

Приборы и оборудование

УДК [67.05+66-97]:537.638(048.83)

DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2019.06>*Мікульонюк І.О., докт. техн. наук**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ**просп. Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна, e-mail: i.mikulionok@kpi.ua*

Застосування феромагнітних матеріалів для забезпечення потрібного теплового режиму технологічного обладнання (Огляд)

Запропоновано новий похід до забезпечення потрібної температури технологічного обладнання різноманітних галузей промисловості, зокрема хімічної, харчової, мікробіологічної, теплоенергетичної, а отже й стабільний тепловий режим оброблення потоків речовин та матеріалів, що знаходяться у зазначеному обладнанні. Робочі органи та елементи обладнання, що стикаються з потоками оброблюваних речовин та матеріалів, запропоновано виготовляти з магнітного матеріалу з температурою фазового переходу II роду (точкою Кюрі), що відповідає температурі проходження технологічного процесу. Розглянуто конструкції трубчастих теплообмінників, сушарки, насадкової й тарілчастої масообмінних колон, сепаратора, обладнання для перероблення термопластів (екструзійної головки, статичних змішувачів, черв'ячного екструдера), а також живильника сипкого матеріалу. Описаний метод забезпечення потрібного теплового режиму технологічного обладнання доцільно застосовувати передусім у великотоннажних виробництвах. Недоліком методу можна вважати потребу наявності феромагнітних матеріалів з певними термомагнітними властивостями для виготовлення відповідних елементів обладнання та оброблення певних речовин та матеріалів. *Бібл. 19, рис. 15.*

Ключові слова: технологічне обладнання, робочі органи, магнетизм, температура, стабілізація.

Технологічне обладнання більшості наукоємних виробництв – машини, посудини та апарати – зазвичай експлуатують за температури, відмінної від температури навколишнього середовища. При цьому забезпечення стабільного температурного режиму експлуатації зазначеного обладнання є одним з найважливіших чинників одержання високоякісної продукції.

Потрібний тепловий режим технологічного процесу хімічних, харчових, мікробіологічних, теплоенергетичних та споріднених виробництв

традиційно забезпечують за допомогою текучих теплоносіїв або електричних нагрівників [1, 2]. Проте це передбачає використання досить складного й громіздкого допоміжного обладнання (станцій підготовки проміжного теплоносія, облаштування теплоізоляції та ін.), що не тільки збільшує вартість виготовлення обладнання, але і його експлуатації.

Нещодавно було запропоновано новий підхід до забезпечення стабілізації температури робочих органів та інших елементів техно-

логічного обладнання, які контактують з оброблюваними у ньому речовинами. Зокрема потрібну температуру елементів технологічного обладнання, що взаємодіють із сипкими або текучими речовинами, можна забезпечити за рахунок виготовлення зазначених елементів з феромагнітних матеріалів, які мають температуру фазового переходу II роду (температуру Кюрі), що відповідає температурі проведення технологічного процесу. Як відповідні матеріали можна використовувати різні бінарні та інші інтерметаліди з широким діапазоном температури Кюрі (від 20–30 до 700–800 °С та вище [3]).

При цьому зазначені елементи обладнання можна виконувати як суцільними, так і порожнистими, як повністю виготовленими із зазначених матеріалів, так і передбачати наявність в їхній конструкції відповідних складових.

Порушене питання декілька років тому вже розглядалося [4], проте за час, що минув, було запропоновано нові розробки, які ґрунтуються на зазначеному методі.

Мета досліджень цієї статті — аналіз можливості застосування у хімічних, харчових та споріднених з ними виробництвах елементів технологічного обладнання, виготовлених з магнітного матеріалу з температурою фазового переходу II роду (точкою Кюрі), що відповідає температурі проходження технологічного процесу.

Одним з перших видів обладнання з використанням запропонованого ефекту є вертикальний теплообмінник [5], що містить спів-

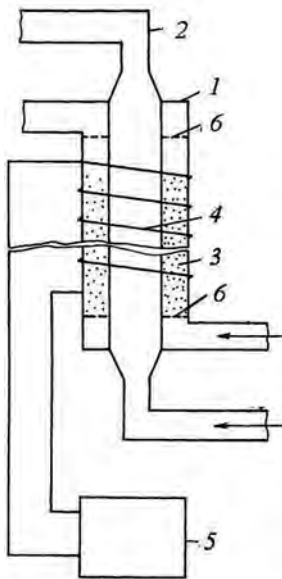


Рис. 1. Теплообмінник для термостабілізації текучого середовища [5]: 1, 2 — зовнішня й внутрішня труби; 3 — частинки з феромагнітного матеріалу; 4 — котушка індуктивності; 5 — джерело змінного струму; 6 — обмежувальні решітки.

вісні труби 1 та 2, в якому зовнішня труба 1 виготовлена з немагнітного матеріалу (рис.1). Між решітками 6, що обмежують міжтрубний простір теплообмінника, розміщені частинки 3 з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає потрібній кінцевій температурі текучого середовища, яке рухається в зовнішній трубі 1. При цьому навколо зовнішньої труби 1 розміщена котушка індуктивності 4, яка під'єднана до джерела змінного струму 5 та створює у міжтрубному просторі змінне електромагнітне поле.

У зовнішню трубу з розташованими у ній феромагнітними частинками надходить оброблюване середовище, у потоці якого зазначені частинки утворюють зріджений шар. При цьому у внутрішній трубі рухається потік, температура якого вибирається нижче від точки Кюрі матеріалу частинок.

Під впливом змінного електромагнітного поля відбувається індукційне нагрівання частинок, яке триває доти, поки їхня температура не досягне точки Кюрі, після чого вони перестають нагріватися. Якщо температура оброблюваного середовища нижче від потрібного значення, то відбувається теплообмін між частинками й середовищем, при цьому його інтенсивність значно перевищує інтенсивність теплообміну між оброблюваним середовищем та середовищем у внутрішній трубі, завдяки чому відбувається більш ефективне нагрівання оброблюваного середовища. Зазначене нагрівання триває доти, поки температура оброблюваного середовища не підвищиться до значення, що дорівнює точці Кюрі. Після цього температури оброблюваного середовища й частинок стануть однаковими, та подальше нагрівання припиниться.

У разі, коли на вхід зовнішньої труби надходить уже перегріте оброблюване середовище, то його охолодження відбувається за рахунок теплообміну з потоком у внутрішній трубі. Теплообмін проходить тим інтенсивніше, чим інтенсивніше частинки турбулізують потік у міжтрубному просторі. Охолодження триває доти, поки температура оброблюваного середовища не знизиться до точки Кюрі. Подальшому охолодженню перешкоджає наступне індукційне нагрівання частинок, яке підтримує температуру частинок, що відповідає точці Кюрі.

Конструкцію трубчастого теплообмінного апарата наведено у патенті [6] (рис.2). Під час роботи цього апарата теплоносії, що потребує нагрівання, надходить у штуцер 5, розподіляється по виготовлених з феромагнітного матеріалу теплообмінних елементах 4 та крізь штуцер 6 видаляється з апарата.

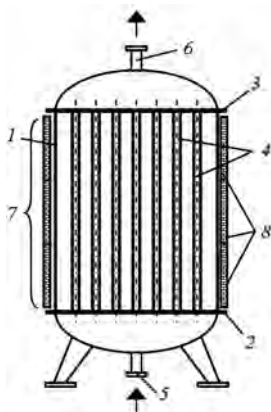


Рис.2. Трубчастий теплообмінник [6]: 1 – корпус; 2, 3 – трубні решітки; 4 – теплообмінні елементи з феромагнітного матеріалу; 5, 6 – штуцери для підведення й відведення теплоносія відповідно; 7 – котушка індуктивності; 8 – секції котушки індуктивності.

Після підключення котушки індуктивності 7 до джерела електричного струму теплообмінні елементи 4 внаслідок індукції нагріваються до того, поки їхня температура не зрівняється з точкою Кюрі матеріалу елементів 4, після чого зазначені елементи втрачають магнітні властивості й перестають нагріватися (при цьому корпус 1 виготовлено з немагнітного матеріалу). За подальшого поступового охолодження вони знову набувають магнітних властивостей та починають нагріватися, що забезпечує стабільні умови нагрівання оброблюваного в апараті теплоносія. Виконання котушки індуктивності 7 у вигляді окремих секцій 8 забезпечує можливість ефективного нагрівання теплоносія підключенням або відключенням зазначених секцій 8.

Під час роботи удосконаленої конструкції попереднього теплообмінника (рис.3) [7] тепло-

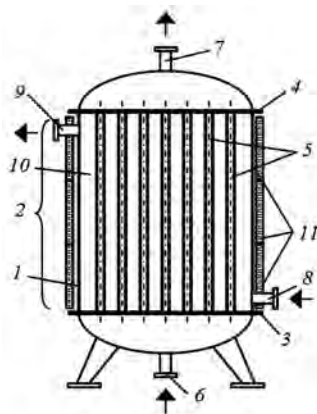


Рис.3. Удосконалений трубчастий теплообмінник [7]: 1 – корпус; 2 – котушка індуктивності; 3, 4 – трубні решітки; 5 – теплообмінні елементи з феромагнітного матеріалу; 6, 7 – штуцери для підведення й відведення теплоносія; 8, 9 – штуцери для руху теплоносія у міжтрубному просторі 10.

носії, що потребує нагрівання, надходить у штуцери 6 та 8, розподіляється по теплообмінних трубах 5 та ззовні них у міжтрубному просторі 10, після чого крізь штуцери 7 та 9 видаляється з апарата. Робота цього апарата аналогічна роботі теплообмінника, зображеного на рис.2 (за винятком того, що забезпечуються стабільні умови нагрівання теплоносія, що рухається всередині та ззовні теплообмінних труб 5).

Також запропонована сушарка (рис.4) [8], що містить виконаний з немагнітного матеріалу корпус 1 з розташованими у ньому обігрівними піддонами 2 для розміщення на них висушуваного матеріалу, а також патрубком 3 для відводу пари, що утворюється під час сушіння. Ззовні корпуса 1 на ділянці розміщення піддонів змонтована котушка індуктивності 4, а піддони повністю або частково виконані з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі процесу сушіння.

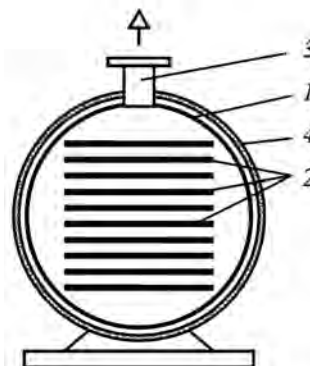


Рис.4. Сушарка для сипучих матеріалів [8]: 1 – порожнистий корпус; 2 – піддони; 3 – патрубок; 4 – котушка індуктивності.

Матеріал, що підлягає сушінню, розташовують на піддонах, після чого їх розміщують один над одним у корпусі сушарки. Після закривання дверцят корпуса котушку індуктивності підключають до джерела електричного струму. Оскільки порожнистий корпус виконаний з немагнітного матеріалу, піддони або їх елементи внаслідок індукції нагріваються. Після досягнення ними температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу піддонів або їх елементів, вони втрачають магнітні властивості й перестають нагріватися. За подальшого охолодження вони знову набувають магнітних властивостей та починають нагріватися. Таким чином, підтримується постійна температура піддонів або їх елементів та, відповідно, висушуваного матеріалу, яка дорівнює точці Кюрі матеріалу піддонів або їх елементів. Волога, що виділяється з матеріалу, у вигляді пари видаляється

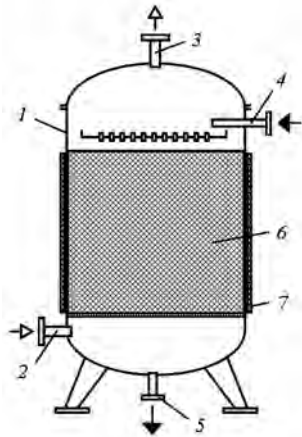


Рис.5. Насадковий тепломасообмінний апарат [9]: 1 – порожнистий корпус; 2–5 – технологічні патрубки; 6 – насадка з феромагнітного матеріалу; 7 – котушка індуктивності.

за межі сушарки крізь патрубків 3. Сушарка також може працювати як вакуум-сушильна шафа або сублимаційна сушарка.

Також розроблено насадковий апарат для проведення тепломасообмінного процесу (рис.5) [9]. Зазначений апарат містить порожнистий корпус 1, споряджений патрубками 2–5 та заповнений насадкою 6, при цьому корпус виконаний з немагнітного матеріалу. Із зовнішньої сторони корпусу на ділянці розташування насадки 6 змонтована котушка індуктивності 7. Насадка 6 виконана з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі проведення тепломасообмінного процесу в апараті. Для зниження навантаження з боку насадки на підтримувальні решітки насадка може бути виконана порожнистою. Під час проходження важкої фази по порожнистому корпусу 1 за допомогою патрубків 4 та 5 зверху вниз, а легкої їй назустріч – знизу вгору за допомогою патрубків 2 та 3 – відбувається безперервна взаємодія зазначених фаз в об'ємі шару насадки 6 (точніше на поверхні насадкових тіл).

Тепломасообмінний процес, що відбувається в апараті, буде більш ефективний за наявності в об'ємі насадки стабільного температурного режиму, який може бути забезпечений у разі виготовлення елементів насадки з матеріалу, точка Кюрі якого відповідає зазначеному температурному режиму. Так, після підключення котушки індуктивності до джерела електричного струму завдяки тому, що порожнистий корпус виготовлено з немагнітного матеріалу, феромагнітні елементи насадки внаслідок індукції нагріваються. Після досягнення ними температури, що дорівнює точці Кюрі матеріалу насадки, її елементи втрачають магнітні властивості й перестають нагріватися. За подальшого охолодження вони знову набувають магнітних властивостей та знову починають нагріватися. У результаті підтримується постійна температура насадки й, відповідно, оброблюваних в апараті середовищ, яка дорівнює точці Кюрі матеріалу насадки.

Таким чином, запропонована конструкція підвищує ефективність роботи насадкового апарата, забезпечуючи стабільний температурний режим масообмінного процесу, а отже, й високу якість одержуваної продукції.

У патенті [10] описана насадка тепломасообмінного апарата (рис.6), яка містить оболонку 1 у вигляді круглого прямого циліндра з двома відкритими основами 2 й 3 та розміщені всередині неї поздовжні елементи 4, виконані у вигляді сектора циліндричної трубки, зовнішній радіус якої відповідає внутрішньому радіусу оболонки, шарнірно закріплено на оболонці 1, а також споряджено обмежником повороту 5 і пружиною 6 для відтискання його всередину оболонки 1. При цьому оболонку 1 (кожний з поздовжніх елементів 4) повністю або частково виконано у вигляді постійного магніту, а кожний з поздовжніх елементів 4 (оболонку 1) – з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі настання критичного режиму проведення тепломасообмінного процесу, що пе-

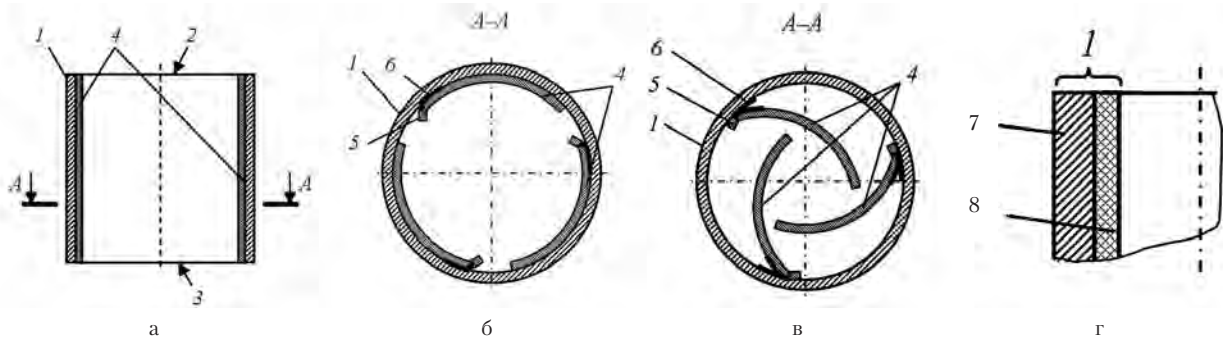


Рис.6. Сушарка для сипучих матеріалів [10]: 1 – оболонка; 2, 3 – основи оболонки 1; 4 – поздовжні елементи; 5 – обмежник повороту; 6 – пружина; 7, 8 – шари оболонки.

редбачає потребу в збільшенні питомої поверхні насадки.

Оболонку 1 та (або) кожний з поздовжніх елементів 4 також може бути виконано з двох шарів, один (7) з яких забезпечує міцність та жорсткість оболонки та (або) кожного з поздовжніх елементів, а другий (8) — їхні (її або його) магнітні властивості (рис.6, г).

Насадку неупорядковано засипають у масообмінний апарат або у вертикальному положенні укладають шарами в масообмінний апарат (перший шар на підтримувальну решітку, кожний наступний — на попередній ряд), при цьому шари можуть бути зміщені один відносно одного (зазвичай на половину ширини основи насадки). Після цього в апарат подають оброблювані фази, які, проходячи крізь шар насадки, інтенсивно взаємодіють одна з одною.

У разі використання запропонованої насадки під час проходження тепломасообмінного процесу поздовжні елементи 4 завдяки магнітним властивостям притягуються до оболонки 1, тому контакт фаз в об'ємі насадки здійснюється на зовнішній поверхні оболонки 1 та на внутрішній поверхні поздовжніх елементів 4. Після підвищення температури в апараті (це може відбуватися, наприклад, під час абсорбції, при цьому теплота абсорбції спричинює підвищення температури абсорбенту, коефіцієнт масопередачі в об'ємі насадки знижується) температура фаз досягає точки Кюрі матеріалу оболонки 1 або поздовжніх елементів 4, відповідна конструктивна складова насадки втрачає магнітні властивості й під дією пружин 6 поздовжні елементи 4 відходять від внутрішньої поверхні оболонки 1 (елементи 4 «розкриваються»), що істотно збільшує питому поверхню насадки. Таким чином, ефективність насадки збільшується, що компенсує негативну дію підвищеної температури в об'ємі насадки. У разі зниження температури до величини точки Кюрі насадка набуває свого вихідного стану (поздовжні елементи 4 «притиснуті» до внутрішньої поверхні оболонки 1).

Також розроблено тарілчастий апарат для проведення тепломасообмінного процесу (рис.7) [11], робота якого аналогічна роботі насадкового апарата.

Тарілчастий апарат може працювати як випарник або як масообмінна, зокрема ректифікаційна, колона.

У першому випадку вихідний розчин крізь патрубок 1 потрапляє у корпус 5, розподіляється по поверхні верхньої тарілки, далі поступово переливається з вищерозташованих тарілок 6 на нижчерозташовані. Після підключення котушки індуктивності 7 до джерела електрич-

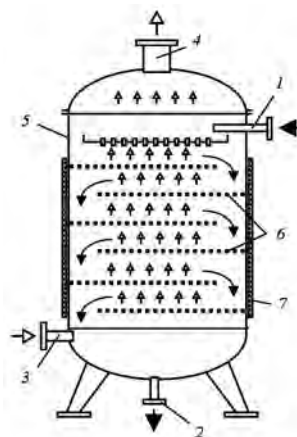


Рис.7. Тарілчастий апарат для проведення тепломасообмінного процесу [11]: 1–4 — патрубки; 5 — корпус; 6 — тарілки; 7 — котушка індуктивності..

ного струму через те, що порожнистий корпус 5 виконаний з немагнітного матеріалу, феромагнітні тарілки 6 або їхні елементи внаслідок індукції нагріваються. Після досягнення ними температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу тарілок 6 або їхніх елементів, вони втрачають магнітні властивості й перестають нагріватися. За подальшого охолодження вони знову набувають магнітні властивості та знову починають нагріватися. У такий спосіб підтримується постійна температура тарілок 6 або їхніх елементів та відповідно випарюваного в апараті середовища, яка дорівнює точці Кюрі матеріалу тарілок 6 або їхніх елементів. Упарений розчин видаляється крізь патрубок 2, утворена пара — крізь патрубок 4.

У разі, якщо апарат працює як ректифікаційна колона, важка фаза (рідка) проходить всередині корпусу 5 крізь патрубки 1 й 2 зверху вниз, а легка фаза (пара) рухається їй назустріч — знизу вгору крізь патрубки 3 й 4. При цьому інтенсивна взаємодія зазначених фаз здійснюється на тарілках 6. Підтримання потрібної температури тарілок у цьому разі відбувається аналогічно попередньому прикладу.

У патенті [12] описаний клапан клапанної тарілки масообмінної колони (рис.8). Він містить диск 1, споряджений пластинчастими напрямними 2 з обмежниками 3 його підйому відносно полотна тарілки 4. У диску 1 виконаний отвір 5 з розташованим над ним додатковим диском 6 з обмежниками 7 його підйому відносно диска 1, при цьому диск 1 (додатковий диск 6) повністю або частково виконаний у вигляді постійного магніту, а додатковий диск 6 (диск 1) — з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі настання критичного режиму проведення тепломасооб-

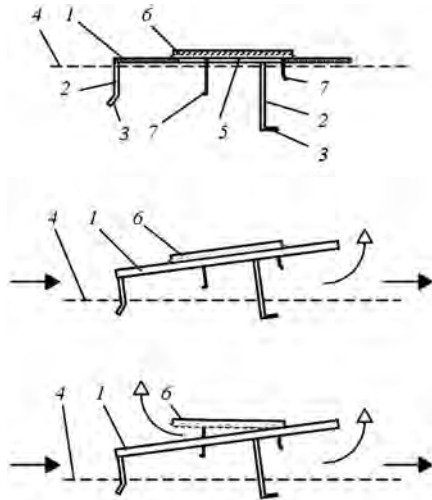


Рис.8. Клапан клапанної тарілки масообмінної колони [12]: 1 – основний диск; 2 – пластинчасті напрямні; 3, 7 – обмежники підйому; 4 – полотно тарілки; 5 – отвір; 6 – додатковий диск.

мінного процесу, що передбачає потребу в збільшенні прохідного перерізу клапана. Диск 1 або додатковий диск 6 може бути також виконаний з двох шарів, один з яких забезпечує міцність та жорсткість диска або додаткового диска, а другий – його магнітні властивості; наприклад, нижній шар додаткового диска 6 може бути виконаний у вигляді еластичного магніту, прикріпленого до верхнього металевого шару (не показано).

Під час роботи масообмінного апарата легка фаза рухається по полотну тарілки 4, а легка проходить крізь її отвори та підіймає диски 1 клапанів до упору обмежників 3 у нижню частину полотна тарілки 4 (див. рис.2). У разі досягнення оброблюваними фазами температури, що дорівнює точці Кюрі матеріалу диска 1 або додаткового диска 6, відповідна складова клапана втрачає магнітні властивості й під дією тиску легкої фази додатковий диск 6 підіймається над поверхнею диска 1, забезпечуючи додатковий вихід легкої фази у проміжок між диском 1 та додатковим диском 6, що компенсує негативну дію підвищеної температури на тарілці (див. рис.3). У разі зниження температури до величини точки Кюрі клапан набуває свого вихідного стану (додатковий диск 6 під дією сил магнітного поля й сили тяжіння щільно прилягатиме до поверхні диска 1). При цьому відбувається інтенсивна взаємодія оброблюваних фаз.

Під час роботи сепаратора (рис.9) [13] вихідна емульсія крізь порожнистий вертикальний вал 4 потрапляє у корпус 1 під пакет конічних тарілок 5. Під дією відцентрової сили,

що виникає під час обертання вертикального вала 4 із закріпленими на ньому конічними тарілками 5 важка фаза відкидається до внутрішньої стінки корпусу 1 та крізь патрубок 8 відводиться за межі сепаратора. Легка фаза рухається між тарілками 5 до їх центра та крізь патрубок 9 потім також відводиться за межі сепаратора.

Після підключення котушки індуктивності до джерела електричного струму через те, що корпус виконаний з немагнітного матеріалу, феромагнітні конічні тарілки внаслідок індукції нагріваються. При досягненні ними температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу тарілок, зазначені тарілки втрачають магнітні властивості, внаслідок чого вони перестають нагріватися. За подальшого поступового охолодження вони знову набувають магнітних властивостей та знову починають нагріватися. Таким чином підтримується постійна температура тарілок (а отже й оброблюваних в апараті середовищ, у першу чергу легкої фази, яка рухається у проміжках між тарілками від їх периферії до центра), що дорівнює точці Кюрі матеріалу конічних тарілок.

В екструзійній головці (рис.10) [14] розплав перероблюваного термопластичного матеріалу послідовно просувається у кільцевому проміжку, утвореному стінкою порожнини корпусу 1 та поверхнею дорна 3. Повітря, що рухається всередині дорна 3, поступово його охолоджує. Після підключення котушки індуктивності 5 до джерела електричного струму через те, що корпус 1 виконаний з немагнітного матеріалу, феромагнітний дорн 3 внаслідок індукції нагрівається. При досягненні ним тем-

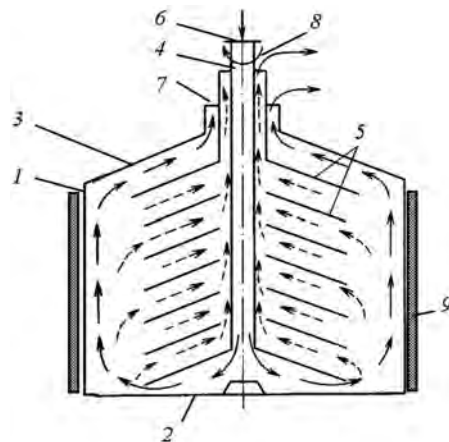


Рис.9. Сепаратор для розділення емульсії [13]: 1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – вертикальний вал; 5 – конічні тарілки з феромагнітного матеріалу; 6–8 – патрубки для підведення емульсії, а також відведення важкої й легкої фракції; 9 – котушка індуктивності.

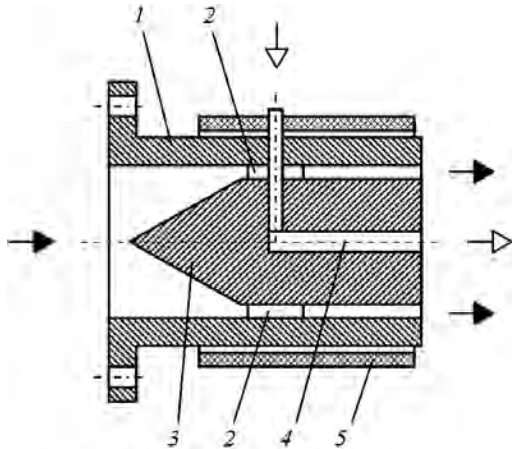


Рис.10. Екструзійна головка [14]: 1 – корпус; 2 – дорно-тримачі; 3 – дорн з феромагнітного матеріалу; 4 – канал; 5 – котушка індуктивності.

ператури, що відповідає точці Кюрі матеріалу дорна 3, він втрачає магнітні властивості, внаслідок чого він перестає нагріватися. За подальшого поступового охолодження матеріал дорна знову набуває магнітних властивостей та знову починає нагріватися.

Таким чином, без використання складної системи теплової автоматики підтримується постійна температура дорна 3 (отже й перероблюваного термопластичного матеріалу, що рухається у кільцевому проміжку між корпусом 1 та дорном 3), що дорівнює точці Кюрі матеріалу дорна 3.

У статичному змішувачі (рис.11) [15] розплавлен термопластичного матеріалу послідовно просувається крізь перехідник 4 на вході у корпус 1, далі крізь отвори перфорованих перегородок 5 потрапляє у порожнину корпусу 1, заповнену виготовленими з феромагнітного матеріалу насадковими тілами 2. Проходячи між насадковими тілами, матеріал багаторазово дробиться на окремі потоки та врешті-решт крізь

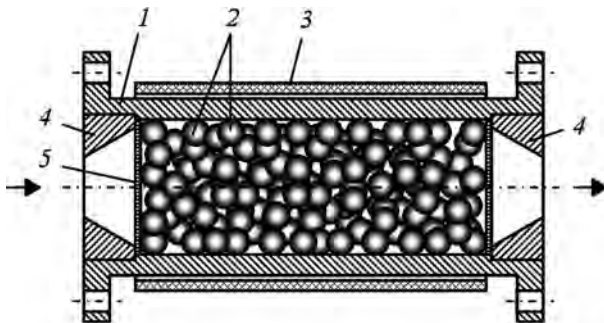


Рис.11. Статичний змішувач для перероблення полімерів [15]: 1 – корпус; 2 – насадкові тіла з феромагнітного матеріалу; 3 – котушка індуктивності; 4 – перехідники; 5 – перфоровані перегородки.

перфоровану перегородку 5 та перехідник 4 на виході з корпусу 1 видаляється за його межі.

Підтримання постійної температури насадкових тіл 2 (отже й перероблюваного термопластичного матеріалу, який рухається у проміжках між насадковими тілами 2), що дорівнює точці Кюрі матеріалу насадкових тіл 2, здійснюється аналогічно попереднім конструкціям.

У подальшому розвитку конструкції статичного змішувача (рис.12) [16] його активна ділянка розділена на декілька секцій, кожна з яких заповнена насадковими тілами різного типорозміру, виготовленими з різних феромагнітних матеріалів. Таке рішення дає можливість більш ефективно впливати на гідродинаміку й температурний режим перероблюваного термопласту.

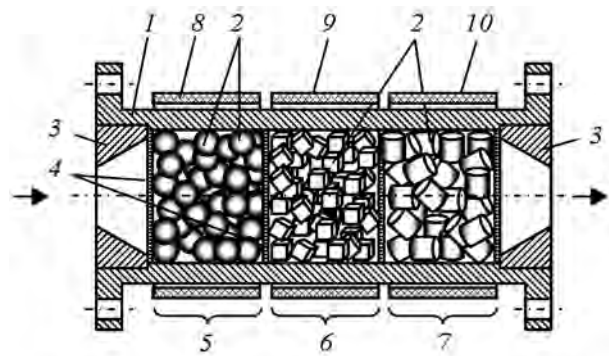


Рис.12. Статичний змішувач для перероблення полімерів [16]: 1 – корпус; 2 – насадкові тіла з одного чи декількох різних феромагнітних матеріалів; 3 – перехідники; 4 – перфоровані перегородки; 6, 7 – секції насадкових тіл; 8-10 – секції котушки індуктивності..

У міжнародній заявці WO2015154973A1 [17] розглянута конструкція одно- або дво-черв'ячного екструдера (рис.13), одна секція корпусу якого виготовлена з немагнітного матеріалу. Навколо зазначеної секції змонтована котушка індуктивності, під час проходження по якій електричного струму відповідні секції черв'яка (черв'яків) починають нагріватися, що прискорює плавлення полімерного матеріалу в робочому каналі. Недоліком цієї конструкції є те, що черв'як (або черв'яки) по всій довжині

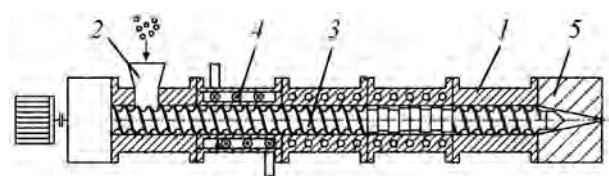


Рис.13. Черв'ячний екструдер [17]: 1 – корпус; 2 – завантажувальне вікно корпусу; 3 – черв'як; 4 – котушка індуктивності; 5 – екструзійна головка.

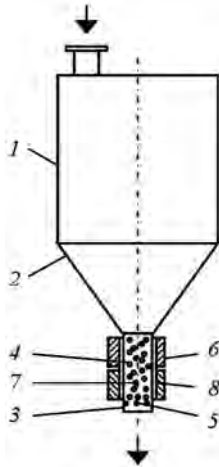


Рис.14. Живильник сипкого матеріалу [18]: 1 – вертикальний циліндричний бункер; 2 – конічне днище; 3 – випускний патрубок; 4, 7 – феромагнітні тіла; 5 – сітка; 6 – електромагніт; 8 – котушка індуктивності.

корпуса треба інтенсивно охолоджувати. Одночасне нагрівання та охолодження ділянки черв'яка (черв'яків) на довжині секції корпуса, спорядженій котушкою індуктивності, при цьому трохи ускладнюється.

У патенті [18] запропонований живильник сипкого матеріалу (рис.14), що містить вертикальний циліндричний бункер 1, конічне днище 2 та випускний патрубок 3 з розташованими у ньому феромагнітними тілами 4 й сіткою 5 у його нижній частині, при цьому випускний патрубок 3 виконаний з немагнітного матеріалу, та навколо нього змонтовано електромагніт 6. Серед феромагнітних тіл 4 наявні такі, що виготовлені з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, яка відповідає потрібній температурі сипкого матеріалу на виході з живильника (феромагнітні тіла 7), навколо випускного патрубку 3 також змонтовано котушку індуктивності 8.

Під час роботи живильника завдяки дії електромагніту 6 феромагнітні тіла 4 й 7 рухаються у порожнині випускного патрубку 3, розпшуючи сипкий матеріал. Після підключення котушки індуктивності 8 до джерела електричного струму через те, що випускний патрубок 3 виконаний з немагнітного матеріалу, феромагнітні тіла 7 внаслідок індукції нагріваються. При досягненні ними температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу феромагнітних тіл 7, вони втрачають магнітні властивості, внаслідок чого перестають нагріватися. За подальшого поступового охолодження феромагнітні тіла 7 знову набувають магнітних властивостей та під дією магнітного поля знову починають нагріватися. Таким чином підтримується постійна температура феромагнітних тіл 7 (отже й оброблюваного сипкого

матеріалу, що проходить крізь випускний патрубок 3 живильника).

Також розроблена конструкція пристрою для контролю температури оточуючого середовища [19], який містить порожнистий корпус 1, чутливий елемент 2, виконаний з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає критичній температурі оточуючого середовища, постійний магніт 3, розташований у порожнині 4 корпуса 1 з можливістю вільного переміщення та впливу на контакти магнітокерованого вимикача 5. Між чутливим елементом 2 та постійним магнітом 3 розташована пружина стиску 6, чутливий елемент 2 частково розташований за межами порожнистого корпуса 1 з утворенням ділянки 7 для контакту з оточуючим середовищем. Ділянка 7 при цьому може бути споряджена ребрами 8 для збільшення її поверхні (рис.15).

У вихідному стані, коли температура оточуючого середовища нижче за критичну, чутливий елемент 2, що має феромагнітні властивості, притягує постійний магніт 3, стискаючи при цьому пружину стиску 6. У такому положенні постійний магніт 3 не впливає своїм магнітним полем на нормально розімкнуті контакти вимикача 5. Сила магнітного притягання чутливого елемента 2 та постійного магніту 3 перевищує силу стиску пружини 6. За умови досягнення температури оточуючого середовища критичного значення чутливий елемент 2 нагрівається й за рахунок переходу точки Кюрі втрачає феромагнітні властивості; у результаті сила притягання постійного магніту 3 зникає, та пружина стиску 6, розташована між ними, штовхає постійний магніт 3, який своїм магнітним полем вмикає вимикач 5.

Наявність у чутливого елемента 2 ділянки 7 для контакту з оточуючим середовищем забезпечує швидку зміну чутливого елемента 2 відповідно до зміни температури оточуючого середовища. При цьому спорядження зазначеної ділянки 7 ребрами 8 для збільшення її поверхні знижує інерційність чутливого елемента 2 до зміни температури оточуючого середовища.

Після зменшення температури оточуючого середовища нижче критичного значення чутливий елемент 2 знову набуває феромагнітних властивостей, внаслідок чого до нього притягується постійний магніт 3, стискаючи при цьому пружину стиску 6, та вимикач 5 вмикається.

Отже, натепер розроблена достатня кількість конструкцій найрізноманітнішого обладнання, в якому робоча температура підтримується на певному рівні завдяки конструкційним магнітним матеріалам з магніотермічним ефек-

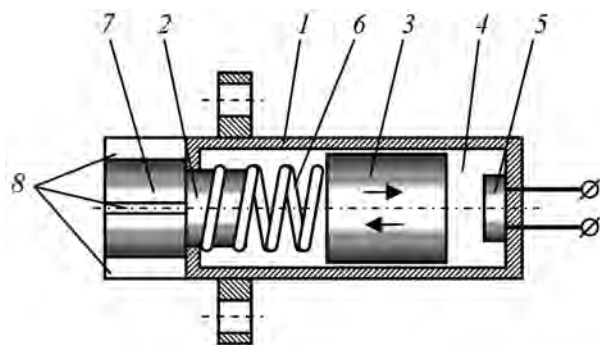


Рис.15. Пристрій для контролю температури оточуючого середовища [19]: 1 – порожнистий корпус; 2 – чутливий елемент; 3 – постійний магніт; 4 – порожнина корпусу 1; 5 – контакти магнітокерованого вимикача; 6 – пружина стиску; 7 – ділянка корпусу 1 для контакту з оточуючим середовищем.

том (з температурою фазового переходу II роду (точкою Кюрі) у діапазоні робочих температур відповідного обладнання).

Висновки

Як показали проведені дослідження, запропонований підхід до стабілізації теплового потоку різноманітного технологічного обладнання достатньо перспективний, хоча він не позбавлений певних недоліків. Беззаперечна перевага відповідного методу – забезпечення певної температури робочих органів обладнання з високою точністю. У той же час цей метод досить важко реалізувати на існуючому обладнанні, здебільшого виготовленому з магнітних матеріалів (сталь, чавун). Отже, для реалізації запропонованого методу на практиці необхідно розробляти нові конструкції обладнання або піддавати глибокій модернізації існуючі зразки. Проте у певних випадках запропонований спосіб підтримки заданої температури оброблюваних середовищ може стати найбільш доцільним (передусім у тонкій хімічній технології, біотехнології, фармацевтиці).

Список літератури

1. Корнієнко Я.М., Лукач Ю.Ю., І.О.Мікульонко та ін. Процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 716 с.
2. Мікульонко І.О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с.
3. Физические величины : Справочник / Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова. М. : Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
4. Mikulionok I.O. Stabilization of the temperature of the working medium in the equipment of chemical plants (a survey of patents). *Chemical and Petro-*

5. *leum Engineering*. 2015. Vol. 51, No. 5–6. P. 324–327. doi: 10.1007/s10556-015-0046-8.
6. Пат. 2107874 С1 РФ, МПК⁶ F 28 D 7/10. Теплообменник / В.И.Волков, В.Ю.Рунг. – № 9610-7078/06; заявл. 08.04.96; опубл. 27.03.98, Бюл. № 9.
7. Пат. 68042 U Укр., МПК (2012.01) F 24 Н 1/00. Теплообмінний апарат / І.О.Мікульонко. – № u201110808; заявл. 09.09.11; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.
8. Пат. 75172 U Укр., МПК (2012.01) F 24 Н 1/00. Теплообмінний апарат / І.О.Мікульонко, В.Т.Вознюк. – № u201205100; заявл. 24.04.12; опубл. 26.12.12, Бюл. № 22.
9. Пат. 89173 U Україна, МПК (2014.01) F 26 В 9/00. Сушарка / І.О.Мікульонко, М.Є.Воронцов. – № u201313651; заявл. 21.11.13; опубл. 10.04.14, Бюл. № 7.
10. Пат. 52742 U Україна, МПК (2009) В 29 D 53/18. Насадковий апарат для проведення тепломасообмінного процесу / І.О.Мікульонко. – № u201001769; заявл. 18.02.10; опубл. 10.09.10, Бюл. № 17.
11. Пат. 97233 U Україна, МПК (2006.01) В 01 J 19/30. Насадка тепломасообмінного апарата / І.О.Мікульонко. – № u201407640; заявл. 20.06.14; опубл. 10.03.15, Бюл. № 5.
12. Пат. 90727 U Україна, МПК (2006.01) В 01 D 3/16. Тарілчастий апарат для проведення тепломасообмінного процесу / І.О.Мікульонко. – № u201314906; заявл. 19.12.13; опубл. 10.06.14, Бюл. № 11.
13. Пат. 97232 U Україна, МПК (2006.01) В 01 D 3/20. Клапан клапанної тарілки масообмінної колони / І.О.Мікульонко. – № u201407639; заявл. 07.07.14; опубл. 10.03.15, Бюл. № 5.
14. Пат. 66592 U Україна, МПК (2011.01) В 04 В 5/00. Сепаратор для розділення емульсій / О.Г.Зубрій, І.О.Левчук, І.О.Мікульонко. – № u201107567; заявл. 16.06.11; опубл. 10.01.12, Бюл. № 1.
15. Пат. 68120 U Україна, МПК (2006.01) В 29 С 47/20. Екструзійна головка для формування порожнистого виробу / В.В.Гончаренко, Н.М.Мартиненко, І.О.Мікульонко. – № u201111769; заявл. 05.11.11; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.
16. Пат. 69843 U Україна, МПК (2006.01) В 29 В 7/32. Статичний змішувач / І.О.Мікульонко. – № u201114137; заявл. 30.11.11; опубл. 10.05.12, Бюл. № 9.
17. Пат. 84023 U Україна, МПК (2006.01) В 29 В 7/32. Статичний змішувач / І.О.Мікульонко, Л.В.Сіціньська, О.О.Шалькевич, В.С.Шевченко. – № u201303954; заявл. 01.04.13; опубл. 10.10.13, Бюл. № 19.
18. Міжнародна заявка WO2015154973A1, МПК (2006.01) В 29 С 47/08. Schneckenmaschine und verfahren zur aufbereitung von kunststoffmaterial / S. Welb; applicant Coperion GmbH. – № PCT/EP2015/056039; application date 23.03.15; publication date 15.10.15, priority 07.04.14, № 10 2014 206 638.7 (DE).

18. Пат. 125503 У Україна, МПК (2006.01) В 65 G 65/40. Живильник сипкого матеріалу / І.О. Мікульнонок, А.Я.Карвацький, Д.І.Степаник. — № u201712371; заявл. 13.12.17; опубл. 10.05.18, Бюл. № 9.
19. Пат. 97214 У Україна, МПК (2015.01) F 01 P 7/00. Пристрій для контролю температури оточуючого середовища / І.О.Мікульнонок. — № u201406980; заявл. 20.06.14; опубл. 10.03.15, Бюл. № 5.

Надійшла до редакції 23.10.18

Микульнонок І.О., докт. техн. наук
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев
просп. Победы, 37, 03056 Київ, Україна, e-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Использование ферромагнитных материалов для обеспечения необходимого теплового режима технологического оборудования (Обзор)

Предложен новый подход к обеспечению необходимой температуры технологического оборудования различных отраслей промышленности, в частности, химической, пищевой, микробиологической, теплоэнергетической, а следовательно, и стабильный тепловой режим обработки потоков веществ и материалов, которые находятся в указанном оборудовании. Рабочие органы и элементы оборудования, контактирующие с потоками обрабатываемых веществ и материалов, предложено изготавливать из магнитного материала с температурой фазового перехода II рода (точкой Кюри), которая соответствует температуре прохождения технологического процесса. Рассмотрены конструкции трубчатых теплообменников, сушилки, насадочной и тарельчатой массообменных колон, сепаратора, оборудования для переработки термопластов (экструзионной головки, статических смесителей, червячного экструдера), а также питателя сыпучего материала. Описанный метод обеспечения необходимого теплового режима технологического оборудования целесообразно применять прежде всего в крупнотоннажных производствах. Недостатком метода можно считать необходимость наличия ферромагнитных материалов с определенными термомагнитными свойствами для изготовления соответствующих элементов оборудования и обработки определенных веществ и материалов. *Библ. 19, рис. 15.*

Ключевые слова: технологическое оборудование, рабочие органы, магнетизм, температура, стабилизация.

Mikulionok I.O., Doctor of Technical Sciences
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
37, Peremohy Ave., 03056 Kyiv, Ukraine, e-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Ferromagnetic Materials Use for Providing the Necessary Thermal Mode of Processing Equipment (Review)

A new approach to providing the necessary temperature of technological equipment of various industries, in particular, chemical, food, microbiological, heat and power, and therefore a stable thermal mode of processing the flows of substances and materials that are in the specified equipment is proposed. It has been proposed to make working bodies and elements of equipment in contact with the flows of the substances and materials being processed from magnetic material with a phase transition temperature of the second

type (Curie point), which corresponds to the temperature of the technological process. The designs of tubular heat exchangers, dryers, packed and tray mass transfer columns, separators, equipment for the processing of thermoplastics (extrusion die, static mixers, screw extruder), as well as bulk feeder are considered. *Bibl. 19, Fig. 15*

Key words: process equipment, work bodies and elements, magnetism, temperature, stabilization.

References

1. Kornienko Ya.M., Lukach Yu.Yu., Mikulionok I.O., Rakytskyi V.L., Riabtsev G.L. (2011). *Protsessy ta obladnannia khimichnoi tekhnologii* [Processes and equipment of chemical technology]. Kyiv: NTUU «KPI», 716 p. (Ukr.)
2. Mikulionok I.O. (2014). *Mekhanichni, hidromekhanichni i masoobminni protsessy ta obladnannia khimichnoi tekhnologii* [Mechanical, hydromechanical and mass-exchanged processes and equipment of chemical technology]. Kyiv : NTUU «KPI», 340 p. (Ukr.)
3. *Fizicheskie velichiny : Spravochnik* (1991) [Physical Quantities : Reference Book]. Ed. I.S.Grigoreva, E.Z.Meylikhova. Moscow : Energoatomizdat, 1232 p. (Rus.)
4. Mikulionok I.O. (2015). Stabilization of the temperature of the working medium in the equipment of chemical plants (a survey of patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, 51 (5–6), pp. 324–327. doi: 10.1007/s10556-015-0046-8
5. Pat. 2107874 C1 Russian Federation, IPC6 F 28 D 7/10. Heat exchanger. V.I.Volkov, V.Yu.Rung. 96107078/06; application date 08.04.96; publication date 27.03.98, bulletin No. 9.
6. Pat. 68042 U Ukraine, IPC (2012.01) F 24 H 1/00. Heat-exchange apparatus. I.O.Mikulionok. u201110808; application date 09.09.11; publication date 12.03.12, bulletin No. 5.
7. Pat. 75172 U Ukraine, IPC (2012.01) F 24 H 1/00. Heat-exchange apparatus. I.O.Mikulionok, V.T. Vozniuk. u201205100; application date 24.04.12; publication date 26.12.12, bulletin N o.22.
8. Pat. 89173 U Ukraine, IPC (2014.01) F 26 B 9/00. Dryer. I.O.Mikulionok, M.E.Vorontsov. u201313651; application date 21.11.13; publication date 10.04.14, bulletin No. 7.
9. Pat. 52742 U Ukraine, IPC (2009) B 29 D 53/18. Packed heat and mass-transfer apparatus. I.O. Mikulionok. u201001769; application date 18.02.10; publication date 10.09.10, bulletin No. 17.
10. Pat. 97233 U Ukraine, IPC (2006.01) B 01 J 19/30. Packing contact elements of heat and mass-transfer apparatus. I.O.Mikulionok. u201407640; application date 20.06.14; publication date 10.03.15, bull. No. 5.
11. Pat. 90727 U Ukraine, IPC (2006.01) B 01 D 3/16. Plate mass-transfer apparatus. I.O.Mikulionok. u201314906; application date 19.12.13; publication date 10.06.14, bulletin No. 11.
12. Pat. 97232 U Ukraine, IPC (2006.01) B 01 D 3/20. Valve of a valve plate of mass-transfer column. I.O.Mikulionok. u201407639; application date 07.07.14; publication date 10.03.15, bulletin No. 5.
13. Pat. 66592 U Ukraine, IPC (2011.01) B 04 B 5/00. Separator for separation of emulsions. O.H.Zubrii, I.O.Levchuk, I.O.Mikulionok. u201107567; application date 16.06.11; publication date 10.01.12, bulletin No. 1.
14. Pat. 68120 U Ukraine, IPC (2006.01) B 29 C 47/20. Extrusion die for formation of a hollow product. V.V.Goncharenko, N.M.Martynenko, I.O. Mikulionok. u201111769; application date 05.11.11; publication date 12.03.12, bulletin No. 5.
15. Pat. 69843 U Ukraine, IPC (2006.01) B 29 B 7/32. Static mixer. I.O.Mikulionok. u201114137; application date 30.11.11; publication date 10.05.12, bull. 9.
16. Pat. 84023 U Ukraine, IPC (2006.01) B 29 B 7/32. Static mixer. I.O.Mikulionok, L.V.Sitsinska, O.O.Shalkevich, V.S.Shevchemko. u201303954; application date 01.04.13; publication date 10.10.13, bulletin No. 19.
17. International application WO2015154973A1, IPC (2006.01) B 29 C 47/08. Schneckenmaschine und verfahren zur aufbereitung von kunststoffmaterial. S.Welb. PCT/EP2015/056039; application date 23.03.15; publication date 15.10.15, priority 07.04.14, № 10 2014 206 638.7 (DE).
18. Pat. 125503 U Ukraine, IPC (2006.01) B 65 G 65/40. Bulk feeder. I.O.Mikulionok, A.Ya. Karvatskyi, D.I.Stepanyk. u201712371; application date 13.12.17; publication date 10.05.18, bulletin No. 9.
19. Pat. 97214 U Ukraine, IPC (2015.01) F 01 P 7/00. The device for the control of temperature surrounding environments. I.O.Mikulionok. u201406980; application date 20.06.14; publication date 10.03.15, bulletin No. 5.

Received October 23, 2018