничний газовий дифузійний шар води до межі розподілу фаз “вода-повітря” та перенесення кисню крізь приграничний шар води від межі розподілу фаз “вода-повітря”, дифузію кисню в об’ємі води, гомогенну реакцію окислення.

РПА складається з корпусу, в якому є входний патрубок з приєднаним до нього ежекторним вузлом та вихідний патрубок. В середині корпусу на валу РПА, що з’єднаний з валом електродвигуна через пальцеву муф-

ту та підшипниковий вузол, встановлено ротор, з трьома рядами наскрізних отворів круглого перерізу. В середині ротора приварено 6 лопастей, що підсилюють насосний ефект. Статор встановлений у корпусі, має отвори у формі каналів з різним діаметром, що підсилює гідродинамічні процеси, які протікають в РПА. Процес насичення води киснем відбувається самовсмоктуванням повітря за рахунок розрідження, яке створюється у всмоктуючому трубопроводі РПА та ежекторному вузлі.

При проходженні водоповітряної суміші через робочі органи РПА відбувається абсорбція кисню, котрого вистачає для окислення сполук заліза, марганцю, сірководню, що перевищують норми вмісту в воді в 10-50 разів. Після проходження через робочі органи РПА, водоповітряна суміш подається на окислювально-фільтраційну колону.

Висновки.

Огляд існуючих модифікацій РПА, в яких реалізується метод ДІВЕ, дозволяє зробити висновки щодо їх ефективного застосування в різних галузях промисловості.

Важлива особливість даних апаратів в тому, що рух рідкого середовища має обертально-пульсаційний характер, який характеризується високими рівнями локальних швидкостей, прискорень, градієнтів тиску, нормальних та дотичних напруг, зміни яких відбуваються за дуже короткі проміжки часу і в обмежених об’ємах робочої зони апарату. До важливих процесів, що відбуваються в РПА, слід віднести виникнення турбулентних пульсацій, адіабатного закипання середовища, кавітації та акустичних ефектів. З цим пов’язані основні механізми силової дії на гетерогенне середовище з сторони робочих органів РПА.

Описаними прикладами конструкцій РПА не обмежується їх промислове застосування. Їх безсумнівні переваги зумовлюють постійне вдоско-

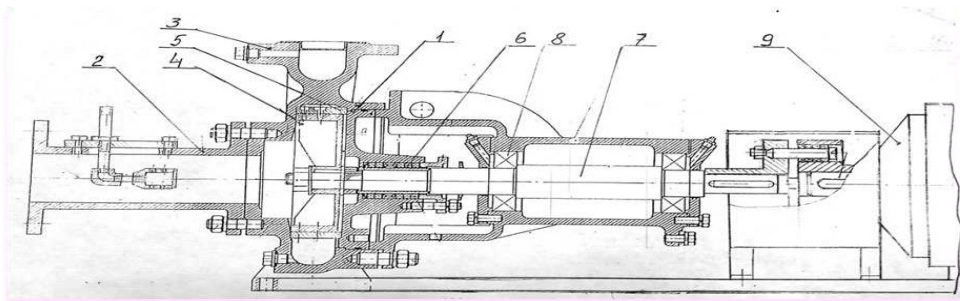


Рис. 5. Конструкція РПА для аераційного очищення питної води та стоків:

1 – корпус; 2 – входний патрубок з ежекторним вузлом; 3 – вихідний патрубок; 4 – ротор; 5 – статор; 6 – вузол ущільнення; 7 – вал РПА; 8 – підшипниковий вузол; 9 – електродвигун

налення конструкцій та знаходження нових шляхів використання РПА, де реалізується метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) для інтенсифікації гідродинамічних та тепломасообмінних процесів, що відкриває подальші перспективи для впровадження цього типу апаратів, як складових інноваційних технологій і прогресивних виробництв.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Долінський А.А.* Принцип дискретно-імпульсного вводу енергії та його використання у технологічних процесах. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ: Тематический сборник статей; Институт технической теплофизики НАН Украины. – К. Академперіодика, 2015. 464 с.
2. *Долінський А.А., Ободович А.Н., Борхаленко Ю.А.* Метод дискретно-імпульсного вводу енергії та його реалізація: Монографія. – Х.: Віровець АП “Апостроф”, 2012. – 185 с.
3. *Басок Б.И., Давиденко Б.В.* Особенности гидродинамики, теплопереноса и процессов диспергирования в рабочих объемах цилиндрических роторно-пульсационных аппаратов. Микро-и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ: Тематический сборник статей; Институт технической теплофизики НАН Украины. – К. Академперіодика, 2015. 464 с.
4. *Ободович О.М.* Розробка енерго- і ресурсозберігаючих теплотехнологій дискретно-імпульсного вводу енергії при підготовці хлібопекарських дріжджів для виробництва / О.М. Ободович // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2007. №2 (21). С. 35-39.
5. *Ободович А.Н.* Дискретно-імпульсний ввід енергії в технології бродильного и хлебопекарного производства / А.Н. Ободович // Вібрації в техніці та технологіях. 2008. №7. С. 68-77.
6. *Патент UA* на корисну модель № 25017 В 01F 7/02. Робочий вузол роторно-пульсационного апарата / Басок Б.І., Давиденко Б.В., Луніна А.О.; власник патенту: Інститут технічної теплофізики НАН України. – u 200702188; заявл. 01.03.2007. Опубл. 25.07.2007. Бюл. № 11.
7. *Пат. 118407 Україна*, МПК В01F7/28 (2006.01). Пристрій для обробки рідини / Долінський А.А., Гартвіг А.П., Целень Б.Я., Коник А.В., Радченко Н.Л.; власник патенту: Інститут технічної теплофізики НАН України. – № a201705347; заявл. 31.05.2017. Опубл. 10.01.2019. Бюл. № 1/2019.
8. *Колобашкін Л.В.* Процес перетворення енергії у потоках рідини в роторно-пульсационному апараті: магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 8.05050303. / Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського, Інженерно-хімічний факультет, Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Київ, 2018.

DISCRETE-PULSE ENERGY INPUT (DPEI) AND ITS IMPLEMENTATION USING ROTOR- PULSATION APPARATUS

Obodovych O.M.¹, Khomenko V.O.², Sydorenko V.V.³,
Stepanova O.E.⁴

¹Dr. Sci. (Engin.), Professor, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0001-7213-3118, e-mail: tdsittf@ukr.net

²Chief designer, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, e-mail: xbo1959@gmail.com

³PhD (Engin.), Senior Researcher, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0001-7735-7719, e-mail: vrangel08@i.ua

⁴PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-7179-7251, e-mail: super-olesya2807@ukr.net

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2024.4>

The article provides an overview of the design features of rotor-pulsation devices in which the method of discrete-pulse energy input is implemented – a method of intensification of heat and mass exchange processes, which contributes to the development and implementation of energy-saving technologies in various industries.

The idea of DPEI is to accumulate the energy previously distributed in the working volume in a stationary and arbitrary state in local discrete points of the system and then implement it in pulses to achieve the necessary thermophysical effects. Non-traditional methods of intensification of heat and mass exchange processes by means of discrete-pulse energy input into discrete environments formed the basis of new technologies for obtaining emulsions of various types. In many industries and everyday life, emulsions of various types are widely used, which leads to a constant increase in the requirements for their quality, first of all, stability and uniformity. Therefore, there is a high need for the development of highly efficient equipment and the determination of rational technological modes for processing “liquid-liquid” systems.

In the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, equipment was created, the principle of which is to implement the DPEI method, in particular, rotary-pulsation apparatus (RPA).

Rotary-pulsation devices (RPA) are highly efficient, small-sized equipment for creating homogeneous mixtures of various liquids with a wide range of applications. With the help of RPA, issues are optimally solved in many technological processes, such as: dispersion, emulsification, mixing and homogenization of various systems, namely powdery, liquid, multicomponent, high and low viscosity media in many industries. The most important indicator of RPA performance is the size of dispersed emulsion particles obtained after processing in RPA from a mechanical mixture of mutually insoluble liquids or components that are difficult to mix.

References 8, figures 5.

Key words: discrete-pulse energy input, rotary-pulsation apparatus, intensification of heat-mass exchange processes, energy-saving heat technologies.

1. Dolinskiy, A.A. (2015). Pryntsyp dyskretno-impul'snoho vvodu enerhiyi ta yoho vykorystannya u tekhnolohichnykh protsesakh [The principle of discrete-pulse energy input and its use in technological processes]. Mikro- i nanourovnevyie protsessy v tekhnologiyakh DPEI: Tematicheskyy sbornik statey; Institut tekhnicheskoy teplofiziki NAN Ukrainy. – K. Akadempriodika. 464 p. (in Ukr.)

2. Dolinskiy, A.A., Obodovich, A.N., Borkhalenko, YU.A. (2012). Metod diskretno-impul'snogo vvoda energii i yego realizatsiya [Discrete-pulse energy input method and its implementation]: Monohrafiya. – KH.: Virovets' AP “Apostrof”. 185 p. (In Rus.)

3. Basok B.Y., Davydenko B.V. (2015). Osobennosti gidrodinamiki, teploperenosa i protsessov dispergirovaniya v robochikh ob'yemakh tsilindricheskikh rotno-impul'satsionnykh apparatov [Features of hydrodynamics, heat transfer and dispersion processes in the working volumes of cylindrical rotary-pulsation devices]. Mikro- i nanourovnevyie protsessy v tekhnologiyakh DPEI: Tematicheskyy sbornik statey; Institut tekhnicheskoy teplofiziki NAN Ukrainy. – K. Akadempriodika. 464 p. (In Rus.)

4. Obodovych, O.M. (2007). Rozrobka enerho- i resursozberihayuchykh teplotekhnolohiy dyskretno-impul'snoho vvodu enerhiyi pry pidhotovtsi khlíbopekars'kykh drizhdzhiv dlya vyrobnystva [Development of energy- and resource-saving thermal technologies of discrete-pulse energy input in the preparation of baker's yeast for production]. Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya. № 2 (21). pp. 35-39. (in Ukr.)

5. Obodovych, A.N. (2008). Diskretno-impul'snyy vvod energii v tekhnologii brodil'nogo i khlíbopekarnogo proizvodstva [Discrete-pulse energy input into fermentation and baking technologies]. Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. №7. pp. 68-77. (In Rus.)

6. *Basok, B.I., Davydenko, B.V., Lunina, A.O. etc.* (2007). *Robochyy vuzol rotorno-pul'satsiynoho aparata* [The working unit of the rotary-pulsation apparatus]. Patent of Ukraine for a utility model № 25017 B01F7/02; declared 01.03.2007; published 25.07.2007, № 11. (in Ukr.)

7. *Dolins'kyi, A.A., Hartvih, A.P., Tselen, B.YA., Konyk, A.V., Radchenko, N.L.* (2019). *Prystriy dlya obrobky ridyny* [Device for liquid processing]. Patent of Ukraine for the invention № 118407 B01F7/28 (2006.01); declared 31.05.2017; published 10.01.2019, № 43. (in Ukr.)

8. *Kolobashkin, L.V.* (2018). *Protses peretvorenniya enerhiyi u potokakh ridyny v rotorno-pul'satsiynomu aparati* [The process of energy conversion in fluid flows in a rotary-pulsation apparatus]: *mahisters'ka dysertatsiya na zdobuttya stupenya mahistra zi spetsial'nosti 8.05050303. / Kyivskyy politekhnichnyy instytut imeni I. Sikors'koho, Inzhenerno-khimichnyy fakul'tet, Kafedra mashyn ta aparativ khimichnykh i naftererobnykh vyrobnytstv, Kyiv.* (in Ukr.)

Отримано 06.12.2023
Received 06.12.2023

Прийнято до друку 15.02.2024
Accepted for publication 15.02.2024