

НЕДОЛІКИ ТА ПЕРЕВАГИ ВІБРАЦІЙНОГО МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ РІДИН У ПОРІВНЯННІ З ТРАДИЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА СЕДИМЕНТАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто переваги та недоліки вібраційного очищення рідин у порівнянні з фільтрацією та седиментацією. Показано, що вібраційні методи підвищують ефективність та продуктивність очищення, особливо для складних середовищ.

Ключові слова: вібрація, очищення рідин, фільтрація, седиментація, віброфільтрація

Abstract

The paper examines the advantages and disadvantages of vibrational liquid purification compared to filtration and sedimentation. It is shown that vibrational methods increase the efficiency and productivity of purification, especially for complex media.

Keywords: vibration, liquid purification, filtration, sedimentation, vibrofiltration.

Ефективне очищення рідин є критично важливим завданням у численних галузях промисловості та комунального господарства, включаючи обробку промислових та побутових стічних вод, підготовку питної води, очищення технологічних рідин, харчову промисловість та фармацевтику. Зростаючі обсяги стічних вод та посилення екологічних норм вимагають постійного вдосконалення існуючих та розробки нових, більш ефективних та економічно доцільних технологій очищення. Значна частка експлуатаційних витрат очисних споруд, що сягає 50%, припадає саме на обробку осадів, які утворюються в процесі очищення, що стимулює пошук технологій, які мінімізують утворення відходів або полегшують їх подальшу обробку [1].

Традиційно для видалення зважених домішок з рідин широко застосовуються методи фільтрації та седиментації. Фільтрація базується на механічному затриманні частинок пористим середовищем, тоді як седиментація використовує силу гравітації для осадження частинок, густина яких перевищує густину рідини. Поряд з цими класичними підходами, активно розвиваються та досліджуються альтернативні та допоміжні методи, зокрема ті, що використовують фізичні поля, такі як вібраційні та акустичні (ультразвукові) методи. Ці методи потенційно можуть запропонувати переваги у специфічних умовах, наприклад, при обробці високов'язких рідин, суспензій з високою концентрацією твердої фази або для інтенсифікації процесів розділення [2].

Фільтрація широко застосовується для очищення рідин від твердих домішок і передбачає використання спеціальних пористих матеріалів, які утримують частинки, пропускаючи лише очищену рідину. Такий підхід дозволяє досягти високої точності розділення, однак ефективність процесу значною мірою залежить від властивостей фільтрувального середовища та умов експлуатації.

Під час фільтрації механізми затримання частинок залежать від їхніх розмірів, швидкості потоку та структури фільтрувального середовища. Великі частинки, розміри яких перевищують діаметр пор, фізично блокуються на поверхні або в глибині фільтра. При високій швидкості потоку частинки з достатньою масою не встигають змінити траєкторію руху та зіштовхуються з волокнами, осідаючи в товщі матеріалу.

Для дуже дрібних домішок характерний броунівський рух – хаотичне переміщення, яке підвищує ймовірність контакту з фільтрувальними волокнами навіть поза основним потоком. У випадках, коли використовується глибокий фільтрувальний шар, частинки можуть осідати всередині його структури – завдяки адсорбції, захопленню в звивистих порах або взаємодії з іншими вже затриманими частинками [3, 4].

Додатковими, менш значущими механізмами можуть бути гравітаційне осадження всередині фільтра та електростатичне притягання (якщо частинки та фільтр мають протилежні заряди). Розуміння домінуючих механізмів є ключовим для оптимізації процесу, оскільки ефективність фільтрації не завжди прямо залежить лише від розміру пор, а й від умов експлуатації (наприклад, швидкості потоку).

Перевагами фільтрації є висока ефективність видалення частинок певного розміру, можливість досягнення високого ступеня очищення рідини, широкий спектр застосування та відносна простота базових конструкцій. Однак, основним недоліком є схильність до забруднення (забивання) фільтрувального елемента. Це призводить до поступового зростання перепаду тиску на фільтрі, зниження продуктивності та необхідності періодичної регенерації (промивки) або заміни фільтрувальних елементів. Процеси регенерації можуть бути складними та енергоємними, а також призводити до утворення вторинних відходів (промивні води, відпрацьовані фільтри). Фільтрація може бути неефективною або економічно не вигідною для рідин з дуже високою концентрацією твердої фази або високою в'язкістю. Високий перепад тиску, необхідний для подолання опору фільтра, особливо при його забрудненні, призводить до значних енерговитрат. Саме проблема забруднення фільтрів є ключовим фактором, що стимулює розробку нових підходів, таких як тангенціальна фільтрація або динамічні системи (віброфільтрація), спрямованих на мінімізацію цього явища [4,5].

Седиментація використовується для вилучення зважених частинок із рідини за рахунок гравітаційного осадження. Вона особливо ефективна, коли частинки мають більшу густину, ніж рідина, і можуть поступово опускатися на дно. У природі цей процес спостерігається у стоячих водоймах, а в промисловості його реалізують за допомогою відстійників, які забезпечують умови для повільного осадження [6].

Основні переваги седиментації – простота принципу дії, відносно низькі капітальні та експлуатаційні витрати (оскільки основною рушійною силою є гравітація), ефективність видалення великих та щільних зважених частинок. Седиментація дозволяє суттєво знизити навантаження на наступні стадії очищення. Однак, метод малоефективний для видалення дрібних, легких та колоїдних частинок без попередньої коагуляції та флокуляції. Це фундаментальне обмеження, пов'язане з недостатньою силою гравітації для таких частинок, часто вимагає використання хімічних реагентів та додаткових стадій обробки. Седиментація потребує значних площ для розміщення відстійників та тривалого часу перебування рідини в них. Процес чутливий до змін швидкості потоку, температурних коливань (що можуть викликати конвекційні потоки). Важливим недоліком є утворення великих об'ємів осаду (шламу), який потребує подальшої обробки та утилізації, що є значною статтею витрат. Конструкція відстійника має вирішальне значення для досягнення максимальної ефективності, оскільки необхідно забезпечити умови, близькі до ідеального ламінарного потоку та уникнути зон турбулентності [6-8].

Вібраційні методи очищення використовують механічні коливання для інтенсифікації процесів розділення гетерогенних систем, таких як суспензії. Вплив вібрації може модифікувати існуючі механізми розділення (наприклад, гравітаційне осадження чи фільтрацію) або індукувати специфічні явища, що сприяють очищенню рідини.

Використання вібрації в системах очищення рідин дає змогу суттєво підвищити ефективність та продуктивність процесу. Наприклад, вібраційні сита мають значно вищу пропускну здатність, ніж їхні статичні аналоги, а віброфільтрація забезпечує стабільно високий потік навіть під час обробки важких для

фільтрації середовищ – таких як в'язкі рідини або концентровані суспензії, де традиційна фільтрація швидко втрачає ефективність через забруднення мембран [2]. До того ж, вібраційний вплив дозволяє покращити осадження дрібних частинок, що зазвичай важко досяжно за умов класичної седиментації.

Однією з ключових переваг віброфільтрації є зменшення утворення фільтраційного осаду завдяки механічно індукваному зсуву на поверхні мембрани. Такий ефект значно сповільнює процес забруднення та знижує необхідність у регенерації. До того ж, робота при нижчому трансмембранному тиску дозволяє скоротити енерговитрати в порівнянні з традиційними тангенціальними системами. Ще одним позитивним фактором є те, що вібраційна дія не вимагає використання потужних насосів, отже зменшується механічне навантаження на чутливі компоненти або речовини, що очищуються [2].

Разом з тим, вібраційні системи мають і низку обмежень. Через наявність рухомих вузлів (віброзбуджувачі, амортизатори тощо) вони є складнішими в експлуатації й вимагають регулярного технічного обслуговування. Окремі елементи, такі як сита чи підшипники, піддаються зносу, що знижує довговічність обладнання [1]. Крім того, генерація вібрації потребує додаткової енергії, і хоча у певних умовах вона може бути енергоефективнішою за альтернативні методи, оцінку доцільності слід проводити для кожного конкретного випадку.

Ще однією проблемою є акустичний вплив – вібраційне обладнання часто створює значний рівень шуму, що потребує додаткових заходів шумоізоляції [1]. Варто також враховувати, що налаштування режимів вібрації – амплітуди, частоти, типу коливань – є критично важливим для досягнення стабільної ефективності. Цей процес потребує високої кваліфікації персоналу і обмежує універсальність застосування таких систем.

Зрештою, хоча вібраційні технології часто демонструють переваги у специфічних умовах, їх впровадження потребує ретельного техніко-економічного обґрунтування. Вони особливо виправдані там, де традиційні фільтраційні підходи втрачають ефективність через забруднення мембран, а також у випадках, коли потрібно обробляти нестандартні або складні за складом рідини [1, 8].

Вибір оптимального методу очищення рідини залежить від багатьох факторів, включаючи характеристики вихідної рідини, необхідний ступінь очищення, продуктивність, а також капітальні та експлуатаційні витрати.

Фундаментальна відмінність полягає у способі прикладання енергії для розділення. Фільтрація використовує гідравлічну енергію (тиск) для проштовхування рідини через пористе середовище. Седиментація покладається на потенційну енергію (гравітацію). Вібраційні методи використовують механічну енергію, прикладену безпосередньо до розділювального елемента (сито, мембрана) або до суспензії в цілому, для інтенсифікації процесу. Ця різниця визначає їхні переваги та недоліки щодо ефективності, забруднення та конструктивної складності.

Часто оптимальним рішенням є використання комбінованих або гібридних підходів. Наприклад, седиментація часто використовується як попередня стадія перед фільтрацією. Віброфільтрація сама по собі є гібридним методом, що поєднує фільтрацію та вібраційний вплив [5]. Вібрація може застосовуватися для інтенсифікації осадження. Це свідчить про те, що поєднання різних фізичних принципів є ключовою стратегією для досягнення високої ефективності очищення, особливо для складних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоряк Н., Лях М., Копей Б. Аналіз конструктивних виконань вібросит для очищення промивальної рідини. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. № 1. С. 16–24. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4593/1/5700p.pdf>.
2. Li J., Wang Y., Zhang Q., Liu H. Experimental Study on the Sedimentation Efficiency of a Linear Sedimentation Tank with an Arch Plate // *Water*. – 2024. – Vol. 16, No. 8. – Art. 1075. – Режим доступу:

<https://www.mdpi.com/2073-4441/16/8/1075>.

3. Principles of Filtration / Pall Corporation. – Режим доступу: https://www.pall.com/content/dam/pall/oil-gas/literature-library/non-gated/WER_5300B.pdf.

4. Types of Liquid Filtration and Their Applications / Brother Filtration. – Режим доступу: <https://www.brotherfiltration.com/types-of-liquid-filtration-and-their-applications/>.

5. Learn About Our Unique MF/UF Technology / SANI Membranes. – Режим доступу: <https://www.sanimembranes.com/technology/>.

6. Ahmad S., Ahmad Z., Khan A.U., Khan F.Y., Rehman Z.U. Comprehensive Review of Industrial Wastewater Treatment Techniques // Applied Water Science. – 2024. – Vol. 14, Art. 141. – DOI: 10.1007/s13201-024-02146-4. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/382940416_Comprehensive_review_of_industrial_wastewater_treatment_techniques.

7. Павленко М. Ю., Максименко Ю. В. Очищення стічних вод в Україні // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – 2019. – № 2(72), т. 1. – С. 191–197. – Режим доступу: <http://eprints.zu.edu.ua/32367/1/%D0%A3%D0%94%D0%9A%2057.pdf>.

8. Ignatowicz K., Daprowska L., Fudala-Ksiazek S., Luczkiewicz A. Recent Developments in the Application of Ultrasound in the Pretreatment of Municipal Wastewater // Journal of Ecological Engineering. – 2023. – Vol. 24, No. 1. – P. 266–277. – DOI: 10.12911/22998993/156050. – Режим доступу: <https://www.jeeng.net/pdf-173064-96046?filename=Recent%20Developments%20in.pdf>.

Свящук Юрій Анатолійович – аспірант кафедри Галузевого машинобудування, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: y.sviashchuk@gmail.com

Поліщук Олександр Васильович – к. т. н., доц., доцент кафедри педагогіки безпеки та безпеки життєдіяльності, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

Sviashchuk Yurii A. – postgraduate student of the Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: y.sviashchuk@gmail.com

Polishchuk Oleksandr V. – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety Pedagogy and Life Safety, Vinnytsia National Technical University, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua