

УДК 537.638:66-97(048.83)

МІКУЛЬОНОК І. О.^{1,2*}, ІВАНЕНКО О. І.¹

¹ Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

² Інститут газу Національної академії наук України

ЗАСТОСУВАННЯ ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ (Огляд)

Розглянуто основні підходи для забезпечення потрібної температури потоків речовин і матеріалів, що перебувають у технологічному й допоміжному обладнанні різних галузей економіки, зокрема хімічної, харчової, мікробіологічної, теплоенергетичної, металургійної, сільськогосподарської, медичної й будівельної. Робочі органи технологічного обладнання та певні конструктивні елементи допоміжного обладнання при цьому запропоновано виготовляти з магнітного матеріалу з температурою фазового переходу II роду (точкою Кюрі), що відповідає температурі проходження технологічного або допоміжного процесу. Розглянуто технологічні процеси з використанням магнітоtermічного ефекту та відповідні конструкції обладнання: теплообмінного, тепломасообмінного, механічного й гідромеханічного, обладнання для перероблення термопластів, а також інших пристроїв. Зазначений метод забезпечення потрібного теплового режиму доцільно застосовувати насамперед у великотоннажних виробництвах неперервної дії. Перевагою методу є стабільне проходження процесу у вузькому температурному діапазоні, що надзвичайно важливо під час оброблення термочутливої сировини й напівфабрикатів для забезпечення стабільних властивостей одержуваної продукції, а недоліком – труднощі під час пошуку наявних або створення нових феромагнітних матеріалів з потрібними термомагнітними властивостями для виготовлення відповідних конструктивних елементів технологічного й допоміжного обладнання.

Ключові слова: технологічне обладнання, допоміжне обладнання, конструктивні елементи, магнетизм, точка Кюрі, температура, стабілізація, енергозбереження

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2024.312417

*Corresponding author: i.mikulionok@kpi.ua

Received 11 July 2024; Accepted 05 September 2024

Постановка проблеми. Технологічне й допоміжне обладнання [1] більшості високопродуктивних наукоємних виробництв, насамперед обладнання хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної, харчової, мікробіологічної, теплоенергетичної та металургійної галузей промисловості, промисловості будівельних матеріалів і промисловості перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей, а також природокористування, зазвичай експлуатують за температури, відмінної від температури навколишнього середовища. При цьому стабілізація теплового режиму технологічних процесів, що проходять у зазначеному обладнанні, є одним з найважливіших чинників одержання продукції високої якості [2–5].

Потрібний тепловий режим технологічного процесу традиційно забезпечують за допомогою текучих теплоносіїв (вода й водні розчини, водяна пара, топки (димові) та інші гази, високотемпературні органічні теплоносії, метали (калій, натрій, ртуть), аерозолі сипких матеріалів, хладони) або електричних нагрівників [2–4, 6]. Проте це передбачає використання досить складного й громіздкого допоміжного обладнання (станцій підготовки проміжного теплоносія, комунікації для його транспортування, облаштування теплоізоляції обладнання та трубопроводів тощо), що не лише знижує надійність роботи обладнання, а й істотно збільшує вартість виготовлення обладнання та його експлуатації.

Наприкінці минулого століття було запропоновано новий підхід до забезпечення стабілізації температури конструктивних елементів обладнання, які взаємодіють з оброблюваними в ньому робочими й допоміжними середовищами. Зокрема потрібну температуру конструктивних елементів обладнання, що взаємодіють з текучими або сипкими середовищами, можна забезпечити виготовленням зазначених елементів з феромагнітних матеріалів, які мають температуру фазового переходу II роду (температуру Кюрі, точку Кюрі),

що відповідає потрібній температурі оброблюваного або транспортованого текучого чи сипкого середовища. Як відповідні матеріали зокрема можна використовувати різні бінарні та інші інтерметаліди з широким діапазоном температури Кюрі (від 20–30 °С до 700–800 °С і вище [7]).

Такий підхід дає змогу відмовитися від громіздкого устаткування для підготовки, транспортування, регенерування та утилізації проміжного теплоносія, що істотно знижує матеріалоемність обладнання для одержання цільового продукту.

Аналіз попередніх досліджень. Питання стабілізації теплового режиму технологічних процесів із застосуванням феромагнітних матеріалів з певною температурою Кюрі вже було порушене авторами [8–10], проте за час, що минув відтоді, було запропоновано нові технічні рішення, які ґрунтуються на зазначеному методі.

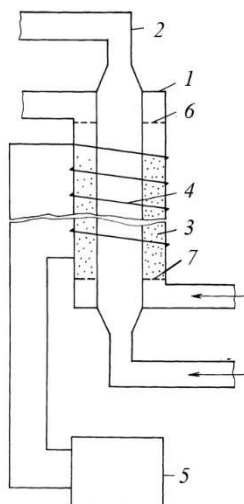
Метою статті є критичний аналіз застосування конструктивних елементів технологічного й допоміжного обладнання високопродуктивних наукоємних виробництв, насамперед хімічної галузі промисловості, виготовлених з феромагнітного матеріалу з температурою фазового переходу II роду (температурою Кюрі, точкою Кюрі), що відповідає потрібній температурі оброблюваного або транспортованого текучого чи сипкого середовища.

Виклад основного матеріалу.

В основу ефекту стабілізації теплового режиму технологічних процесів із застосуванням конструктивних елементів обладнання, які стикаються з оброблюваним текучим або сипким середовищем і виготовлені з певного феромагнітного матеріалу, покладено явище зазначеного феромагнітного матеріалу нагріватися під дією змінного електромагнітного поля до моменту досягнення цим матеріалом точки Кюрі, після чого він втрачає магнітні властивості й перестає нагріватися. За подальшого поступового охолодження феромагнітний матеріал (і відповідно виготовлений з нього конструктивний елемент обладнання) знову набуває магнітних властивостей і починає нагріватися, після чого цикл «нагрівання–охолодження» у вузькому температурному інтервалі триватиме доти, поки на зазначений елемент діятиме змінне електромагнітне поле. При цьому забезпечуються стабільний температурний режим текучого або сипкого матеріалу, що міститься в обладнанні або транспортується ним.

Теплообмінне обладнання

Одним із зразків обладнання з використанням запропонованого ефекту є вертикальний теплообмінник (пат. RU2107874C1; рис. 1), що містить співвісні труби 1 і 2, зовнішню з яких (трубу 1) виготовлено з немагнітного матеріалу. Між обмежувальними решітками 6 і 7, що перекривають кільцевий міжтрубний простір теплообмінника, розміщено частинки 3 з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає потрібній кінцевій температурі текучого середовища, що рухається в зовнішній трубі 1. При цьому навколо зовнішньої труби 1 змонтовано котушку індуктивності 4, яку під'єднано до джерела змінного струму 5 для створення в міжтрубному просторі змінного електромагнітного поля.



1, 2 – зовнішня й внутрішня труби; 3 – частинки з феромагнітного матеріалу;
4 – котушка індуктивності; 5 – джерело змінного струму; 6, 7 – обмежувальні решітки

Рис. 1 – Теплообмінник для нагрівання текучого середовища (пат. RU2107874C1)

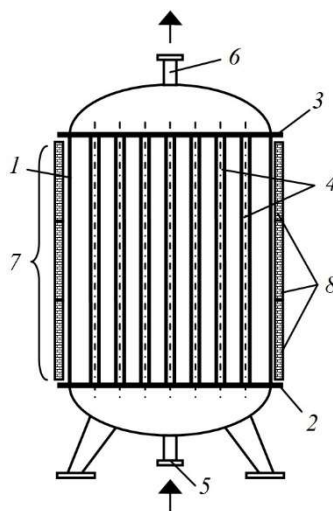
У кільцевий міжтрубний простір з розміщеними в ньому феромагнітними частинками надходить оброблюване середовище, у потоці якого зазначені частинки утворюють зріджений шар. При цьому у внутрішній трубі рухається потік з температурою нижчою за точку Кюрі матеріалу частинок.

У разі надходження в міжтрубний простір охолодженого рідкого середовища під впливом змінного електромагнітного поля відбувається індукційне нагрівання частинок, яке триває доти, поки їхня температура не досягне точки Кюрі, після чого вони перестають нагріватися. Оскільки температура оброблюваного середовища нижче від потрібного значення, то відбувається теплообмін між частинками й середовищем, при цьому його інтенсивність зростає внаслідок хаотичного руху частинок і значно перевищує інтенсивність теплообміну між оброблюваним середовищем і 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, і 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 та руйнують ламінарний примежовий шар теплоносія в 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.

Іншу конструкцію трубчастого теплообмінного апарата запропоновано в пат. UA68042U (рис. 2). Під час роботи цього апарата теплоносій, що потребує нагрівання, надходить у штуцер 5, розподіляється по виготовлених з феромагнітного матеріалу трубчастих теплообмінних елементах 4 і крізь штуцер 6 видаляється з апарата. При цьому корпус 1 виготовлено з немагнітного матеріалу, а в міжтрубному просторі відсутній теплоносій (тобто теплообмінник виконано однопотоковим).

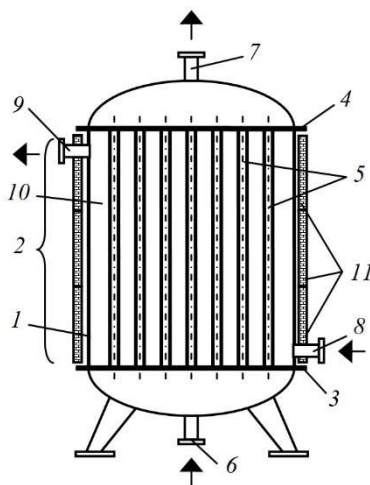
Після підключення котушки індуктивності 7 до джерела електричного струму трубчасті теплообмінні елементи 4 внаслідок індукції нагріваються доти, поки їхня температура не зрівняється з точкою Кюрі матеріалу трубчастих елементів 4, після чого зазначені елементи втрачають магнітні властивості й перестають нагріватися. За подальшого поступового охолодження вони знову набувають магнітних властивостей і починають нагріватися, що забезпечує стабільні умови нагрівання текучого середовища в апараті. Виконання котушки індуктивності 7 у вигляді окремих секцій 8 забезпечує можливість ефективного нагрівання теплоносія підключенням або відключенням зазначених секцій 8 і відповідно потрібну кінцеву температуру текучого середовища.



1 – корпус; 2, 3 – трубні решітки; 4 – теплообмінні елементи з феромагнітного матеріалу;
5, 6 – штуцери для підведення й відведення теплоносія, відповідно; 7 – котушка індуктивності

Рис. 2 – Однопотоковий кожухотрубчастий теплообмінник (пат. UA68042U)

Під час роботи удосконаленої конструкції попереднього теплообмінника теплоносії, що потребує нагрівання, надходить у штуцери 6 і 8, розподіляється як по теплообмінних трубах 5, так і ззовні них у міжтрубному просторі 10, після чого крізь штуцери 7 і 9 видаляється з апарата (пат. UA75172U; рис. 3). Принцип дії апарата аналогічний принципу дії теплообмінника, зображеного на рис. 2 (за винятком того, що забезпечуються стабільні умови нагрівання теплоносія, що рухається як у трубному, так і міжтрубному просторах теплообмінника).



1 – корпус; 2 – котушка індуктивності; 3, 4 – трубні решітки; 5 – теплообмінні елементи з феромагнітного матеріалу; 6, 7 – штуцери для підведення й відведення теплоносія, відповідно; 8, 9 – штуцери для руху теплоносія в міжтрубному просторі 10

Рис. 3 – Двопотоківий кожухотрубчастий теплообмінник (пат. UA75172U)

Теплообмінник, у циліндричному корпусі якого послідовно розташовано секції з насадковими елементами, виготовленими з матеріалів з різною точкою Кюрі, дає змогу рівномірно нагрівати потік текучого середовища до потрібної температури (пат. JP2018146155A). Недолік конструкції – «холоста» робота решти секцій під час роботи певної секції, а отже й підвищений гідравлічний опір апарата.

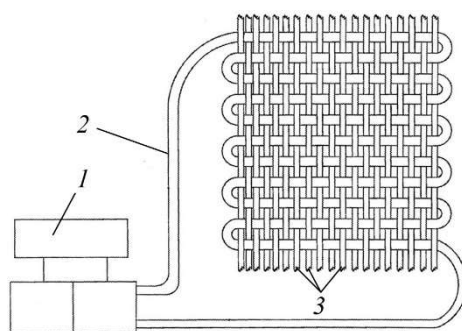
Електронагрівальні пристрої, в яких реалізовано зазначений магнітотермічний (магнітокалоричний) ефект, містять датчики температури та обмежують можливий перегрів оброблюваного середовища (пат. US5329085A, US9510398B1, GB2273232A, заявки WO93/20670A1, US2016/257034A1).

Запропоновано конструкцію високоєфективного охолоджувального пристрою з робочими елементами, виготовленими з магнітотермічних матеріалів і встановленими як в «гарячій», так і в «холодній» секціях пристрою (заявки US2015/260433A1, KR20150107235A).

Запропоновано декілька конструкцій тканих нагрівальних (теплозахисних) ковдр, до складу яких входять переплетені між собою щонайменше один електропровідний провід, призначений для генерування магнітного поля, а також численні чутливі нагрівальні проводи, виготовлені з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає потрібному тепловому режиму (пат. CN106676747A, EP3169139B1, US11051368B2, заявки US2017/135156A1, US2020/084841A1; рис. 4). Проте такі ковдри можуть використовуватися і як гнучкі електронагрівальники для обладнання та трубопроводів, а також інших фасонних поверхонь (пат. EP3621410A1).

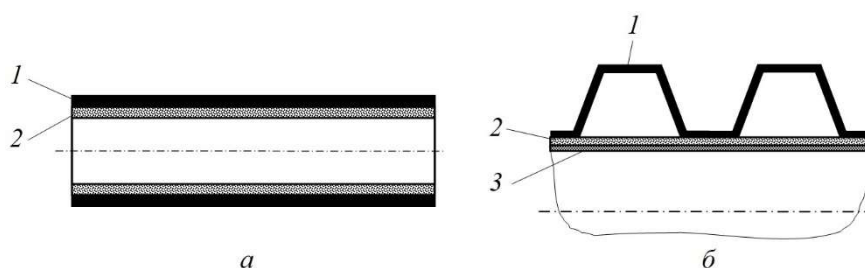
Полімерна труба для транспортування рідкого середовища містить щонайменше два шари з різними властивостями, кожний з яких виготовлено з термопластичного матеріалу з полімерною матрицею, при цьому термопластичний матеріал щонайменше одного з внутрішніх шарів містить наповнювач з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає потрібній температурі транспортованого рідкого середовища (пат. UA139994U; рис. 5). Наповнювач при цьому може бути застосовано у вигляді частинок або коротких волокон, або їхньої суміші, а зовнішній шар труби – виконано гофрованим.

Нагрітий теплоносієм транспортується в каналі полімерної труби. Після підключення котушки індуктивності до джерела електричного струму внаслідок того, що полімерна труба виготовлена з немагнітного матеріалу (у результаті чого вона не виконує роль екрана для змінного магнітного поля)



1 – джерело електричного струму з датчиком температури; 2 – електропровідний провід;
3 – чутливі нагрівальні проводи

Рис. 4 – Будова електронагрівальної ковдри (пат. CN106676747A, EP3169139B1, US11051368B2)



a – двошарова труба; *б* – тришарова труба; 1 – зовнішній захисний шар;
2 – шар з феромагнітним наповнювачем; 3 – внутрішній захисний шар

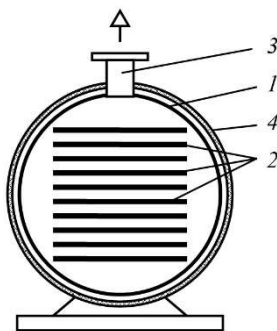
Рис. 5 – Полімерна труба (пат. UA139994U)

частинки наповнювача з магнітного матеріалу (феромагнітний наповнювач) внаслідок індукції нагріваються. За умови досягнення ними температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу наповнювача, вони втрачають магнітні властивості, внаслідок чого вони перестають нагріватися. За подальшого поступового охолодження частинки наповнювача знову набувають магнітних властивостей і під дією магнітного поля знову починають нагріватися. Таким чином підтримується постійна температура наповнювача (а отже шару 2 полімерної труби та транспортованого полімерною трубою потоку), що відповідає точці Кюрі наповнювача. Застосування наповнювача у вигляді частинок або коротких волокон, або їхньої суміші знижує вартість полімерної труби, а виконання її зовнішнього шару 3 гофрованим утворює своєрідний теплоізоляційний шар зазначеної труби, що знижує теплові втрати в навколишнє середовище, а отже підвищує ефективність її роботи.

Тепломасообмінне обладнання

Також запропоновано конструкцію сушарки, що містить виконаний з немагнітного матеріалу корпус 1 з розташованими в ньому обігрівними піддонами 2 для розміщення на них матеріалу, що підлягає сушінню, а також патрубком 3 для відводу пари, що утворюється під час сушіння (пат. UA89173U, рис. 6). Ззовні корпуса 1 на ділянці розміщення піддонів змонтовано котушку індуктивності 4, а піддони повністю або частково виконано з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі процесу сушіння.

Матеріал, що підлягає сушінню, розташовують на піддонах 2, після чого їх розміщують один над одним у порожньому корпусі 1 сушарки. Після закриття дверцят корпуса котушку індуктивності підключають до джерела електричного струму. Оскільки порожнистий корпус 1 виконано з немагнітного матеріалу, піддони 2 або їхні 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 і починають нагріватися. Таким чином, підтримується постійна температура піддонів 2 або їхніх конструктивних елементів і відповідно висушуваного матеріалу, яка дорівнює точці Кюрі матеріалу піддонів 2 або їхніх елементів. Волога, що виділяється з матеріалу, у вигляді пари видаляється за межі сушарки крізь патрубок 3. Зазначена сушарка також може працювати як вакуум-сушильна шафа або сублимаційна сушарка.



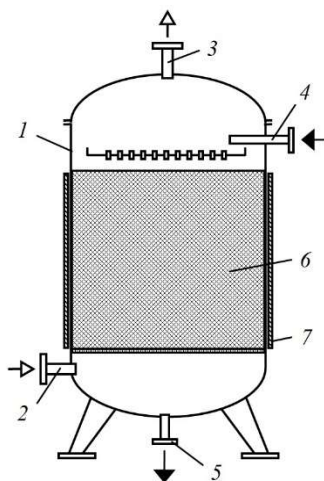
1 – порожнистий корпус; 2 – піддони; 3 – патрубок

Рис. 6 – Контактна сушарка для сипких або поштучних матеріалів (пат. UA89173U)

Також розроблено насадковий апарат для проведення тепломасообмінного процесу, який містить порожнистий корпус 1, споряджений патрубками 2–5 і заповнений насадкою 6, при цьому корпус виконано з немагнітного матеріалу (пат. UA52742U, рис. 7). Із зовнішнього боку корпуса на ділянці розташування насадки 6 змонтовано котушку індуктивності 7, а насадку 6 виконано з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі проведення тепломасообмінного процесу в апараті. Для зниження навантаження з боку насадки на підтримувальні решітки насадку може бути виконано порожнистою.

Під час проходження важкої фази по порожнистому корпусу 1 за допомогою патрубків 4 і 5 зверху вниз, а легкої їй назустріч – знизу вгору за допомогою патрубків 2 і 3 – відбувається безперервна взаємодія зазначених фаз в об’ємі шару насадки 6 (точніше на поверхні насадкових тіл).

Тепломасообмінний процес, що проходить 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. 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 і знову починають нагріватися. У результаті підтримується постійна температура насадки й відповідно оброблюваних в апараті середовищ, яка дорівнює точці Кюрі матеріалу насадки.

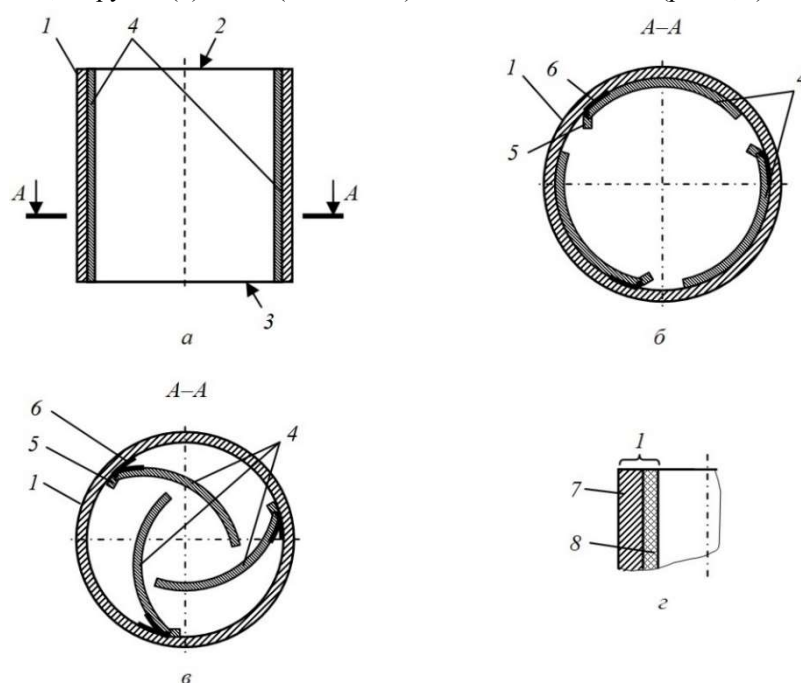


1 – порожній корпус; 2–5 – технологічні патрубки; 6 – насадка з феромагнітного матеріалу;
7 – котушка індуктивності

Рис. 7 – Насадковий тепломасообмінний апарат (пат. UA52742U)

Таким чином, запропонована конструкція підвищує ефективність роботи насадкового апарата, забезпечуючи стабільний температурний режим тепломасообмінного процесу, а отже й високу якість одержуваної продукції. При цьому тип насадки може бути найрізноманітнішим [11–13].

У патенті UA97233U описано насадку тепломасообмінного апарата, яка містить оболонку 1 у вигляді круглого прямого циліндра з двома відкритими основами 2 і 3 і розміщені всередині неї поздовжні елементи 4, кожний з яких виконано у вигляді сектора циліндричної трубки, зовнішній радіус якої відповідає внутрішньому радіусу оболонки, шарнірно закріпленого на оболонці 1, а також спорядженого 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, який передбачає потребу в збільшенні питомої поверхні насадки (рис. 8, а–в). При цьому оболонку 1 та/або кожний з поздовжніх елементів 4 також може бути виконано з двох шарів, один (7) з яких забезпечує міцність і жорсткість оболонки та/або кожного з поздовжніх елементів, а другий (8) – їхні (її або його) магнітні властивості (рис. 8, з).



1 – оболонка; 2 і 3 – основи оболонки 1; 4 – поздовжні елементи; 5 – обмежник повороту;
6 – пружина; 7 і 8 – шари оболонки

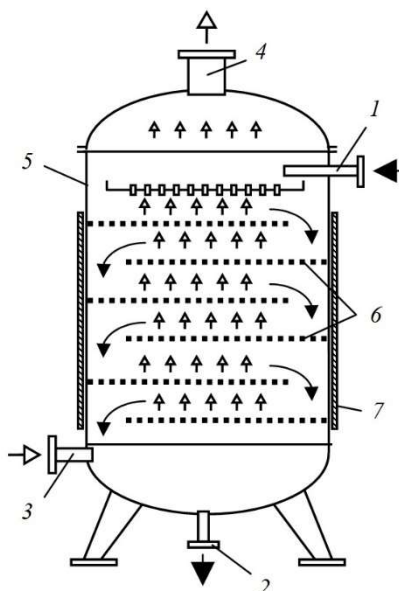
Рис. 8 – Насадка тепломасообмінного апарата (пат. UA97233U)

Насадку непорядковано засипають або у вертикальному положенні укладають шарами в тепломасообмінний апарат (перший шар на підтримувальну решітку, а кожний наступний – на попередній ряд), при цьому шари можуть бути зміщені один відносно одного (зазвичай на половину діаметра 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, і тому контакт фаз в об'ємі насадки здійснюється на зовнішній поверхні оболонки 1 і на внутрішній поверхні поздовжніх елементів 4. Після підвищення температури в апараті (це може відбуватися, наприклад, під час абсорбції, теплота абсорбції спричинює підвищення температури абсорбенту, при цьому 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 «притиснуто» до внутрішньої поверхні оболонки 1).

Також розроблено і тарілчастий апарат для проведення тепломасообмінного процесу аналогічного принципу дії (пат. UA90727U, рис. 9).



1–4 – патрубки для підведення й відведення фаз; 5 – корпус; 6 – тарілки; 7 – котушка індуктивності

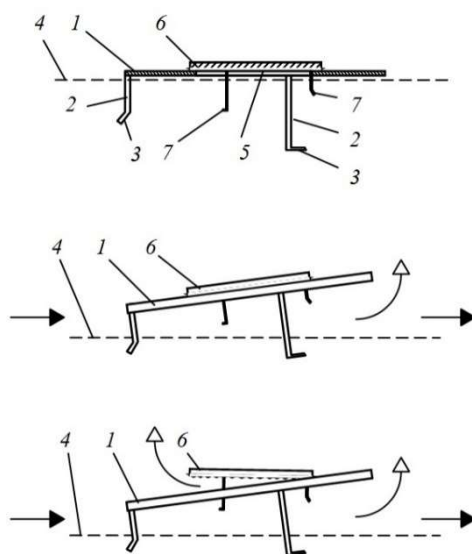
Рис. 9 – Тарілчастий апарат для проведення тепломасообмінного процесу (пат. UA90727U)

Цей апарат може працювати як випарник або як масообмінна колона (зокрема ректифікаційна).

У першому випадку вихідний розчин крізь патрубок 1 потрапляє в корпус 5, розподіляється по поверхні верхньої тарілки і далі поступово переливається з вищерозташованих тарілок 6 на нижчерозташовані. Після підключення котушки індуктивності 7 до джерела електричного струму внаслідок того, що порожнистий корпус 5 виконано з немагнітного матеріалу феромагнітні тарілки 6 або їхні конструктивні 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 і відповідно випарюваного в апараті середовища, яка дорівнює точці Кюрі матеріалу тарілок 6 або їхніх елементів. Упарений розчин видаляється крізь патрубок 2, а утворена пара – крізь патрубок 4.

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

У патенті UA97232U описано конструкцію та принцип роботи клапана клапанної тарілки масообмінної колони, який містить диск 1, споряджений пластинчастими напрямними 2 з обмежниками 3 його підйому відносно полотна тарілки 4. У диску 1 виконано 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 виконано у вигляді постійного магніту, а додатковий диск 6 (диск 1) – з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі настання критичного режиму проведення тепломасообмінного процесу, що передбачає потребу в збільшенні прохідного перерізу клапана (рис. 10). Диск 1 або додатковий диск 6 може бути також виконано з двох шарів, один з яких забезпечує міцність і жорсткість диска або додаткового диска, а другий – його магнітні властивості, наприклад нижній шар додаткового диска 6 може бути виконано у вигляді еластичного магніту, прикріпленого до верхнього металевому шару (не показано).



1 і 6 – основний і додатковий диски; 2 – пластинчасті напрямні; 3 і 7 – обмежники підйому;
4 – полотно тарілки; 5 – отвір

Рис. 10 – Клапан клапанної тарілки масообмінної колони й принцип його дії (пат. UA97232U)

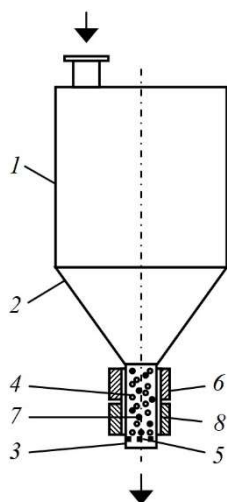
Під час роботи масообмінного апарата важка фаза рухається по полотну тарілки 4, а легка проходить крізь її отвори і підіймає диски 1 клапанів до упору обмежників 3 у нижню частину полотна тарілки 4. У разі досягнення оброблюваними фазами температури, що дорівнює точці Кюрі матеріалу диска 1 або додаткового 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 в проміжок між диском 1 і додатковим диском 6, що компенсує негативну дію підвищеної температури на тарілці. 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. Конструкція клапана при цьому може відрізнятися від наведеної на рис. 10 [14].

Запропоновано спосіб десорбції, за якого адсорбовану речовину вилучають з адсорбенту в присутності магнітного матеріалу, що має точку Кюрі від 50 до 350 °С. Процес десорбції при цьому проходить надзвичайно зручно та ефективно (заявка US2005/184062A1), а реалізувати його можна як у щільному шарі адсорбенту й частинок магнітного матеріалу, так і в більш ефективному псевдозрідженому шарі [15–17].

Механічне обладнання

У патенті UA125503U запропоновано живильник сипкого матеріалу, який містить вертикальний циліндричний бункер 1, конічне днище 2 і випускний патрубок 3 з розташованими в ньому феромагнітними тілами 4 і сіткою 5 у його нижній частині, при цьому випускний патрубок 3 виконано з немагнітного матеріалу, а 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), а навколо випускного патрубку 3 також змонтовано котушку індуктивності 8 (рис. 11).

Під час роботи живильника завдяки дії електромагніту 6 феромагнітні тіла 4 і 7 рухаються в порожнині випускного патрубку 3, розпушуючи сипкий матеріал. Після підключення котушки індуктивності 8 до джерела електричного струму внаслідок того, що випускний патрубок 3 виконано 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 вони перестають нагріватися. За подальшого поступового охолодження феромагнітні тіла 7 знову набувають магнітних властивостей і під дією магнітного поля знову починають нагріватися. Таким чином підтримується постійна температура феромагнітних тіл 7 (а отже і оброблюваного сипкого матеріалу, що проходить крізь випускний патрубок 3 живильника).

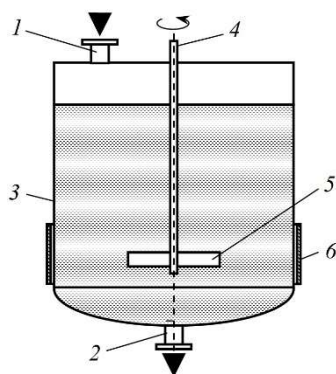


1 – вертикальний циліндричний бункер; 2 – конічне днище; 3 – випускний патрубок;
4 і 7 – феромагнітні тіла; 5 – сітка; 6 – електромагніт; 8 – котушка індуктивності

Рис. 11 – Живильник сипкого матеріалу (пат. UA125503U)

Гідромеханічне обладнання

Пристрій для перемішування рідин містить споряджений штуцерами 1 і 2 вертикальний циліндричний корпус 3, а також розміщений у його порожнині вертикальний вал 4 з мішалкою 5, при цьому вертикальний циліндричний корпус 3 виконано з немагнітного матеріалу, ззовні корпуса 3 на рівні розташування мішалки 5 змонтовано котушку індуктивності 6, а мішалку 5 виконано з феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає потрібній температурі перемішування рідин (пат. UA137441U; рис. 12).



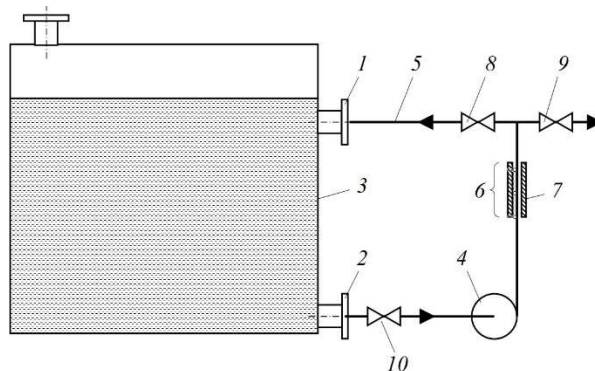
1 – впускний патрубок; 2 – випускний патрубок; 3 – корпус; 4 – вертикальний вал;
5 – мішалка; 6 – котушка індуктивності

Рис. 12 – Апарат з мішалкою (пат. UA137441U)

Під час обертання вертикального вала 4 мішалка 5 перемішує рідину. Під час проходження електричного струму по котушці індуктивності 6 внаслідок того, що вертикальний циліндричний корпус 3 виконано з немагнітного матеріалу мішалка 5 внаслідок індукції нагрівається. Після досягнення нею температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу мішалки 5, вона втрачає магнітні властивості та перестає нагріватися. За подальшого поступового охолодження мішалка 5 знову набуває магнітних властивостей і починає нагріватися. Таким чином підтримується постійна температура мішалки 5 (а отже і перемішуваної рідини), що дорівнює точці Кюрі матеріалу мішалки.

Пристрій для циркуляційного перемішування рідини містить споряджений штуцерами 1 і 2 резервуар 3, а також розміщений за його межами насос 4, вхід і вихід якого сполучено трубопроводом 5 зі штуцерами 1 і

2 резервуара 3, при цьому трубопровід 5 має щонайменше одну ділянку 6, виконану з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає потрібній температурі перемішування рідини, при цьому навколо кожної зазначеної ділянки 6 змонтовано котушку індуктивності 7 (пат. UA146332U% рис. 13). На трубопроводі 5 встановлено крани 8–10, а кожну ділянку 6 ззовні може бути споряджено шаром теплоізоляційного матеріалу (не показано).

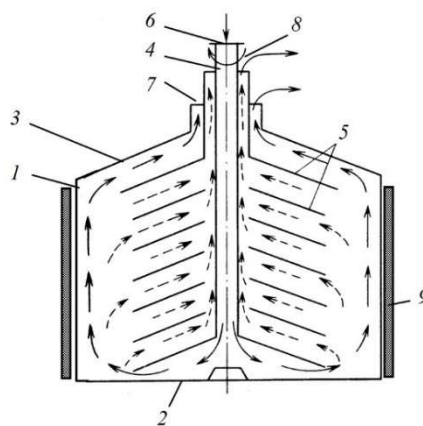


1, 2 – штуцери; 3 – резервуар; 4 – насос; 5 – трубопровід; 6 – ділянка трубопроводу, виконана з магнітного матеріалу; 7 – котушка індуктивності.

Рис. 13 – Сепаратор для розділення емульсій (пат. UA146332U)

Для перемішування рідини в резервуарі 3 відкривають крани 8 і 10, закривають кран 9 і вмикають насос 4. Після цього рідина починає рухатися трубопроводом 5 за замкненим контуром. Під час проходження електричного струму по котушці індуктивності 7 внаслідок того, що кожну ділянку 6 трубопроводу 5 виконано з магнітного матеріалу, зазначена ділянка 6 внаслідок індукції нагрівається. Після досягнення нею температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу ділянки 6, вона втрачає магнітні властивості та перестає нагріватися. За подальшого поступового охолодження ділянка 6 знову набуває магнітних властивостей і починає нагріватися. Таким чином підтримується постійна температура ділянки 6 (а отже і перемішуваної рідини), що дорівнює точці Кюрі матеріалу ділянки 6. Після закінчення перемішування кран 8 закривають, а кран 9 відкривають і за умови продовження роботи насоса 4 рідину подають споживачу. Ззовні кожну ділянку 6 може бути вкрито теплоізоляційним матеріалом (бажано і трубопровід 5 також) запобігає тепловим втратам в навколишнє середовище.

Під час роботи сепаратора вихідна емульсія крізь порожнистий вертикальний вал 4 потрапляє в корпус 1 під пакет конічних тарілок 5 (пат. UA66592U, рис. 14).



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, відповідно; 9 – котушка індуктивності.

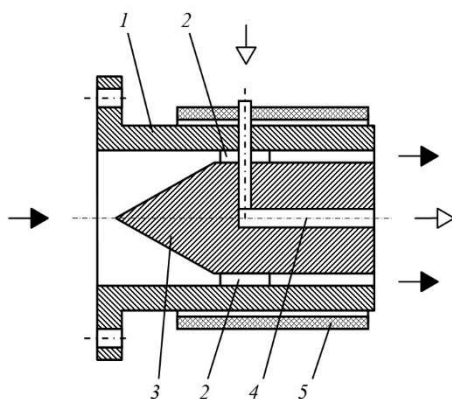
Рис. 14 – Сепаратор для розділення емульсій (пат. UA66592U)

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 і крізь патрубок 8 виводиться за межі сепаратора. Легка ж фаза рухається між тарілками 5 до їхнього центра й крізь патрубок 9 потім також виводиться за межі сепаратора.

Після підключення котушки індуктивності до джерела електричного струму внаслідок того, що корпус виконано з немагнітного матеріалу, феромагнітні конічні тарілки внаслідок індукції нагріваються. За умови досягнення 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 і знову починають нагріватися. Таким чином підтримується постійна температура тарілок, що дорівнює точці Кюрі матеріалу конічних тарілок (а отже і оброблюваного в апараті середовища й насамперед легкої фази, яка рухається в проміжках між тарілками від їхньої периферії до центра).

Обладнання для перероблення полімерних матеріалів

В екструзійній головці розплав перероблюваного термопластичного матеріалу послідовно рухається в кільцевому каналі, утвореному стінкою порожнини корпусу 1 і поверхнею дорна 3 (пат. UA68120U, рис. 15). Повітря, що рухається всередині дорна 3, поступово його охолоджує. Після підключення котушки індуктивності 5 до джерела електричного струму внаслідок того, що корпус 1 виконано з немагнітного матеріалу, феромагнітний дорн 3 внаслідок індукції нагрівається. За умови досягнення ним температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу дорна 3, він втрачає магнітні властивості, внаслідок чого він перестає нагріватися. За подальшого поступового охолодження матеріал дорн знову набуває магнітних властивостей і знову починає нагріватися.



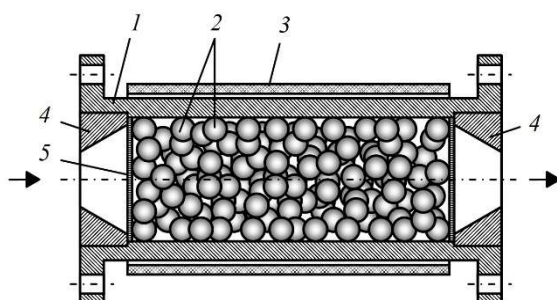
1 – корпус; 2 – дорнотримачі; 3 – дорн з феромагнітного матеріалу; 4 – канал; 5 – котушка індуктивності

Рис. 15 – Екструзійна головка (пат. UA68120U)

Таким чином, без використання складної системи теплової автоматики підтримується постійна температура дорна 3 (а отже і перероблюваного термопластичного матеріалу, що рухається в кільцевому проміжку між корпусом 1 і дорном 3), що дорівнює точці Кюрі матеріалу дорна 3. Недолік конструкції – обмежений клас перероблюваних полімерних матеріалів, що спричинено незмінною робочою температурою дорна (проте наявність комплекту дорнів з різних феромагнітних матеріалів усуває цей недолік, хоча й передбачає наявність комплекту декількох дорнів).

У статичному змішувачі розплав термопластичного матеріалу послідовно проходить крізь перехідник 4 на вході в корпус 1, далі крізь отвори перфорованих перегородок 5 і потрапляє в порожнину корпусу 1, заповнену виготовленими з феромагнітного матеріалу насадковими тілами 2 (пат. UA69843U, рис. 16). Проходячи між насадковими тілами 2, матеріал багаторазово дробиться на окремі мікропотіки, які знову об'єднуються між собою в один суцільний потік, і врешті-решт крізь перфоровану перегородку 5 і перехідник 4 на виході з корпусу 1 видаляється за його межі.

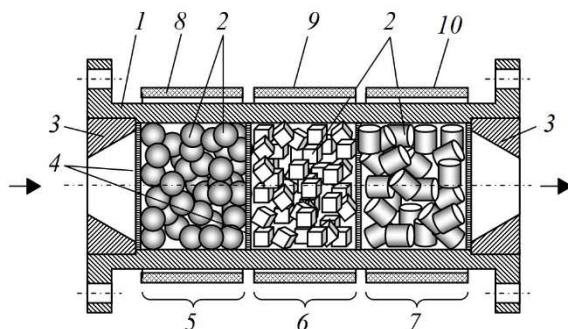
Підтримання постійної температури насадкових тіл 2 (а отже і перероблюваного термопластичного матеріалу, який рухається в проміжках між насадковими тілами 2), що дорівнює точці Кюрі матеріалу насадкових тіл 2, здійснюється аналогічно попереднім конструкціям.



1 – корпус; 2 – насадкові тіла з феромагнітного матеріалу; 3 – котушка індуктивності;
4 – перехідники; 5 – перфоровані перегородки

Рис. 16 – Статичний змішувач для перероблення полімерів (пат. UA69843U)

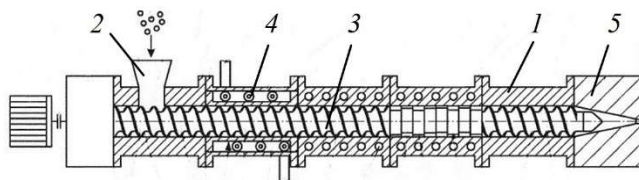
У подальшому розвитку конструкції наведеного на рис. 17 статичного змішувача його активну ділянку розділено на декілька секцій, кожна з яких заповнено насадковими тілами різного типорозміру та/або виготовленими з різних феромагнітних матеріалів (пат. UA84023U; рис. 12). Таке рішення дає змогу більш ефективно впливати на гідродинаміку й температурний режим термопласту, а також розширити номенклатуру перероблюваних матеріалів.



1 – корпус; 2 – насадкові тіла з одного чи декількох різних феромагнітних матеріалів; 3 – перехідники;
4 – перфоровані перегородки; 5–7 – секції насадкових тіл; 8–10 – котушки індуктивності

Рис. 17 – Статичний змішувач для перероблення полімерів (пат. UA84023U)

У міжнародній заявці № WO2015/154973A1 розглянуто конструкцію одно- або двочерв'ячного екструдера, одну секцію корпуса якого виготовлено з немагнітного матеріалу. Навколо зазначеної секції змонтовано котушку індуктивності, під час проходження по якій електричного струму відповідна секція черв'яка (черв'яків) починає нагріватися, що прискорює плавлення полімерного матеріалу в робочому каналі (рис. 18).



1 – корпус; 2 – завантажувальне вікно корпуса; 3 – черв'як; 4 – котушка індуктивності;
5 – екструзій на головка

Рис. 18 – Черв'ячний екструдер із секцією попереднього нагрівання термопласти (заявка № WO2015/154973A1)

Недоліком цієї конструкції є те, що черв'як (або черв'яки) по всій довжині корпусу треба інтенсивно охолоджувати. Одночасне же нагрівання та охолодження ділянки черв'яка (черв'яків) на довжині секції корпусу, оснащеної котушкою індуктивності, при цьому трохи ускладнюється.

Також запропоновано конструкцію термостабілізованої форми для одержання полімерних виробів екструзією з роздуванням (пат. JP2013173256A).

Однією з проблем, що виникає під час експлуатації різноманітного обладнання з робочими органами у вигляді великогабаритних барабанів або валків, зокрема валків вальців і каландрів для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей [18–20], є вимірювання температури їхніх бочок. Полегшити контроль температури робочої поверхні обертового барабана або валка при цьому може безконтактний датчик температури, принцип дії якого ґрунтується на магнітотермічному ефекті (пат. US3891861A).

Також цей метод застосовується під час зварювання виробів з полімерних матеріалів, для чого в них заздалегідь вводять феромагнітні частинки з точкою Кюрі, що відповідає температурному режиму процесу зварювання. Під впливом магнітного поля на відповідні ділянки зварюваних виробів полімер під дією нагрітих феромагнітних частинок плавиться, проте не перегрівається й не піддається термодеструкції [1, 21] (пат. US6056844A, заявки WO03/082547A1, US2002/113066A1, US2003/183986A1, US2004/021249A1, US2009/127253A1).

Аналогічний спосіб для використання індукційного нагрівання з метою швидкого, рівномірного й контрольованого нагрівання немагнітного, електрично непровідного матеріалу запропоновано в пат. US5378879A) і заявці WO9424837A1. Феромагнітні частинки з високою магнітною проникністю й електропровідністю, які переважно мають конфігурацію пластівців, додають до основного матеріалу, зокрема полімерного, і піддають впливу високочастотних змінних електромагнітних полів, утворюваних, наприклад, індукційною котушкою. Висока теплогенерувальна ефективність зазначених частинок під впливом змінних магнітних полів дає змогу зменшити їх об'ємну частку в основному матеріалі, так що основні властивості виробу залишаються майже незмінними. Перегріву виробу при цьому можна запобігти відповідним вибором точки Кюрі матеріалу частинок таким чином.

Спосіб з'єднання полімерної труби з полімерними муфтою, фітингом або іншою трубою зварюванням за допомогою феромагнітного нагрівального елемента, матеріал якого має температуру Кюрі, не нижче за температуру плавлення матеріалів з'єднуваних елементів наведено в пат. EP1064145A1, GB2333817A, JP2002501842A та заявці WO9938669A1.

Фітинг для з'єднання полімерних труб з феромагнітним нагрівальним елементом, який має температуру Кюрі, не нижчу за температуру плавлення полімеру, запропоновано в пат. US6585924B1, US6998588B2, GB2325501A та заявках WO98/53241A1, EP0983465A1, US2003/209904A1, DE69801052T2, JP2002502325A.

Засоби для перетворення теплової енергії на електричну або механічну енергію

Спосіб перетворення теплового потоку для генерування електроенергії запропоновано в пат. UA86257U, за яким теплову енергію перетворюють на рух електричного генератора. Відповідно до цього технічного рішення як перетворювач ресурсного тепла на електроенергію застосовують двигун Стірлінга, вал якого з'єднують з валом електрогенератора, при цьому передавач високотемпературної теплової енергії від теплового потоку до двигуна Стірлінга встановлюють на поверхні гарячої труби водопостачання або опалення, а передавач низькотемпературної теплової енергії – на холодній трубі водопостачання або опалення, а для отримання додаткової електроенергії гарячий поршень виконують з магнітного матеріалу, точка Кюрі якого перевищує максимальну температуру теплового навантаження на цей поршень, причому циліндр або корпус для цього поршня виконують з термостійкої пластмаси або кремнію, і ззовні або в стінках циліндра або корпусу розміщують електричні котушки, приєднані до засобів мережі резервного електропостачання. У результаті під час руху поршня в електричних котушках генерується електроенергія.

Пристрій для перетворення теплової енергії на механічну енергію, зокрема на кінетичну енергію рідини з феромагнітними частинками, описано в пат. GB1235328A. Пристрої для перетворення теплової енергії на механічну енергію при цьому часто називають термоелектричними двигунами, колесами Кюрі, двигунами Кюрі або піромагнітними двигунами (пат. GB2580032A).

Пристрій для перетворення теплової енергії вихлопних газів або теплової енергії сонячного світла на механічну або електричну енергію зміною магнітної проникності низькотемпературних магнітних речовин з відповідною точкою Кюрі (заявка US2012/067050A1). Технічні рішення аналогічного принципу дії наведено в пат. JP2015104181A, JP2016192860A.

Запропоновано й інші, відносно прості, способи перетворення теплової енергії на електричну (пат. US7705513B1), RU2382479C1, RU2626412C1) або механічну (пат. JP2013158191A) енергію.

Машинобудування й металургія

Однією з найбільш ранніх розробок у порушеному питанні можна вважати спосіб внутрішнього шліфування (а.с. SU312746A1), зокрема сталевих феромагнітних труб, шляхом впливу на виріб

феромагнітного середовища, яке приводять у рух за допомогою обертового магнітного поля, при цьому виріб нагрівають до температури не нижчу за точку Кюрі матеріалу виробу, а матеріал порошкоподібного абразиву обирають з точкою Кюрі, вищою за температуру нагрівання виробу (у цьому разі виріб втрачає магнітні властивості, в результаті чого магнітний потік діє насамперед на частинки порошкоподібного абразиву, який здійснює ерозійне очищення внутрішньої поверхні виробу, наприклад, сталеві труби). Істотним недоліком цього способу є значна енергоємність, насамперед під час оброблення труб великого діаметра та/або труб з низьким SDR – стандартним співвідношенням діаметра й товщини стінки труби [22].

Магнітотермічний ефект також застосовано в способі контролю температури під час відпалювання зварювального шва між теплообмінною трубою та трубчастою решіткою теплообмінника, який використовується насамперед на атомних електростанціях і потребує підвищеної надійності під час експлуатації (заявка EP0136810A2).

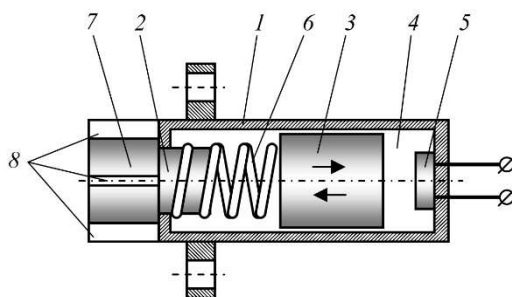
Розроблено спосіб і пристрій для нагрівання заготовки з магнітного металевго матеріалу до температури кування або іншої технологічної операції з підвищеною температурою оброблення, що перевищує температуру точки Кюрі металу заготовки. Спосіб реалізується попереднім індукційним нагріванням заготовки в індукційній нагрівальній котушці до температури попереднього нагріву, що незначно перевищує точку Кюрі температури металу заготовки, та наступним транспортуванням попередньо нагрітої заготовки в камеру нагріву щільної високоефективної електричної печі радіаційного тепла з її подальшим нагріванням до більш високої температури остаточного оброблення (пат. US4619717A).

Пристрої аналогічного принципу дії для попереднього нагрівання металевіої смуги під час її термічного оброблення описано в пат. EP2133436A1 і заявках WO98/11761A1, KR20000036065A, JP2009221577A, JP2009221578A, а для металевих заготовок складної форми, зокрема кулачків або кулачкових валів – у пат. GB1129490A.

Також запропоновано спосіб вимірювання температури рідких металів і неметалічних високотемпературних середовищ, який передбачає використання датчика з феромагнітного матеріалу, зануреного в досліджуване середовище (пат. UA24020C2). Вимірюється розподіл магнітної проникності по довжині феромагнітного датчика (наприклад, за допомогою рухомого вздовж виконаного феромагнітного датчика у вигляді сталевго стрижня постійного кільцевого магніту), визначається місце розташування точки Кюрі й температура вимірюваного розплаву, що відповідає положенню цієї точки. Винахід стосується області вимірювання температур і може бути використаний у ливарному, металургійному, скловарному й базальтовому виробництвах.

Приладобудування та електротехніка

Розроблено конструкцію пристрою для контролю температури оточуючого середовища (пат. UA97214U; рис. 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 корпусу 1 з можливістю вільного переміщення та впливу на контакти магнітокерованого вимикача 5, при цьому між чутливим елементом 2 і постійним магнітом 3 розташовано пружину стиску 6, а чутливий елемент 2 частково розташовано за межами порожнистого корпусу 1 з утворенням ділянки 7 для контакту з оточуючим середовищем. Ділянку 7 при цьому може бути оснащено ребрами 8 для збільшення її поверхні.



- 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

Рис. 19 – Пристрій для контролю температури оточуючого середовища (пат. UA97214U)

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 і постійного магніту 3 перевищує силу стиску пружини 6. За умови досягнення температури оточуючого середовища критичного значення чутливий елемент 2 нагрівається й втрачає феромагнітні властивості; у результаті сила притягання постійного магніту 3 зникає, і 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 оснащення 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 від критичного значення чутливий елемент 2 знову набуває феромагнітних властивостей, внаслідок чого до нього притягується постійний магніт 3, стискаючи при цьому пружину стиску 6, а вимикач 5 вимикається.

Численні конструкції термовимикачів і термоперемикачів аналогічного принципу дії запропоновано також у пат. DE3724337A1. Такі вимикачі зокрема призначені для вмикання й вимикання приводного електродвигуна вентилятора системи охолодження двигуна внутрішнього згорання автомобіля (виконавчий елемент при цьому виготовлено з нікель-цинкового або марганцево-цинкового фериту з точкою Кюрі близько 68 °С; пат. GB1010584A), у системі охолодження підшипників компресора реактивного двигуна (пат. GB1271260A) або в системі контролю печі (пат. GB807888A).

Сільське господарство, будівництво, харчова промисловість і медицина

Для термічного знищення личинок та яєць шкідників у крупі запропоновано змішувати її з феромагнітними частинками, виготовленими з матеріалу з точкою Кюрі 65 °С, після чого одержану сипку суміш піддавати дії електромагнітного поля [23]. Після оброблення суміші та її охолодження (і відповідно набуття феромагнітними частинками магнітних властивостей) феромагнітні частинки відділяють від крупи в магнітному сепараторі [4].

Розроблено цікаву конструкцію грійної опалубки (пат. RU2780462C1), яка забезпечує автоматичне підтримання заданих параметрів температури бетонної суміші в будівельних конструкціях в умовах температур нижче 5 °С. Зазначене технічне рішення полягає в тому, що в опалубці з індукційним нагріванням поверхні монолітних залізобетонних конструкцій, що включає грійний елемент, виконаний з порошку феромагнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі нагріву, розподіленого по поверхні палуби опалубки, виконаної з діелектричного або недіелектричного матеріалу, яка контактує з бетонною сумішшю, при цьому порошок феромагнітного матеріалу закріплено на поверхні опалубки за допомогою термостійкого клею та покрито полімерними композиціями, стійкими до стирання та температури.

Зазначений магнітотермічний ефект знайшов застосування також і в медицині. Зокрема запропоновано скальпель, лезо якого підтримується на певному температурному рівні, що полегшує розрізання тканин з одночасним гемостазом, зокрема зупинкою кровотечі (пат. US4207896A, US4364390A; рис. 20). Також запропоновано рідинний термометр зі швидким приведенням робочої рідини у вихідне положення після вимірювання температури (заявка WO2023/113642A1) і пінцет з термостабілізованими губками (пат. EP0727917A2). Крім того, запропоновано спосіб вимірювання температури з використанням як термометричної властивості намагніченості однодомених феромагнітних наночастинок з термомагнітних матеріалів з температурами Кюрі в діапазоні зміни вимірюваної температури (пат. RU2485461C1). Визначення значень температури та локалізацію точки її вимірювання ідентифікують за положенням та формою зображення чутливого елемента на ЯМР-томограмі (ЯМР – ядерно-магнітний резонанс).

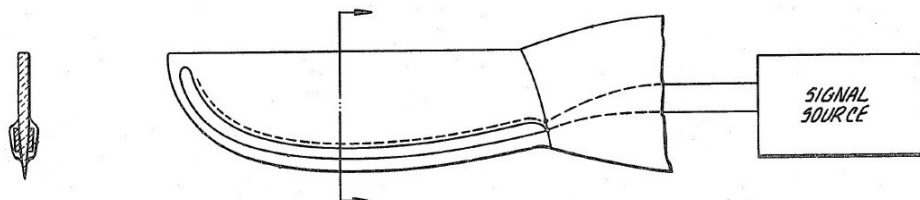


Рис. 20 – Скальпель з термостабілізованим лезом (пат. US4207896A, US4364390A)

Носії каталізаторів

Запропоновано пористе екзотермічне тіло з каталітичною функцією (каталізатор платинової групи), температура якого ніколи не перевищує попередньо визначеного значення. Носії каталізатора (пористе екзотермічне тіло) одержують спіканням сировинної суміші, що містить, % (мас.): 30–50 алюмінієвого порошку, 5–10 графітового порошку, 30–50 глиняного порошку та до 10 деревного порошку з додаванням води та/або сполучного (пат. JP2015204142A).

Вихлопні гази двигуна внутрішнього згорання піддаються очищенню, зокрема окисленню монооксиду вуглецю його контактом з каталізатором, нанесеним на підкладку, виготовлену із сегнетоелектричного матеріалу, який нагрівається проходженням крізь нього електричного струму, при цьому матеріал підкладки має точку Кюрі, потрібну для проведення ефективного процесу окиснення (пат. GB1492737A).

Інші застосування аналізованого методу забезпечення термостабілізації елементів обладнання

У кришці електричного чайника запропоновано встановлювати індикаторний пристрій з феритовою частиною, температура Кюрі матеріалу якої переважно становить 70–80 °С, що дає змогу контролювати ступінь підігріву води в чайнику, не доводячи її до кипіння (пат. GB1143834A).

Нагрівальний пристрій з магнітотермічним ефектом створює потрібний температурний режим у пристрої для синтезу наноструктур, якісні показники яких істотно залежать від температурного режиму синтезу (заявка US2008/264330A1).

Зазначений метод широко використовується для швидкого забезпечення потрібної температури термовалика принтерів і копіювальних апаратів, що сприяє надійній фіксації якісного зображення та тексту на папері (пат. US4253007A, US4266115A, US4320284A, US4329566A, заявки WO2006/011454A1, US2008/063445A1).

Розроблено конструкцію газового паяльника, термомагнітний елемент якого регулює подачу горючого газу в камеру згорання залежно від температури паяльного жала (пат. US5799648A, EP0759828B1, заявки WO95/09712A1, DE69415695T2), а також електропаяльника з термостабілізацією його жала (заявка EP0582011A1).

Запропоновано простий за конструкцією та в експлуатації клапан пробовідбірника для відбирання проб нафти зі свердловини (пат. RU2334101C1), клапани для контрольованого пропускання нагрітого середовища (пат. US2601579A, US4407448A), пристрої для вмикання вентилятора системи охолодження двигуна внутрішнього згорання (пат. RU2504702C1, RU2509221C1), пристрій для підігрівання паливоповітряної суміші для двигуна внутрішнього згорання (пат. US4390000A), засоби для запобігання підвищенню тиску вище критичного значення в паровому котлі (пат. JP2004138301A, JP2004191031A).

Пристрій моніторингу полум'я містить виготовлений з феромагнітного матеріалу датчик, розташований у полум'ї або поруч із ним, так що його згасання призводить до зміни магнітного потоку датчика нижче точки Кюрі, внаслідок чого генерується сигнал керування паливом, наприклад, електромагнітного клапана, щоб зменшити або припинити подачу рідкого, газоподібного або пиловугільного палива (пат. GB1249999A).

Розроблено будову та спосіб виготовлення скляної плівки з високими магнітострикційними властивостями (заявка US2012/128970A1), яка дає змогу в результаті зміни стану намагніченості змінювати її об'єм і лінійні розміри. Отже, таку магнітострикційну плівку можна використовувати в магнітострикційних перетворювачах ультразвуку – пристроях, що перетворюють енергію магнітного поля на енергію механічних коливань або навпаки.

Запропоновано пластичну суміш з характеристиками електромагнітного екранування, що містить сегнетоелектричні та електропровідні та/або феромагнітні наповнювачі, при цьому сегнетоелектричний компонент має точку Кюрі в діапазоні температур використання електромагнітного екрануючого матеріалу від мінус 40 до 98 °С, при цьому об'ємна частка електромагнітного компонента в пластичній суміші становить 1–2 %, а електропровідного або феромагнітного наповнювача – 5–15 % (пат. US4783279A).

З початку третього тисячоліття проводяться ґрунтовні дослідження в напрямку застосування магнітокалоричного перетворення енергії як однієї з найкращих доступних альтернатив для енергоефективного та екологічно чистого охолодження, теплонасосних систем, кондиціонування повітря та використання низькопотенційного тепла [24].

Широкі можливості магнітотермічний (магнітокалоричний) ефект знаходить також у мікроелектроніці, насамперед у разі застосування полімерних фероелектриків (сегнетоелектриків), які характеризуються великими змінами ентропії під час фазових переходів, а тому мають великий потенціал застосування для твердотільного охолодження [25, 26].

З вищенаведеного видно, що натепер розроблено достатню кількість найрізноманітніших конструкцій технологічного та допоміжного обладнання, в якому робоча температура підтримується на певному рівні завдяки конструкційним матеріалам з магнітотермічним (магнітокалоричним) ефектом (з температурною 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 й допоміжного обладнання, що ґрунтується на магнітотермічному (магнітокалоричному) ефекті, є ефективним і достатньо перспективним, хоча він і не позбавлений певних недоліків. Беззаперечною перевагою відповідного методу є забезпечення певної температури робочих органів обладнання з високою точністю. Проте в той самий час цей метод досить важко реалізувати на існуючому обладнанні, здебільшого виготовленого з магнітних матеріалів (сталь, чавун), тому він придатний насамперед для нового конструктивного оформлення різноманітних технологічних процесів. Отже, для реалізації запропонованого методу на практиці необхідно розробляти нові конструкції обладнання або піддавати глибокій модернізації існуючі зразки. Проте в певних випадках запропонований спосіб підтримки заданої температури оброблюваних середовищ може стати найбільш доцільним (передусім у тонкій хімічній технології, біотехнології, фармацевтиці, точному приладобудуванні, мікроелектроніці й медицині).

Перспективи подальших досліджень. Надалі передбачено проаналізувати конструкції інших пристроїв, в яких реалізовано магнітокалоричний ефект для термостабілізації робочих або допоміжних середовищ, що беруть участь у різноманітних технологічних процесах, а також дослідити можливості більш широкого застосування зазначеного методу в техніці й технології, у тому числі із використанням потужних можливостей математичного моделювання та штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>
2. Процеси та обладнання хімічної технології: у 2-х т. / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонюк, В. Л. Ракицький, Г. Л. Рябцев. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 716 с.
3. Ignatowitz E. Chemietechnik. Naan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel. 2011. 608 s.
4. Мікульонюк І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>
5. Іваненко О. І., Носачова Ю. В. Техноекологія. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2017. 294 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ivanenko_2017_294.pdf
6. Врагов А. П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв. Суми : Університетська книга, 2006. 260 с.
7. Температура Кюрі. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Температура_Кюрі (дата звернення: 07.06.24)
8. Mikulionok I. O. Stabilization of the temperature of the working medium in the equipment of chemical plants (a survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51, N 5–6. P. 324–327. DOI: 10.1007/s10556-015-0046-8
9. Мікульонюк І. О. Застосування феромагнітних матеріалів для забезпечення потрібного теплового режиму технологічного обладнання (Огляд) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2019. № 1. С. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2019.06>
10. Мікульонюк І. О. Інноваційне теплообмінне обладнання. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 142 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60632>
11. 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
12. Классификация конструкций насадок колонных аппаратов и методов интенсификации в них процессов теплообмена / А. С. Пушнов, И. О. Микулёнок, А. С. Севрюков, М. Г. Беренгартен // Химическая технология. 2014. № 4. С. 244–250.
13. Мікульонюк І. О. Контактні та допоміжні пристрої теплообмінних колон. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>
14. Mikulionok I. O. Design of the valves of the contact plates of mass-transfer columns (survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. Vol. 55, N 9–10. P. 762–771. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00881-5>
15. Mikulionok I. O. Heat Exchange Apparatuses with Fluidized Bed (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, N 1–2. P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00898-w>
16. Mikulionok I. O. Plate-Type Gas Distribution Grids for Fluidized Bed Apparatuses (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, N 1–2. P. 168–175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00911-2>
17. Mikulionok I. O. Classification of Gas-Distribution Grids of Fluidized Bed Apparatuses (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, N 3–4. P. 346–353. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00927-8>

18. Мікульонок І. О. Моделювання обладнання технологічних ліній для перероблення пластмас і гумових сумішей на базі валкових машин. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 244 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37520>
 19. Mikulionok I. O. Rollers with Peripheral Heat-Supply Channels for Treatment of Plastics and Rubber Mixtures (a survey of patents) // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 49, N 5–6. P. 382–387. DOI: 10.1007/s10556-013-9760-2
 20. Mikulionok I. O. Classification of Hollow Rollers of Roller Machines for the Treatment of Polymeric Materials and Rubber Compounds (Survey of Patents) // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2022. Vol. 58, N 5–6. P. 433–438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01109-w>
 21. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
 22. Вознюк В. Т., Мікульонок І. О. Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 144 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37521>
 23. Табу на слабое решение. URL: <https://medlec.org/lek3-40097.html> (дата звернення: 08.07.2024)
 24. Kitanovski A. Energy Applications of Magnetocaloric Materials // *Advanced Energy Materials*, 2020. Vol. 10, N 10. Article 1903741. 34 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/aenm.201903741>
 25. Ai Y., Li P.-F., Yang M.-J., Xu Y.-Q., Li M.-Z., Xiong R.-G. An organic plastic ferroelectric with high Curie point. *Chemical Science*. 2022, Vol. 13, N 3. P. 748–753. DOI: <https://doi.org/10.1039/D1SC06781H>
 26. *Organic Ferroelectric Materials and Applications* / Asadi K. (ed.). Cambridge : Elsevier Ltd, 2022. 648 p.
-

Ihor Mikulionok, Olena Ivanenko

APPLICATION OF FERROMAGNETIC MATERIALS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES THERMAL REGIME STABILIZATION (Review)

The research focuses on the technological and auxiliary equipment used in various industries that require maintaining a specific narrow temperature range.

The study aims to critically analyze the potential use of structural elements made of ferromagnetic materials with a second-kind phase transition temperature (Curie temperature or Curie point) in high-performance, knowledge-intensive industries, particularly the chemical industry. These materials correspond to the required temperature of the processed or transported liquid or loose medium.

The technological processes using the magnetothermal effect and the corresponding designs of equipment are considered: heat exchange, heat and mass exchange, mechanical and hydromechanical, equipment for processing thermoplastics, as well as other devices used in various branches of industry, in particular chemical, food and microbiological, in thermal energy, metallurgy, agriculture, medicine and construction. It is shown that the specified method of ensuring the required thermal regime is suitable for use primarily in large-tonnage continuous production. As the conducted studies have shown, the proposed approach to stabilizing the heat flow of various technological and auxiliary equipment is effective and quite promising. The indisputable advantage of the corresponding method is to ensure a certain temperature of the working parts of the equipment with high accuracy, however, this method is quite difficult to implement on the existing equipment, which is mostly made of magnetic materials (steel, cast iron). Therefore, to implement the proposed method in practice, it is necessary to develop new equipment designs or to subject existing samples to deep modernization. At the same time, there may be difficulties associated with the search for existing or the creation of new ferromagnetic materials with the required thermomagnetic properties for the manufacture of appropriate structural elements of technological and auxiliary equipment. However, in certain cases, the proposed method of maintaining the specified temperature of the processed media may become the most appropriate (primarily in fine chemical technology, biotechnology, pharmaceuticals, precision instrument manufacturing, microelectronics, and medicine).

Keywords: *technological equipment, auxiliary equipment, structural elements, magnetism, Curie point, temperature, stabilization, energy saving*

References

1. Mikulionok, I. O. (2020). *Technologichni osnovy pereroblennia polimernykh materialiv* [Technological bases of polymer materials processing]. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084> (Ukr.)
2. Korniyenko, Ya. M., Lukach, Yu. Yu., Mikulionok, I. O., Rakytskyi, V. L., Riabtsev, G. L. (2011). *Protsesy ta obladnannia khimichnoi tekhnologii* [Processes and equipment of chemical technology]. NTUU "KPI", Kyiv. [Part 1. – 300 p.; Part 2. – 416 p.] (Ukr.)
3. Ignatowitz, E. (2011). *Chemietechnik*. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel. 608 s. (Deu.)

4. Mikulionok, I. O. (2014). Mekhanichni, hidromekhanichni i masoobminni protsessy ta obladnannia khimichnoi tekhnologii [Mechanical, Hydromechanical, and Mass-Exchange Processes and Equipment in Chemical Engineering]. Kyiv : NTUU "KPI". URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169> (Ukr.)
5. Ivanenko, O. I., Nosachova, Yu. V. (2017). Tekhnoekologiiia [Technoecology]. Vydavnychiy dim "Kondor", Kyiv. 294 p. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ivanenko_2017_294.pdf (Ukr.)
6. Vragov, A. P. (2006). Teploobminni protsesy ta obladnannia khimichnykh i gazonaftopererobnykh vyrobnytstv [Heat exchange processes and equipment of chemical and gas-oil processing industries]. Universytetska knyga, Sumy. 260 p. (Ukr.)
7. [Curie temperature]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Температура_Кюрі (Accessed July 07, 2024) (Ukr.)
8. 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*, vol. 51, no. 5–6, pp. 324–327. doi: 10.1007/s10556-015-0046-8
9. Mikulionok, I. O. (2019). Zastosuvannia feromagnetnykh materialiv dlia zabezpechennia potribnogo teplovogo rezhimu tekhnologichnogo obladnannia (Ogliad) [Ferromagnetic Materials Use for Providing the Necessary Thermal Mode of Processing Equipment (Review)]. *Energotekhnologii i resursoberezhenniye*, No 1, pp. 60–72. doi: 10.33070/etars.1.2019.06 (Ukr.)
10. Mikulionok, I. O. (2023). Innovatsiine teploobminne obladnannia [Innovative heat exchange equipment]. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv. 142 p. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60632> (Ukr.)
11. Mikulionok, I. O. (2011). Classification of Nozzles of Mass Transfer Apparatuses. *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 83, no. 9, pp. 1631–1637. doi: 10.1134/S107042721109031X
12. Pushnov, A. S., Mikulionok, I. O., Sevryukov, A. S., Berengarten, M. G. (2014). Klassifikatsiya konstruktivnykh nasadok kolonnykh apparatov i metodov intensivatsii v nikh protsesov teplomassoobmena [Classification of designs of column apparatuses nozzles and methods of heat and mass exchange processes intensification in them]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, no. 4, pp. 244–250. (Rus.)
13. Mikulionok, I. O. (2022). Kontaktni ta dopomizhni prystroi teplomassoobminnykh kolon [Contact and auxiliary devices of heat and mass exchange columns]. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv. 194 p. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>
14. Mikulionok, I. O. (2020). Design of the valves of the contact plates of mass-transfer columns (survey of patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 55, no. 9–10, pp. 762–771. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00881-5>
15. Mikulionok, I. O. (2021). Heat Exchange Apparatuses with Fluidized Bed (Survey of Patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 57, no. 1–2, pp. 79–86. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00898-w>
16. Mikulionok, I. O. (2021). Plate-Type Gas Distribution Grids for Fluidized Bed Apparatuses (Survey of Patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 57, no. 1–2, pp. 168–175. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00911-2>
17. Mikulionok, I. O. (2021). Classification of Gas-Distribution Grids of Fluidized Bed Apparatuses (Survey of Patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 57, no. 3–4, pp. 346–353. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00927-8>
18. Mikulionok, I. O. (2013). Modeliuvannia obladnannia tekhnologichnykh liniy dlia pereroblennia plastmas i gumovykh sumishei na bazi valkovykh mashin [Modelling of the equipment of technological lines for the processing of plastics and rubber mixtures on the basis of rolling machines]. NTUU "KPI", Kyiv. 244 p. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37520> (Ukr.)
19. Mikulionok, I. O. (2013). Rollers with Peripheral Heat-Supply Channels for Treatment of Plastics and Rubber Mixtures (a survey of patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 49, no. 5–6, pp. 382–387. doi: 10.1007/s10556-013-9760-2
20. Mikulionok, I. O. (2022). Classification of Hollow Rollers of Roller Machines for the Treatment of Polymeric Materials and Rubber Compounds (Survey of Patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 58, no. 5–6, pp. 433–438. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01109-w>
21. Mikulionok, I. O. (2015). Tekhnologichni osnovy pereroblennia polimeriv, plastmas i gumovykh sumishei [Technological bases of polymers, plastics and rubber mixtures processing]. NTUU "KPI", Kyiv. (Ukr.)
22. Vozniuk, V. T., Mikulionok, I. O. (2012). Intensyfikatsiia procesu vygotovlennia ekstrudovanykh polimernykh trub [Intensification of the manufacturing extruded polymer pipes process]. NTUU "KPI", Kyiv. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37521> (Ukr.)
23. [Taboo on a weak solution]. URL: <https://medlec.org/lek3-40097.html> (Accessed July 08, 2024) (Ukr.)
24. Kitanovski, A. (2020). Energy Applications of Magnetocaloric Materials. *Advanced Energy Materials*, vol. 10, no. 10. Article 1903741, 34 p. doi: <https://doi.org/10.1002/aenm.201903741>
25. Ai Y., Li P.-F., Yang M.-J., Xu Y.-Q., Li M.-Z., Xiong R.-G. (2022). An organic plastic ferroelectric with high Curie point. *Chemical Science*, vol. 13, no. 3, pp. 748–753. doi: <https://doi.org/10.1039/D1SC06781H>
26. Organic Ferroelectric Materials and Applications / Asadi K. (ed.). Elsevier Ltd, Cambridge, 2022. 648 p.