

УДК 621.647.231

**Луговський Олександр Федорович**, д.т.н., проф., **Зілінський Андрій Іванович**, асистент, **Мовчанюк Андрій Валерійович**, к.т.н., доц., **Шульга Аліна Вікторівна**, к.т.н., доц., **Гришко Ігор Анатолійович**, к.т.н., доц., **Завалій Олександр Павлович**, студент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

## Аналіз існуючих можливостей регенерації фільтруючих перегородок

***Анотація.** Проведений аналіз способів регенерації фільтрувальної перегородки гідравлічних систем: механічна регенерація, протиточна регенерація фільтрувальної перегородки, імпульсна протиточна регенерація, струменева регенерація, хімічна регенерація пористих перегородок, 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 пор фільтрувальної перегородки діаметром декілька мікрометрів, 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.*

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

Багато технологічних процесів пов'язано з використанням рідинного середовища. При цьому ефективність подібних технологічних процесів суттєво залежить від чистоти робочих рідин, що використовуються. Підтримання заданої чистоти рідин вимагає застосування постійного їх очищення. Нажаль поступове засмічування фільтрів, що застосовуються для очищення рідин, суттєво понижуює якість технологічних процесів, понижуює надійність та довговічність технологічного обладнання. Тому, важливою є проблема підвищення терміну працездатності технологічного обладнання, що фільтрує рідину. Досягти бажаного результату можна за рахунок регенерації фільтрувальної перегородки фільтрів [1–4].

Звісно, що всі фільтри мають властивість засмічуватися. 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 засмічування. Швидкість фільтрування стає меншою, а вологість осаду більшою. Це є однією з основних причин механічного пошкодження і завчасної заміни фільтрувальних елементів [5]. Для відновлення або покращення характеристик і збільшення терміну працездатності фільтрувальної перегородки зазвичай намагаються провести її регенерацію. 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 [8], імпульсна протиточна регенерація [7], струменева регенерація [4], хімічна регенерація пористих перегородок [7], вібраційна регенерація [7, 9], електрогідравлічна регенерація [7, 9] та ультразвукова кавітаційна регенерація [10, 11].

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. 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. Якість регенерації дуже низька, тому спосіб використовується у системах попереднього фільтрування або у фільтрах з низьким ступенем очищення.

Якщо розглядати протиточну регенерацію [8], то 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 капілярних пор, порушуючи цілісність пробки. В ролі промивного елемента використовують фільтрат, різні рідини, стиснене повітря, пар. Слід зазначити, що протиточною регенерацією перегородок не завжди вдається досягти повного 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.

Щоб збільшити ефективність регенерації фільтрувальної перегородки здійснюють, так звану, імпульсну регенерацію [7]. Суть імпульсного промивання полягає у створенні короточасних 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. Зазвичай імпульсна регенерація проводиться із будь-якою промивною рідиною. Однак, при такому способі регенерації мають місце великі витрати промивної рідини. Крім того, кожна пориста перегородка промивається окремо або парами, що в сукупності призводить до суттєвих фінансових витрат.

Одним з різновидів рідинно-повітряної регенерації фільтрувальної перегородки є струменева регенерація. Вона широко використовується на барабанних, дискових, стрічкових і деяких інших типах фільтрів для видалення осаду з поверхні перегородки та її регенерації [4]. Якість регенерації в такому випадку залежить, на сам перед, 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.

Дуже часто використаний фільтрувальний матеріал піддають хімічній регенерації [7], яка ґрунтується на розчиненні осілих у перегородці частинок суспензії чи цементованого осаду. Провідне місце такий спосіб займає при регенерації пористих елементів, які після короточасної 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 отвори. 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.

Застосування пружних коливань [9] з метою фільтрування суспензії дозволяє не лише здійснити вібраційну регенерацію перегородки, а також інтенсифікувати і сам процес фільтрування. Якщо суспензії або перегородці у процесі фільтрування надавати зворотно-поступальний рух, то можна здійснити безперервний процес поділу суспензії, який протікатиме з найбільшою швидкістю, 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. Вібраційні фільтри забезпечують надійну регенерацію перегородки порівняно, наприклад, з імпульсною

протиточною регенерацією. Однак такі фільтри мають не велику фільтрувальну поверхню, що обумовлено складністю конструкції та великими зусиллями, які виникають при вібруванні фільтрувальної системи.

Одним із видів імпульсної протиточної регенерації фільтрів є електрогідродинамічний спосіб [9]. Завдяки електричному розряду у рідині виникає потужний гідравлічний удар, який виникає як наслідок миттєвого випаровування частини рідкого середовища між іскророзрядниками. Ударна хвиля характеризується зоною підвищеного та, слідууючою 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. 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 способу можливе тільки для неелектропровідних і вибухобезпечних рідин.

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. Відомо, що разом із поширенням ультразвукових коливань в рідині, за умови певного рівня інтенсивності, спостерігається явище ультразвукової кавітації [11].

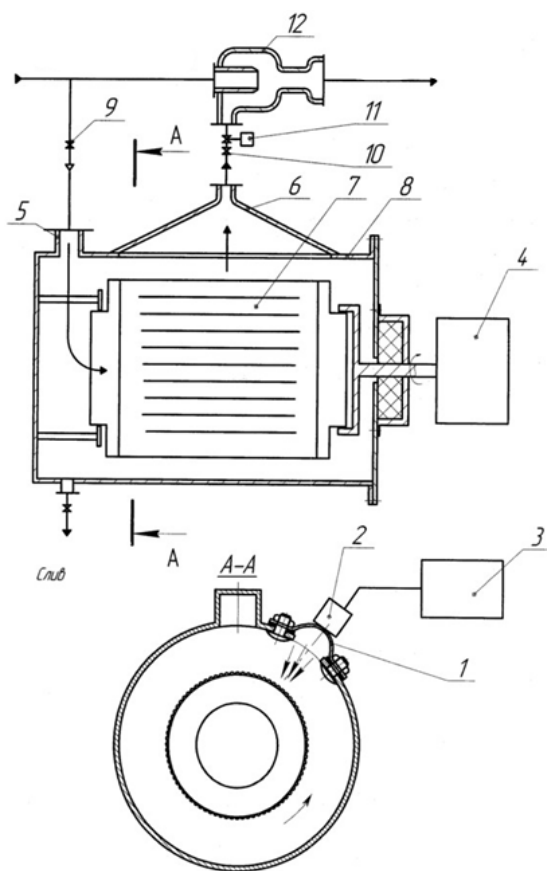


Рис 1 – Схема фільтра з ультразвуковою кавітаційною регенерацією

Воно являє собою утворення дрібних бульбашок в фазі розрідження при введенні в рідину хвилі пружної деформації. Такі бульбашки здійснюють пульсуючі коливання, що викликає сильну місцеву турбулізацію середовища. Частина цих бульбашок при проходженні фази стиснення пружної хвилі, захлопуються 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.

Частіше за все ультразвуковій регенерації піддають сітчасті фільтри [10], які мають незначний гідравлічний опір і дозволяють досягати великої продуктивності при невеликій поверхні фільтрування.

Пристрій, що здійснює ультразвукову кавітаційну регенерацію фільтроелементів [12] наведено на рис. 1. У горизонтальну циліндричну камеру встановлюють фільтроелемент, який обертається за допомогою електроприводу 4. У камеру 8 подається кранами 9 і 10 очищаюча рідина від відцентрового очисника рідини. На ультразвуковій випромінювачі 2 надходить напруга від ультразвукового генератора 3. Фокусуючий ультразвуковий випромінювач

дозволяє створити необхідну інтенсивність ультразвуку на поверхні фільтроелемента при незначній потужності генератора та без втрат у кавітаційному прошарку на поверхні випромінювача. 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.

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.

Саме 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. Однак, суттєвим недоліком ультразвукової регенерації є її значна енергоємність. Крім того, при поширенні в середовищі звук відбивається, розсіюється і поглинається, що характерно для будь-якого хвильового руху, що викликає складність розрахунку ультразвукових систем.

Провівши аналіз, слід зазначити, що найперспективнішим способом регенерації фільтрувальних перегородок є спосіб ультразвукової кавітаційної регенерації, оскільки при такому способі вдається досягти найвищої якості очищення фільтроелемента та забезпечити підвищення ефективності багатьох технологічних процесів.

#### Список використаних джерел

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. *Белянин П. Н. Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем / П. Н. Белянин, Ж. С. Черненко. — Москва : Машиностроение, 1964. — 293 с.*
9. *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.*
10. *Pat. 1519755 СССР, Устройство для промывки фильтроэлемента / В. М. Комаров; assigned 89.*
11. *Луговской А. Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях / А. Ф. Луговской, Н. В. Чухраев. — Киев : 2007. — 244 с.*
12. *Pat. 2378036 РФ, Эжекторно-ультразвуковой способ очистки поверхности фильтроэлементов / М. М. Хасанов; assigned 10.*