

Можливості регенерації фільтруючих перегородок

О. Ф. Луговський • А. І. Зілінський • А. В. Шульга • І. А. Гришко

Механіко-машинобудівний інститут, КПІ ім. Ігоря Сикорського, г. Київ, Україна,

Received: 2 February 2020 / Accepted: 25 May 2020

Анотація. У статті проведений аналіз способів регенерації фільтрувальної перегородки гідравлічних систем: механічна регенерація, протиточна регенерація, імпульсна протиточна регенерація, струменева регенерація, хімічна регенерація, вібраційна регенерація, електрогідравлічна регенерація, ультразвукова кавітаційна регенерація. Показані їх переваги та недоліки. Представлений найбільш перспективний спосіб відновлення фільтрувальної спроможності пористої перегородки, що використовує ефекти, які супроводжують явище ультразвукової кавітації. Цей спосіб забезпечує очищення забруднених фільтрувальних перегородок навіть тонкого очищення з пористістю менше мікрометра, що дозволяє розширити спектр його застосування в сучасних технологічних процесах, які ставлять високі вимоги до чистоти робочої рідини з метою підвищення надійності та довговічності обладнання. Крім того, спосіб ультразвукової кавітаційної регенерації, задіяний в технологічному процесі, за рахунок зменшення поверхневого тертя забезпечує підвищення продуктивності фільтрувального обладнання. Представлені матеріали підготовлено в ході виконання держбюджетної теми 2047-р.

Ключові слова: фільтр, фільтрувальна перегородка, регенерація, ультразвукова кавітація.

Вступ

Сучасні технологічні процеси вимагають підвищення довговічності та надійності обладнання, деяка частина промислового обладнання працює з використанням різних рідин, що призводить до підвищення їх ступеня очищення та часу безперервної роботи фільтрувальних пристроїв. Тому питання регенерації фільтрувальної перегородки є досить нагальним для сьогодення [1–4].

Усі фільтри мають властивість забруднюватись. Процес відбувається наступним чином. Перебіг поділення рідинних сумішей із твердими частинками, які перебувають в тимчасово нерухомому стані (суспензія) із використанням фільтрувальної перегородки супроводжується збільшенням гідравлічного опору у процесі її забруднення. Швидкість фільтрування стає меншою, а вологість осаду більшою. Це є однією з основних причин механічного пошкодження і завчасною заміною фільтрувальних елементів [5]. Для відновлення або покращення характеристик і подальшої роботи фільтрувальної перегородки зазвичай намагаються провести її регенерацію.

Осад на поверхні фільтрувальної перегородки затримується завдяки перепаду тиску, а також силами когезії між частинками осаду та силами адгезії між осадом і перегородкою. В залежності від співвідношення між силами та їх абсолютного значення застосовують різні способи відновлення поверхні фільтрувальної перегородки. При відносно малих значеннях сил адгезії та когезії з'являються розсипчасті опади з малим вмістом вологи, що легко видаляються із поверхні фільтрувальної перегородки за допомогою дії сил тяжіння та відцентрових сил.

Регенерацію фільтрувальної перегородки варто проводити періодично в самому фільтрі [6], або із повним демонтажем та розбиранням [7]. Розбирання фільтрувальних елементів та їх промивка дозволяє зазвичай отримувати достатньо високу якість очищення фільтра, але вимагає зупинення технологічного обладнання на значний час. На сьогоднішній день регенерації на очисних установках піддають, перш за все,

малогабаритні фільтри, з дорогих матеріалів та ті, що встановлюються у фільтрах особливо важливих об'єктів (наприклад, в масляних, паливних і гідравлічних системах літаків [8]).

Метою статті є аналіз існуючих способів регенерації фільтруючих перегородок фільтрів гідравлічних систем технологічних процесів.

Аналіз методів

Отже, якість регенерації у великій мірі визначає продуктивність фільтра, що забезпечує можливість його подальшого використання в технологічному процесі. На сьогоднішній день найбільш поширеними є наступні способи очищення фільтрів: механічна регенерація [6], протиточна регенерація фільтрувальної перегородки [9], імпульсна протиточна регенерація [7], струменева регенерація [4], хімічна регенерація пористих перегородок [7], вібраційна регенерація [7, 10], електрогідравлічна регенерація [7, 10], ультразвукова кавітаційна регенерація [11, 12]. Розглянемо та проаналізуємо кожний з них.

Механічна регенерація

Основним принципом механічної регенерації [6] є руйнування та видалення скупчень твердих частинок забруднювача, які затримались у порах фільтрувальної перегородки. За умови збільшення товщини шару забруднення поверхні фільтрувальної перегородки згустки великої товщини знімають з полотна за допомогою ножа, або під дією розривних зусиль, тобто, натискаючи полотном валика малого діаметру.

Тонші шари осаду знімають шнурами, що у зоні регенерації сходять з барабана, прибирають забруднення і відправляють його завдяки дії вібрації або при обертанні валика.

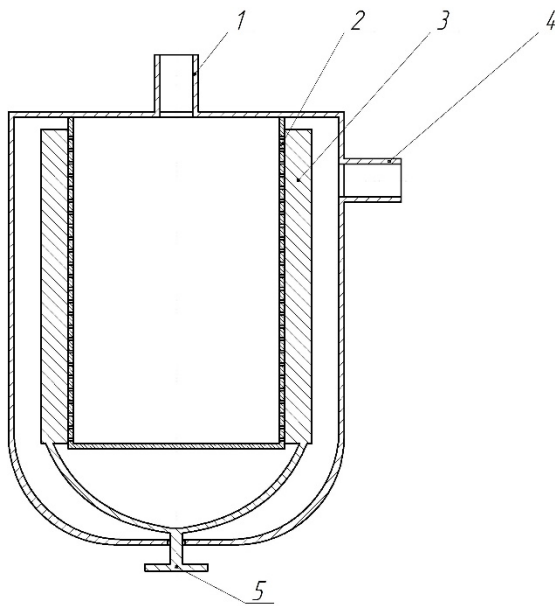


Рис. 1. Схема фільтра з механічною регенерацією

На рис. 1 представлена типова схема фільтра з механічною регенерацією, яка працює наступним чином. Забруднена рідина подається через патрубок 4. Після збільшення гідравлічного опору, внаслідок засмічення пор фільтрувальної перегородки 2, провертають ножі 3 ручкою 5 на один або декілька повних обертів з метою зрушення щільних скупчень частинок забруднювача, які осідають в нижній частині фільтра. Фільтрат отримують через патрубок 1.

Зазвичай механічна регенерація проводиться в автоматичному режимі при накопиченні певного шару осаду або в ручному режимі з певними інтервалами у часі. Однак, при такому способі регенерації відбувається тільки очищення від великих частинок бруду, що не є допустимим при певних технологічних процесах.

Протиточна регенерація фільтрувальної перегородки

При протиточній регенерації [9] тверда фаза суспензії, яка затрималась у середині капілярів перегородки фільтра, утворює пористі пробки з нестійким положенням частинок. За умови різких змін

швидкості чи напрямку руху рідинного потоку, окремі частинки здатні вимиватися при цьому, порушуючи цілісність пробки. В ролі промивного елемента використовують фільтрат, різні рідини, стиснене повітря, пар. Застосування фільтрату здійснюють у таких випадках:

- фільтрат є малоцінним та його можливо прибирати разом з вимитими частками;
- використання інших видів/складів рідин із технологічних міркувань є небажаним;
- фільтрування проводять за для згущення суспензії разом з наступним виділенням твердої фази на фільтрах інших типів.

Використання фільтрату в якості промивної рідини значно спрощує процес регенерації, так як при цьому відпадає необхідність в попередній підготовці фільтра перед промиванням і після неї, яку проводять з метою уникнення змішування суспензії з чужорідною промивної рідиною. Однак, в ряді випадків для відновлення

фільтрувальних властивостей перегородки доцільно використовувати спеціальні промивні рідини. Наприклад, при поділі цінної суспензії, коли бажано уникнути навіть невеликих втрат фільтрату, а також при фільтруванні високов'язких суспензій. В останньому випадку при регенерації високов'язким фільтратом можна застосовувати барботаж повітря, що дозволяє значно інтенсифікувати процес, тому в якості промивної рідини використовують низьков'язкий розчинник і стиснене повітря.

Стандартна схема фільтрувальної установки з протиточною регенерацією перегородки зображена на рис. 2. Установка складається з 2-х основних фільтрів $\Phi 1$, $\Phi 2$ та групи вентилів $B1 \dots B6$.

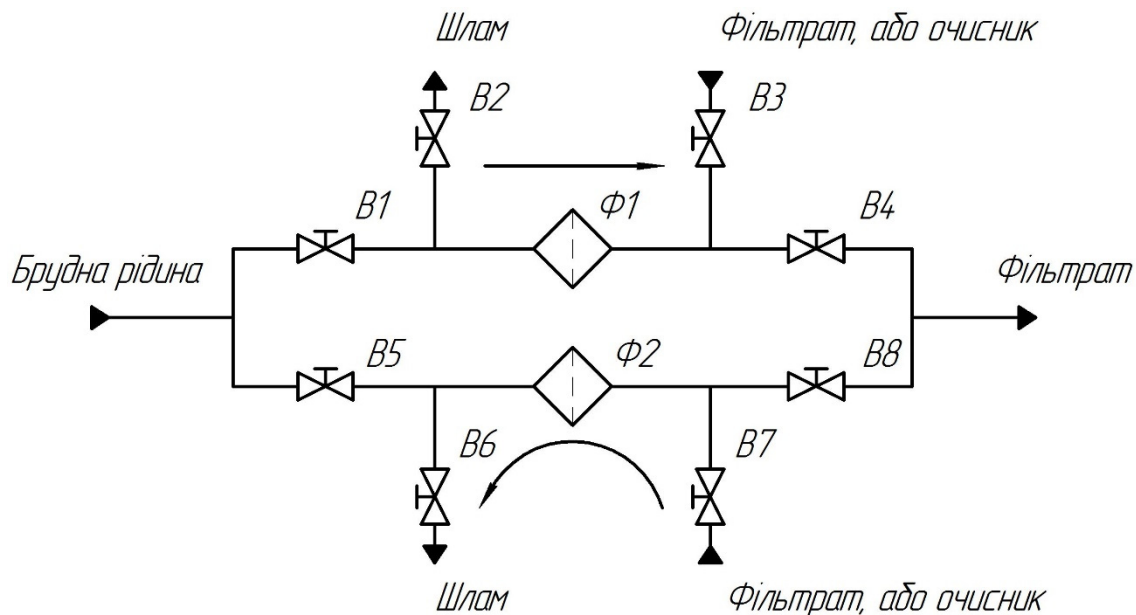


Рис. 2. Схема фільтрувальної установки з протиточною регенерацією

При нормальних умовах брудна рідина проходить через відкритий вентиль $B1$ до фільтра $\Phi 1$, в якому відбувається фільтрування, а далі через вентиль $B2$ отримуємо очищену рідину. Вентилі $B2$ та $B3$ закриті. При роботі фільтра $\Phi 1$ на фільтрі $\Phi 2$ може відбуватися як процес очищення, так і їх паралельна робота (вентилі $B6$ та $B7$ закриті, $B5$ та $B8$ відкриті). Під час регенерації фільтра $\Phi 2$ через вентиль $B7$ подається очисник в напрямку протилежному напрямку подачі суспензії. В ролі очисника може виступати фільтрат, повітря, розчинник та ін. Очисником вимиваються затримані в порах перегородки частки і скидаються в осад, який знаходиться на поверхні. При цьому утворюється вторинна суспензія, яку в залежності від її цінності і технологічних особливостей виробництва, зливають в каналізацію або повторно оброблюють. В останньому випадку вторинна суспензія проходить через допоміжний роздільний апарат, в якому очищується від забруднень. В якості допоміжного роздільного пристрою може служити центрифуга, відстійник або додатковий фільтр. Застосування допоміжного фільтра доцільно лише в тому випадку, якщо вторинна суспензія за своїми властивостями помітно відрізняється від вихідної, наприклад має більш низьку в'язкість. При цьому пропускна здатність допоміжного фільтра буде в десятки разів більше, ніж основного, тому фільтр з невеликою поверхнею забезпечить значну тривалість робочого циклу.

Допоміжний фільтр застосовують також з метою очищення вторинної суспензії, отриманої при регенерації фільтратом. У такому випадку можна досягти лише грубої очистки, відповідно вторинний фільтрат направляють у бак вихідної суспензії для повторного очищення на основних фільтрах.

Фільтрувальна установка із протиточною регенерацією перегородки, значно спрощується у випадку застосування реверсивного фільтрування [2], окремою рисою є позмінна подача суспензії з одного, а потім з іншого напрямку перегородки. Процес фільтрування здійснюється до моменту досягнення граничного значення опору перегородки, після цього відбувається перемиканням клапанів фільтра і направлення подачі суспензії змінюється на протилежний. Також у початковий період здійснюється протиточна промивка пористого матеріалу фільтратом та згущена суспензія прибирається із фільтра окремим трубопроводом. Через певний відлік часу клапан виходу згущеної суспензії закривається і відкривається клапан виходу фільтрату та знову починається новий цикл. Отже, реверсивне фільтрування передбачає регенерацію пористих фільтроментів лише фільтратом.

Слід зазначити, що протиточною регенерацією перегородок рідко досягається повне відновлення фільтрувальних властивостей. Підвищенню ефективності цього процесу сприяє локалізація ділянок поверхні,

які промиваються, а також застосування імпульсної промивки, що значно збільшує затрати як по часу, так і по економічних показниках.

Імпульсна протиточна регенерація

Для збільшення ефективності регенерації фільтрувальної перегородки здійснюють, так звану, імпульсну регенерацію [7, 13]. Суть імпульсного промивання полягає у створенні короткочасних різких поштовхів рідини стисненим повітрям або електричним розрядом. Пристрій з імпульсною промивкою фільтрувальних елементів повинен мати у зоні фільтрату ковпак для створення повітряної подушки. При регенерації клапан на вихідному патрубку закривається без вимкнення насоса, який подає суспензію. Отже, фільтрат накопичується під ковпаком та стискається повітрям.

На рис. 3 представлена типова схема фільтра з імпульсною протиточною регенерацією [13], яка працює наступним чином. Спочатку скидається осад 1 з горизонтального відстійника 2 по трубопроводу 3.

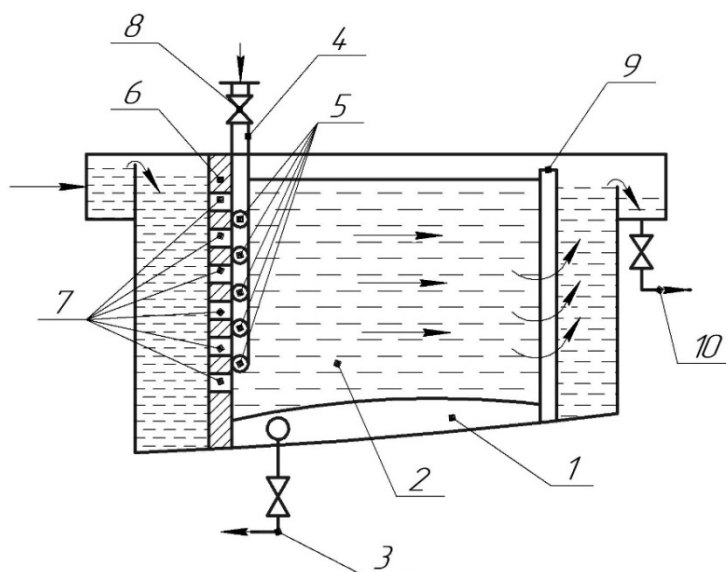


Рис. 3. Схема фільтра з імпульсною протиточною регенерацією

Наступним кроком подається промивна вода по трубопроводу 4 у систему промивних труб 5, які прикріплені на дірчастій водорозподільній перегородці 6 і розташовані між отворів 7 у перегородці 6. Засувкою 8 зменшується або збільшується витрата промивної води, що йде на промивку пористої перегородки 9, яка розташована на виході відстояної води з відстійника 2. За рахунок зменшення або збільшення витрати промивної води створюється пульсуючий рух води в горизонтальному відстійнику 2. За рахунок цього відбувається імпульсна промивка пористої перегородки 9. Промивна вода скидається по трубопроводу 10.

Зазвичай імпульсна регенерація проводиться із будь-якою промивною рідиною. Однак, при такому способі регенерації мають місце великі витрати промивної води. Крім того, кожна пориста перегородка промивається окремо або парами, що в сукупності призводить до суттєвих фінансових витрат.

Струменева регенерація

Різновидом рідинно-повітряної регенерації фільтрувальної перегородки є струменева регенерація. Вона широко використовується на барабанних, дискових, стрічкових і деяких інших типах фільтрів [4] для видалення осаду з поверхні перегородки та її регенерації. Принцип струменевого промивання наступний. Створенні потужні струмені рідини, які спрямовані перпендикулярно або похило до поверхні фільтрування (рис. 4). Тобто, фільтр складається із корпусу 1, сітчастих конусів 2, які розміщені на певній відстані один від одного, струменеутворюючих промивних пристроїв 3, розміщених в середині сітчастих конусів 2, камер проміжного фільтрування 4, які знаходяться між сітчастими конусами 2, трубопроводів живлення 5 та підшипників ковзання 6, що утримують порожнистий вал 7 і з'єднують його за допомогою стійок 8 з корпусом 1. Крім цього, конструкція містить патрубок відбору вихідної рідини 9, патрубки відбору твердих забруднюючих частинок 10, патрубки відбору проміжного фільтрату 11 та патрубок відбору кінцевого фільтрату 12.

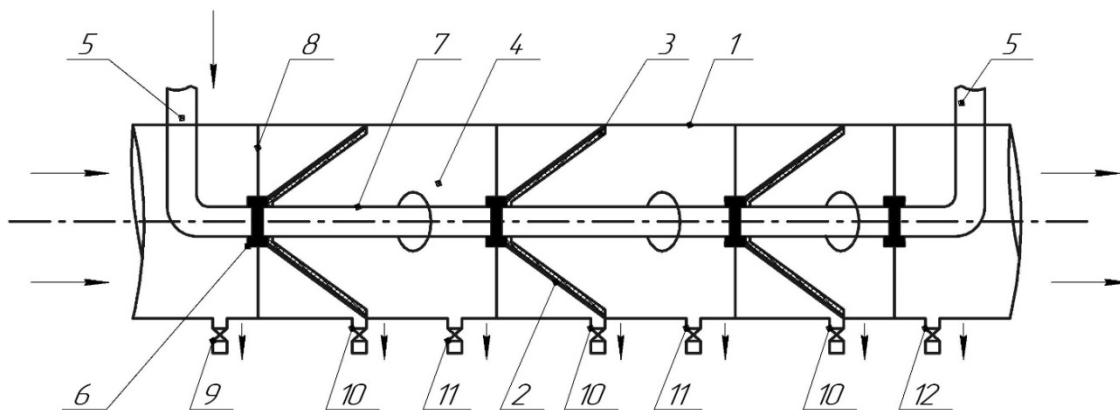


Рис. 4. Схема фільтра з струменевою регенерацією

Такий фільтр працює наступним чином. Забруднена механічними частинками вода, проходячи через корпус 1, фільтрується на сітчастих конусах 2, залишаючи забруднюючі частинки на їх зовнішній поверхні. Регенерація конусів 2 відбувається під дією напірних струменів, які витікають з отворів струменеутворюючих промивних пристроїв 3, що обертаються в підшипниках ковзання 6. Живлення рідиною промивних пристроїв 3 відбувається від напірного джерела через трубопроводи живлення 5, горизонтальна частина яких є порожнистим валом 7, що обертається в підшипниках 6. Під дією струменів промивних пристроїв 3 і основного потоку рідини в корпусі 1 забруднюючі частинки акумулюються біля великої основи сітчастих конусів. Далі, внаслідок дії струменів промивних пристроїв 3, забруднюючі частинки обертаються навколо великих основ конусів 2 і під дією різниці тиску в корпусі 1 і атмосфері через патрубок 10 виводяться назовні. Через патрубки 9, 11 і 12 здійснюється відбір вихідної рідини, проміжного і кінцевого фільтрату [14].

Якість регенерації в такому випадку залежить, на самперед, від швидкості руху струменів, напрямку подачі промивної рідини, товщини та щільності пористої перегородки. При збільшенні числа сопел знижується гідравлічний напір промивної рідини, що є небажаним фактором.

Хімічна регенерація

Дуже часто використаний фільтрувальний матеріал піддають хімічній регенерації, яка ґрунтується на розчиненні осілих у перегородці частинок суспензії чи зцементованого осаду. Провідне місце такий спосіб займає при регенерації пористих елементів, які після короткочасної експлуатації довгий час перебували на відкритому повітрі. В такому разі з висохлої рідкої фази суспензії кристалізуються мінеральні солі або створюються плівки органічних речовин, що міцно утримують у порах тверді частинки та повністю перекривають дрібні капіляри. Позбавлення поверхні перегородки захисного шару суспензії може вплинути на її матеріал та призвести до окислення. Придатність до регенерації таких елементів погіршується, отже і відновити їхні фільтруючі властивості можливо лише хімічним способом.

Хімічну регенерацію, як правило, проводять на спеціальних регенераційних установках і в рідкісних випадках - на самому фільтрі. Це пов'язано з використанням в якості промивної рідини різних кислот, їдких лугів і інших агресивних рідин, які вимагають застосування апаратів зі спеціальних корозійостійких матеріалів. Для обробки тонких фільтрувальних перегородок, таких, як тканини, сітки, їх занурюють у ванну з промивної рідиною і витримують в ній протягом певного часу. Об'ємні фільтрувальні перегородки (пористі диски, патрони) вимагають продавлювання через них промивної рідини, що пов'язано з необхідністю підведення всередину пористої системи свіжих порцій розчинника, а також механічного вимивання нерозчинної частини забруднювача. Для інтенсифікації процесу хімічну регенерацію можна поєднувати з механічною, перемішуючи розчинник мішалкою і вводячи в систему пульсації, вібраційні і навіть ультразвукові коливання.

Схема пристрою для хімічної регенерації [11] наведена на рис. 5. Натрій-катіонітовий фільтр 1 виключають на регенерацію і до нього по трубопроводу 2 подають регенераційний розчин NaCl в кількості 10 % від робочої продуктивності фільтру. В процесі регенерації з фільтру по трубопроводу 3 до реактору 4 виводяться солі жорсткості у вигляді розчинів CaCl₂ і MgCl₂. До реактору також подають суміш реагентів 5 вапна (Ca(OH)₂) для коректування рН розчину в межах 8,9–9,3 і соди (Na₂CO₃) для осадження солей жорсткості. Розчин соди додають в кількості 0,8–1,1 до сумарного вмісту іонів кальцію і магнію. В результаті реакцій осаджуються нерозчинні солі жорсткості (CaCO₃ і MgCO₃) у вигляді шлам 6, а отриманий розчин NaCl можна застосовувати для подальшої регенерації фільтру. Безповоротні втрати води зі шламом відновлюються розчином NaCl по трубопроводу 7. Шлам можна утилізувати у вигляді міцного будівельного

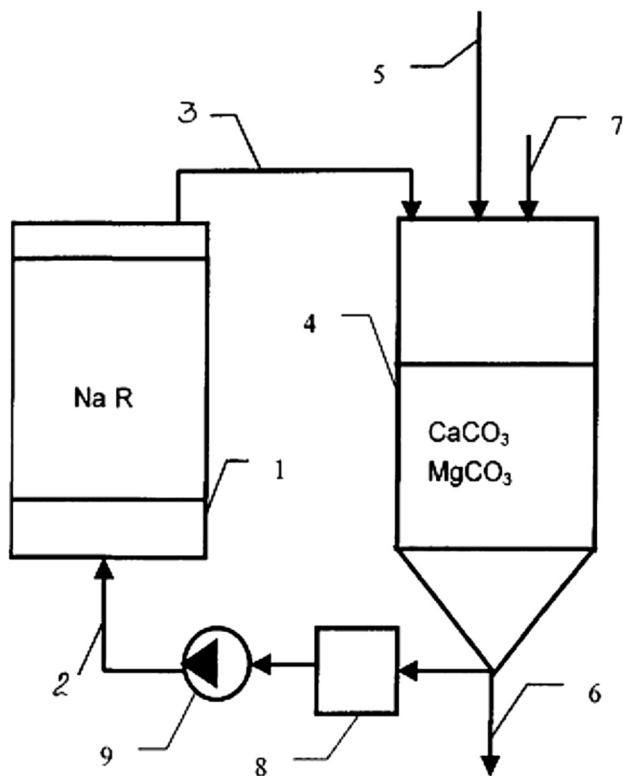


Рис. 5. Схема фільтра з хімічною регенерацією

кістю, що визначається тільки початковим гідравлічним опором фільтрувальної перегородки. За період повного коливання (прямий і зворотний хід), який здійснюється суспензією або перегородкою, відбуваються процеси фільтрування та регенерації. При фільтруванні (дія прямого ходу) на поверхні перегородки відкладаються тверді частинки забруднювача. Під час зворотного ходу відбувається протиточна регенерація. Як результат, тверді частинки відриваються від перегородки, а потім несуться потоком суспензії або осідають у нижні частини апарату, де періодично видаляються.

На рис. 6 представлена типова схема фільтра з вібраційною регенерацією [12].

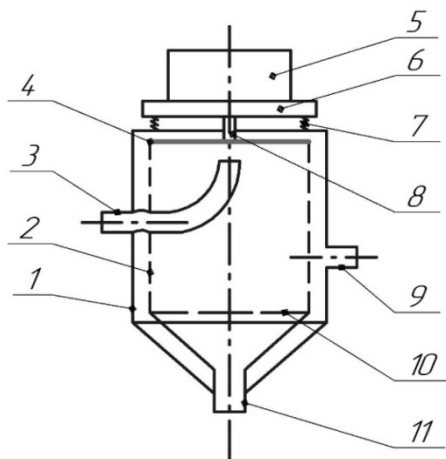


Рис. 6. Схема фільтра з вібраційною регенерацією

вібрацію на фільтруючий елемент 2. Внаслідок взаємодії верхньої пластини фільтруючого елемента 4 з водою виникає стійка хвиля, яка відбиваючись від хвилевідбивної сітки 10, утворює зворотну хвилю, що дозволяє частині твердих включень суспензії, не потрапляючи на стінку, накопичуватись в нижній частині фільтруючого

матеріалу. Очищений регенерат збирається в бак 8 і насосом 9, за необхідністю, подається на регенерацію натрій-катіонітових фільтрів.

При хімічній регенерації до промивної рідини пред'являють дві основні вимоги: інертність по відношенню до матеріалу фільтрувальної перегородки і здатність розчиняти забруднення перегородки. Виходячи з цих вимог, хімічній регенерації найчастіше піддають пористі перегородки з синтетичних матеріалів, кераміки, металокераміки деяких видів. Бавовняні тканини мало стійкі до дії кислот, втрачають міцність при лужній обробці, тому хімічна регенерація їх практично неможлива. Тобто, такий спосіб регенерації є досить шкідливим як для людини, так і для матеріалу фільтроелементу, а також є економічно не вигідним.

Вібраційна регенерація

Використання пружних коливань [10] з метою фільтрування суспензії дозволяє не лише здійснити вібраційну регенерацію перегородки, а також інтенсифікувати і сам процес фільтрування. Якщо суспензії чи перегородці у процесі фільтрування надавати зворотно-поступальний рух, то можна здійснити безперервний процес поділу суспензії, який протікатиме з найбільшою швид-

Вібраційний фільтр складається з корпусу 1, в якому розташований циліндричний перфорований фільтруючий елемент 2, забірний патрубок 3, який входить в фільтруючий елемент 2 та направлений до верхньої пластини фільтруючого елемента 4, вібратора 5, який встановлений на платформі 6. Для підтримання платформи встановлені амортизатори 7. Платформа 6 з'єднана з вібратором 5 через шток 8. В нижній частині корпусу фільтра 1 розташований патрубок виведення фільтрату 9. В нижній частині фільтруючого елемента 2 розташована хвилевідбивна сітка 10 та патрубок відводу шламу 11. Фільтр працює наступним чином. Вода через забірний патрубок 3 під напором поступає в фільтруючий елемент 2, потрапляє на верхню пластину фільтруючого елемента 4 і потік води змиває бруд, який знаходиться під цією пластиною, в нижню частину фільтруючого елемента. Включається вібратор 5, який через шток 8 передає

елементу. Вода, яка містить різноманітний бруд, проходить через фільтруючий елемент 2 та через патрубок виведення фільтрату 9 подається в напірний трубопровід машини. Бруд, який залишився на фільтруючому елементі, під дією власної ваги осідає в нижній частині фільтруючого елементу, звідки видаляється через патрубок виведення шламу 11 назовні.

Вібраційні фільтри забезпечують надійну регенерацію перегородки порівняно, наприклад, з пульсуючими. Однак такі фільтри мають не велику поверхню, що обумовлено складністю конструкції та великими зусиллями, які виникають при вібруванні фільтрувальної системи.

Електрогідрравлічна регенерація

Ще одним видом імпульсної протиточної регенерації фільтрів є електрогідродинамічний спосіб [10]. Завдяки електричному розряду у рідині виникає потужний гідрравлічний удар, який обумовлюється миттєвим випаровуванням частини рідкого середовища між іскророзрядниками. Ударна хвиля характеризується зоною підвищеного та, слідуючою за нею, зоною пониженого тиску. Відповідно, проходячи крізь пори фільтрувальної перегородки, вона зрушує щільні скупчення затриманих частинок, проштовхуючи їх спершу до виходу, а потім розтягуючи вздовж капілярів подальшим більш слабким зворотним рухом рідини в зоні зниженого тиску.

Приклад електрогідрравлічного пристрою [18] показано на рис.7. Пристрій має електроізолюючі елементи, встановлені в місцях з'єднання з трубопроводом, виконані з діелектричного матеріалу і з'єднані провідником з одним з електродів розрядника. При цьому електрод розрядника електрично з'єднаний з трубопроводом або заземлений.

Пристрій містить фільтр 1, ізолюваний від трубопроводу 2 електроізолюючими елементами 3, розрядник 4, електроди якого пропущені за допомогою ізоляційної пробки 5 через стінку всередину трубопроводу. Один електрод 6 розрядника з'єднаний з корпусом фільтра проводом високої напруги 7, інший електрод 8 з'єднаний з трубопроводом провідником 9.

При прокачуванні діелектричної рідини по трубопроводу 2 через фільтр 1, в якому відбувається інтенсивна електризація рідини, фільтр накопичує електростатичний заряд,

так як має певну електричну ємність в залежності від розміру. Накопичення зарядів на фільтрі відбувається до напруги, достатнього для пробоя зазору між електродами 6 і 8. При цьому відбувається розряд через електроди розрядника 4, що створює гідрравлічний удар в трубопроводі. Гідрравлічний удар викликає виштовхування забруднення з фільтру.

Слід відзначити, що багаторазовим повторенням імпульсів при електрогідродинамічному способі регенерації можна повністю зруйнувати капілярні пробки, проте для остаточного вимивання частинок необхідний протиточний рух промивної рідини. Тому такий спосіб регенерації повинен поєднуватися з протиточною промивкою фільтрів. Але основним недоліком є те, що застосування електрогідродинамічного методу можливе тільки для неелектропровідних і не вибухонебезпечних рідин.

Ультразвукова кавітаційна регенерація

Зі збільшенням частоти пружних коливань можливий перехід у зону ультразвукових коливань, де нижня границя відповідає частоті 20 кГц. Такий перехід характеризується якісним стрибком інтенсивності регенерації [19]. Відомо, що разом із поширенням ультразвукових коливань в рідині спостерігається явище ультразвукової кавітації [12]. Воно являє собою утворення дрібних бульбашок при проходженні хвилі розрідження. Такі бульбашки здійснюють пульсуючі коливання при цьому викликають сильну місцеву турбулізацію середовища. Частина цих бульбашок при проходженні другої фази хвилі, які створює стиснення, схлопуються і це призводить до виникнення значних місцевих температур та тисків. Все це є потужним фактором руйнування твердих частинок на стінках капілярів перегородки та вимивання їх проточною рідиною.

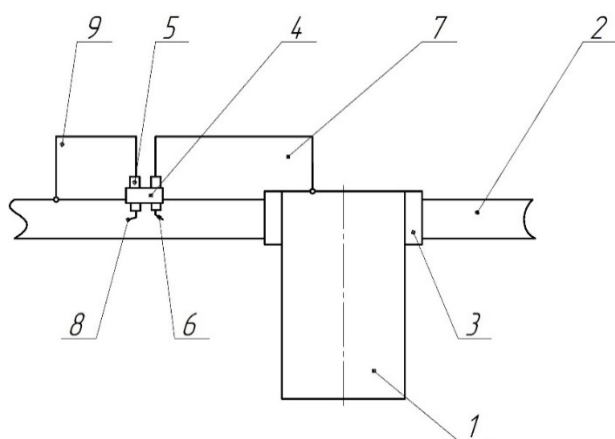


Рис. 7. Схема фільтра з електрогідрравлічною регенерацією [18]

Зазвичай ультразвуковій регенерації піддають сітчасті фільтри [11], які мають незначний гідравлічний опір і дозволяють досягати великої продуктивності при невеликій поверхні фільтрування.

Пристрій, що здійснює ультразвукову кавітаційну регенерацію фільтроелементів [20] наведено на рис. 8. У горизонтальну циліндричну камеру встановлюють фільтроелемент, який обертається від електроприводу 4. У камеру 8 подається кранами 9 і 10 очищаюча рідина від відцентрового очисника рідини. На ультразвуковий випромінювач 2 надходить напруга від ультразвукового генератора 3. Фокусуючий ультразвуковий випромінювач дозволяє створити необхідну інтенсивність ультразвуку на поверхні фільтроелемента малою потужністю генератора без втрат на кавітацію у поверхні випромінювача і в контактному шарі рідини, яка очищається. В результаті, завдяки малому загасанню ультразвукових коливань в циліндричній камері 8 на поверхні фільтроелемента в формі смуги, витягнутої вздовж осі фільтроелемента, створюється практично синфазний фронт необхідної інтенсивності ультразвуку для очищення фільтроелемента. При цьому ультразвук руйнує скупчення забруднювача на поверхні і порах фільтроелемента. Електроклапан 11 періодично закривається. У момент відкриття електроклапана над поверхнею фільтроелемента створюється ударна хвиля перепаду тиску (відсмоктування) і потік, що створений рідиною виконує ефективне очищення поверхні та пір фільтроелемента від забруднень.

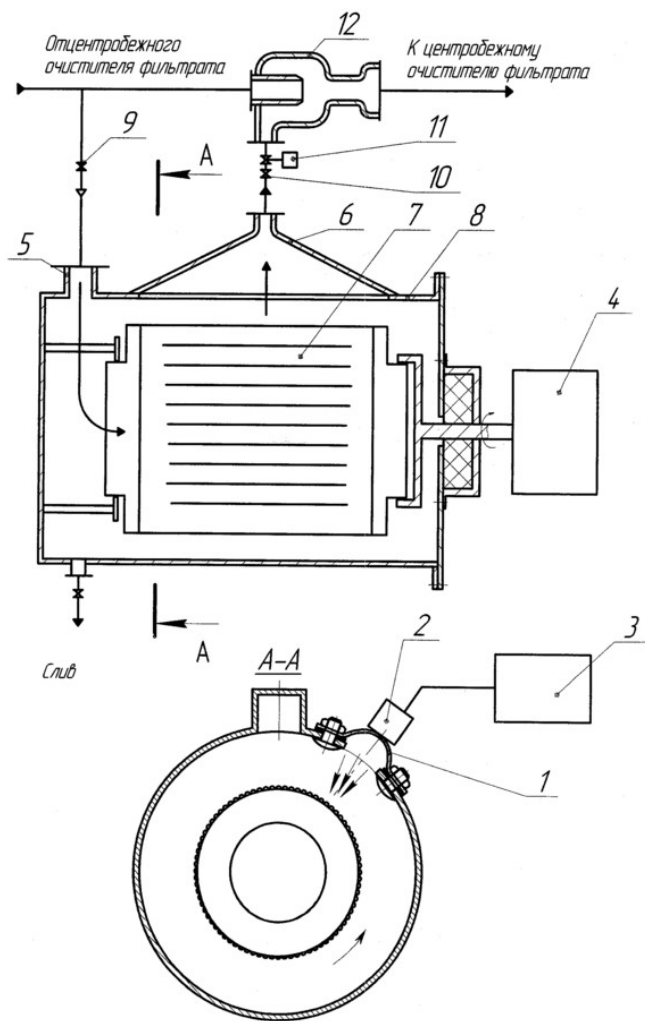


Рис. 8. Схема фільтра з ультразвуковою кавітаційною регенерацією

Головними факторами, які впливають на якість ультразвукової регенерації є тривалість озвучування, відстань до випромінювача та інтенсивність коливань. Необхідна тривалість озвучування залежить від параметрів властивостей суспензії, процесів фільтрування та регенерації перегородки, яка коливається від кількох секунд до десятків хвилин.

Ультразвуковий спосіб регенерації фільтрувальної перегородки є одним з найбільш ефективних способів гідромеханічного відновлення пористої перегородки. Таким способом можна очищати фільтроелементи зі ступенем очищення 1 мікромметр [21]. Однак, суттєвим недоліком ультразвукової регенерації є її значна енергоємність. Крім того, при поширенні в середовищі звук відбивається, заломлюється, розсіюється і поглинається, що характерно для будь-якого хвильового руху, що викликає складність розрахунку ультразвукових систем.

Висновки

Наведений аналіз основних способів регенерації фільтруючих перегородок свідчить, що в деяких випадках для відновлення необхідна досить тривала промивка та значна витрата промивної рідини, інші потребують досить великих фінансових затрат, а також збільшення витрати на працю для заміни або очистки.

Не всі наведені способи передбачають можливість електронного керування параметрами процесу регенерації, що значно зменшує коло їх використання, особливо в сучасних технологічних процесах.

Аналіз показав, що найбільш доцільним є застосування ультразвукової кавітаційної регенерації фільтрувальної перегородки, оскільки, при такому способі з легкістю можна очистити капіляри дуже малого діаметру і отримати якісну рідину для подальшої роботи в різних технологічних процесах, однак існують недоліки, які потрібно усунути.

References

1. Al-Amoudi A. Fouling strategies and the cleaning system of nf membranes and factors affecting cleaning efficiency / A. Al-Amoudi, R. W. Lovitt. – 2007.
2. Regula C. Chemical cleaning/disinfection and ageing of organic uf membranes: a review / C. Regula, E. Carretier, Y. Wyart, та. ін. – 2014.
3. Porcelli N. Chemical cleaning of potable water membranes: a review / N. Porcelli, S. Judd. – 2010.
4. Wegener K. Fluid elements in machine tools / K. Wegener, J. Mayr, M. Merklein, та. ін. // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2017.
5. Pretoro A. Di Filtration / A. Di Pretoro, F. Manenti // SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. – 2020.
6. Блянкман Л. М. Очистка фильтрующих материалов / 2-е издание / Л. М. Блянкман, В. Г. Пономарев, Н. Л. Смирнова. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 92 с.
7. Берестюк Г. И. Регенерация фильтров для разделения суспензий / Г. И. Берестюк. – Москва : Химия, 1978. – 96 с.
8. Commercial aircraft hydraulic systems / 2016.
9. Белянин П. Н. Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем / П. Н. Белянин, Ж. С. Черненко. – Москва : Машиностроение, 1964. – 293 с.
10. Стельмах И. В. Автоматизация процесса очистки фильтров станочных гидроприводов на базе электрогидравлического импульсного устройства / И. В. Стельмах // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2008. – Vol. 30, №. 1. – С. 62–67.
11. Pat. 1519755 СССР, Устройство для промывки фильтроэлемента / В. М. Комаров; assigned 89.
12. Луговской А. Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях / А. Ф. Луговской, Н. В. Чухраев. – Киев : 2007. – 244 с.
13. Pat. 95962 Ukraine, Спосіб регенерації пористих перегородок горизонтального відстійника / С. М. Епоян, Д. Г. Сухоруков, Т. С. Айрапетян; assigned 15.
14. Pat. 111202 Ukraine, Багатоступеневий конусний трубопровідний фільтр-сепаратор / О. Д. Солодкий, В. О. Солодкий; assigned 15.
15. Sahu O. Review on chemical treatment of industrial waste water / O. Sahu, P. Chaudhari // Journal of Applied Sciences and Environmental Management. – 2013.
16. Pat. 64055 A UA, Спосіб регенерації катіонітових фільтрів з подальшою обробкою регенерату / Г. С. Пантелят, А. А. Сироватський, Т. С. Эпоян; assigned 04.
17. Pat. 43993 Ukraine, Вібраційний фільтр / О. А. Сиротинський, С. О. Білоконь, І. І. Науменко, та. ін.; assigned 02.
18. Pat. 1124487 СССР, Устройство для очистки фильтров / Ю. И. Осипов, В. А. Ермаков, В. В. Бондарик; assigned 92.
19. Muramatsu H. The relationship between bubble motion and particle flocculation pattern under 20-khz-ultrasound radiation in water / H. Muramatsu, S. Yanai, Y. Mizushima, T. Saito // Chemical Engineering Science. – 2017.
20. Pat. 2378036 РФ, Эжекторно-ультразвуковой способ очистки поверхности фильтроэлементов / М. М. Хасанов; assigned 10.
21. Reuter F. Membrane cleaning with ultrasonically driven bubbles / F. Reuter, S. Lauterborn, R. Mettin, W. Lauterborn // Ultrasonics Sonochemistry. – 2017. – Vol. 37. – С. 542–560.

Possibilities of regeneration of filter partitions

A. Luhovskyi, A. Zilinskyi, A. Shulha, I. Gryshko

Abstract. The article analyzes the methods of regeneration of the filter partition of hydraulic systems: mechanical regeneration, countercurrent regeneration, pulse countercurrent regeneration, jet regeneration, chemical regeneration, vibration regeneration, electrohydraulic regeneration, ultrasonic cavitation regeneration. Their advantages and disadvantages are shown. The most effective ways to restore the filtering capacity of the porous partition, using the effects that accompany the phenomenon of ultrasonic cavitation. This method provides cleaning of contaminated filter partitions, even fine cleaning with a porosity of less than a micrometer, which allows to expand the range of its application in modern technological processes that place high demands on the purity of the working fluid to increase the reliability and durability of equipment. In addition, the method of ultrasonic cavitation regeneration involved in the process, by reducing surface friction provides increased productivity of filtering equipment. The presented materials were prepared during the implementation of the state budget theme 2047-p.

Keywords: filter, filter partition, regeneration, ultrasonic cavitation.

Возможности регенерации фильтрующих перегородок

О. Ф. Луговской, А. И. Зилинский, А. В. Шульга, И. А. Гришко

Анотация. В статье проведен анализ способов регенерации фильтровальной перегородки гидравлических систем: механическая регенерация, противоточная регенерация, импульсная противоточная регенерация, струйная регенерация, химическая регенерация, вибрационная регенерация, электрогидравлическая регенерация, ультразвуковая кавитационная регенерация. Показаны их преимущества и недостатки. Представлен наиболее перспективный способ восстановления фильтровальной способности пористой перегородки, который использует эффекты сопровождающие явление ультразвуковой кавитации. Этот способ обеспечивает очистку загрязненных фильтровальных перегородок даже тонкой очистки с пористостью менее микрометра, что позволяет расширить спектр его применения в современных

технологических процессах, которые ставят высокие требования к чистоте рабочей жидкости с целью повышения надежности и долговечности оборудования. Кроме того, способ ультразвуковой кавитационной регенерации, задействован в технологическом процессе, за счет уменьшения поверхностного трения обеспечивает повышение производительности фильтровального оборудования. Представленные материалы подготовлены в ходе выполнения госбюджетной темы 2047-р.

Ключевые слова: фильтр, фильтровальная перегородка, регенерация, ультразвуковая кавитация.

References

1. Al-Amoudi, A. and Lovitt, R. W. (2007). *Fouling strategies and the cleaning system of nf membranes and factors affecting cleaning efficiency*. DOI: 10.1016/j.memsci.2007.06.002
2. Regula, C. and Carretier, E.Y. (2014). *Wyart Chemical cleaning/disinfection and ageing of organic uf membranes: a review* DOI:10.1016/j.watres.2014.02.050
3. Porcelli, N. and Judd, S. (2017). *Chemical cleaning of potable water membranes: a review*. DOI: 10.1016/j.watres.2009.11.020
4. Wegener, K., Mayr, J., and Merklein M. (2017). Fluid elements in machine tools. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*.
5. Pretoro, A. Di and Manenti, F. (2020). Filtration. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*.
6. Blyankman, L.M, Ponomarev, V.G. and Smirnova N.L. (1982), *Ochistka fil'truyushchikh materialov* [Cleaning filter media], 2 nd ed., Energoizdat, Moscow, Russia.
7. Berestyuk, G.I. (1978), *Regeneratsiya fil'trov dlya razdeleniya suspenzii* [Regeneration of filters for separation of suspensions]. Khimiya, Moscow, Russia.
8. Shaoping, Wang Mileta and Tomovic, Hong Liu (2015). *Commercial aircraft hydraulic systems*.
9. Beljanin, P.N. and Chernenko, Zh.S. (1964), *Aviacionnye fil'try i ochistiteli gidravlicheskih sistem* [Aviation filters and purifiers of hydraulic systems], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
10. Stelmakh, I.V. (2008), "Automation of the filter cleaning process for machine hydraulic drives based on an electro-hydraulic pulse device", *Vestnik saratov state technical university*, vol. 30, no. 1, pp. 62–67.
11. Komarov, V.M. (1989), *Ustroistvo dlya promyvyki fil'troelementa* [Filter element flushing device], SSSR, Pat 1519755.
12. Lugovskiy, A.F. and Chuhraev, N.V. (2007), *Ul'trazvukovaya kavitacija v sovremennyh tehnologijah* [Ultrasonic cavitation in modern technologies], Vidavnicho-poligrafichnij centr «Kiivs'kij universitet», Kiev, Ukraine.
13. Epojan, S.M., Sukhorukov, D.Gh. and Ajrapetjan, T.S. (2015), *Sposib regheneraciji porystykh pereghorodok ghorizontalnogho vidstijnyka* [Method of regeneration of porous partitions of horizontal settler], Ukraine, Pat. 95962.
14. Solodkyj, O.D. and Solodkyj, V.O. (2016), *Baghatostupenevyj konusnyj truboprovodnyj fil'tr-separator* [Multistage conical pipeline filter-separator], Ukraine, Pat. 111202.
15. Sahu, O. and Chaudhari, P. (2013). Review on chemical treatment of industrial waste water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*.
16. Panteljat, Gh.S., Syrovatskyj, A.A. and Epojan, T.S. (2004), *Sposib regheneraciji kationitovykh fil'triv z podaljšhoju obrobkoju regheneratu* [The method of regeneration of cation exchange resins with subsequent processing of the regenerate], Ukraine, Pat. 64055.
17. Syrotynskyj, O.A., Bilokonj, S.O., Naumenko, I.I. and dr. (2002), *Vibracijnyj fil'tr* [Vibration filter], Ukraine, Pat. 43993.
18. Osipov, Yu.I., Ermakov, V.A. and Bondarik, V.V. (1992), *Ustroistvo dlya ochistki fil'trov* [Filter Cleaner], SSSR, Pat. 1124487.
19. Muramatsu, H. H., Yanai, S., Mizushima, Y. and Saito, T. (2017). The relationship between bubble motion and particle flocculation pattern under 20-khz-ultrasound radiation in water. *Chemical Engineering Science*. Vol.170 <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.03.040>
20. Khasanov, M.M. (2010), *Ezhektorno-ul'trazvukovoi sposob ochistki poverkhnosti fil'trelementov* [Ejector-ultrasonic method for cleaning the surface of filter elements], Russia, Pat. 2378036.
21. Reuter, F., Lauterborn, S., Mettin, R. and Lauterborn, W. (2017). Membrane cleaning with ultrasonically driven bubbles. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 37. pp. 542–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.012>