

## ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

УДК 621.187.12

**Гаращенко О. В., к.т.н., Гаращенко В. І., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### МАГНІТОСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ФІЛЬТР-МАТРИЦІ З КОНТАКТУЮЧИХ СТРИЖНІВ

Приведені результати досліджень з визначення магнітосорбційних властивостей фільтр-матриці з контактуючих стрижнів. Встановлено залежності впливу довжини фільтр-матриці на показник і логарифмічний показник магнітного осадження диспергованого магнетиту при протіканні водної суспензії в кульковій, стрижневій і різьбовій фільтр-матриці. Наведені результати досліджень з впливу напруженості зовнішнього магнітного поля на величину показника магнітного осадження диспергованого магнетиту при протіканні через гранули фільтр-матриць різних типів.

**Ключові слова:** фільтр-матриця, феромагнітна загрузка, стрижнева фільтр-матриця, магнітне осадження.

Магнітні пристрої (фільтри, осаджувачі, сепаратори), що працюють за принципом магнітного осадження домішкових часток, які володіють феромагнітними (феримагнітними) властивостями знаходять все більше поширення в різних галузях промисловості, таких як теплова та атомна енергетика, металургія, хімічна технологія та інші. Ефективне осадження домішок здійснюється в гранульованих фільтр-матрицях магнітних фільтрів (кульках, дробленій стружці, пластинах та ін.), де в межах точок контакту гранул створюються сильні та різко неоднорідні поля-пастки, в яких величина силового магнітного фактора  $H_{grad}H$  досягає  $1 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{14} \text{ A}^2/\text{m}^3$ .

Разом з тим, з погляду створення подібних полів-пасток такий вид фільтр-матриць (гранульованих) не є єдино можливим. Доцільно здійснювати пошук і дослідження інших видів феромагнітних фільтр-матриць. Зокрема, однією з них можна вважати фільтр-матрицю, що складається із щільно вкладених стрижнів, орієнтованих уздовж потоку рідини [1]. Хоча для вилучення домішок з текучих середовищ й відоме застосування стрижнів [2], проте їх зазвичай розташовують так, щоб рідина проходила поперек стрижнів, тобто без їх контакту між собою. А це – принципова відмінність від варіанта контактного розташування стрижнів з наступних причин. По-перше, наявність

контактів між стрижнями обумовлює появу в межах зон контакту локалізованого високоградієнтного магнітного поля [3], без якого тонке магнітне розділення середовищ і домішок важко здійснити. По-друге, проходження середовища, що очищується, саме уздовж стрижнів сприяє стійкому дрейфу часток, що осаджують, до приконттактних зон осадження внаслідок більш «організованого» і тривалого магнітного впливу з боку цих зон, у порівнянні з «переривчастим» впливом у гранульованій фільтр-матриці з боку хаотично розташованих гранул і зон їх контакту.

У дослідах з визначення ефективності роботи щільно упакованої стрижневої фільтр-матриці використали загострені на кінцях стрижні діаметром 5,9 і довжиною 40 мм. Пакет таких упакованих контактуючих стрижнів розміщували в коробчасту неферромагнітну колонку шириною 4 см і намагнічували поперечним магнітним полем напруженістю 70-80 кА/м. Крізь пакет стрижнів уздовж їх утворюючих (зі швидкістю набігаючого потоку 200 м/год) багаторазово пропускали водно-дисперсне середовище із частками магнетиту розмірами не більше 3-5 мкм. Для порівняння при тих самих режимах проводили аналогічні дослідження з використанням кулькової фільтр-матриці (діаметр кульок 5,9 мм), розташованої в трубчастій колонці діаметром 4 см.

Зміни ефективності осадження  $\psi$  залежно від довжини матриці  $L$  зображені на рис. 1, (криві 1, 2) звідки видно, що по сорбційній здатності стрижнева фільтр-матриця дещо поступається кульковій (в 1,1-1,2 рази). Разом з тим при порівняльному аналізі цих даних необхідно взяти до уваги швидкісний режим безпосередньо в шпаринах, де й здійснюється осадження.

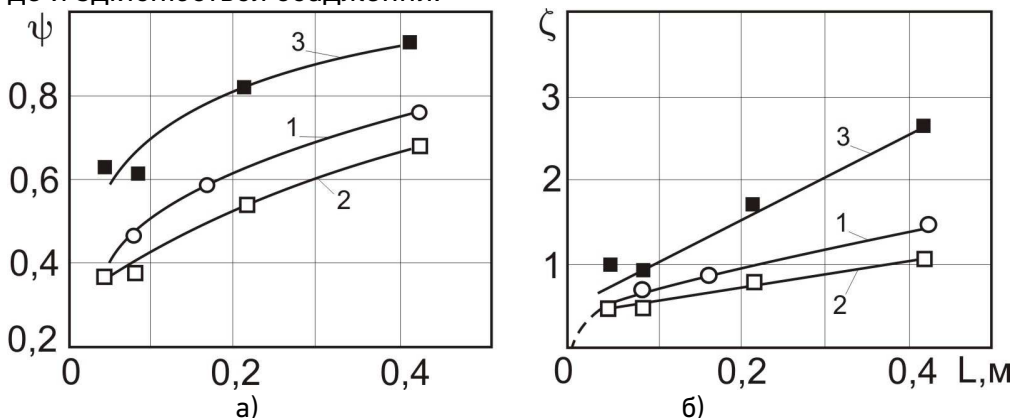


Рис. 1. Показник (а) і логарифмічний показник (б) магнітного осадження диспергованого магнетиту при протіканні водної суспензії в кульковій (1), стрижневій гладкій (2) і різьбовій (3) фільтр-матриці при 70-80 кА/м

При одній і тій же швидкості  $V$  набігаючого потоку, значення середньої швидкості  $V_n$  рідини в шпаринах цих матеріалів значно відрізняються одне від одного. Так, з огляду на зв'язок  $V_n=V/P$ , отримаємо, що при характерній пористості кулькової фільтр-матриці  $P\approx 0,4$  середня швидкість у шпаринах цієї фільтруючої матриці становить 500 м/год, а в шпаринах стрижневої матриці при  $P\approx 0,1$  (укладання стрижнів близьке до шахового) ця швидкість в 4 рази більше (2000 м/год). Отже, при рівності середніх швидкостей рідини саме в шпаринах кулькова фільтруюча матриця уступає стрижневій.

Таким чином, з погляду потенційної можливості тонкої магнітної седиментації, якщо виходити з еквівалентності середньої швидкості в шпаринах  $V_n$ , стрижнева фільтр-матриця має переваги в порівнянні з кульковою. Разом з тим на практиці пропускна здатність очисного пристрою (фільтра, осаджувача) характеризується витратною швидкістю  $V$ , а не  $V_n$ . Саме із цих міркувань стрижнева фільтр-матриця матиме менш вигідне положення в порівнянні з кульковою фільтр-матрицею.

Сорбційну активність стрижневої фільтруючої матриці можна істотно збільшити, використовуючи не гладкі, а фігурні стрижні: різьбові, гвинтові з повздовжньою і поперечною насічкою і т.д. Поряд із гладкими роз'єднаними стрижнями, вони відомі як осаджуючі елементи [4-8], зокрема при збагаченні корисних копалин. Однак на відміну від традиційного технічного рішення, у цьому випадку стрижні є щільно упакованими. Використання пакета фігурних стрижнів дає перевагу у двох відношеннях. По-перше, хоча в цьому випадку зникає позитивний фактор стійкого дрейфу часток, все ж таки, сили магнітного захоплення часток суттєво зростають через наявність нерівностей поверхні стрижнів, що породжують «мікронеоднорідності» магнітного поля в шпаринах між стрижнями, особливо при безпосередньому контакті стрижнів. По-друге, підвищується пористість такої матриці в порівнянні з фільтруючою матрицею у вигляді гладких стрижнів і, відповідно, зменшується середня швидкість руху рідини, сприяючи тим самим зменшенню гідродинамічних сил віднесення часток. Обидва ці фактори сприятливо позначаються на співвідношенні зазначених конкуруючих сил (магнітна, гідродинамічна), а в остаточному підсумку – на ефективності магнітного осадження часток, що й підтверджується дослідними даними [3; 9] (рис. 1, а).

При безконтактному розташуванні стрижнів фактор нерівності їх поверхні практично не впливає на магнітну седиментацію [2]. Звідси випливає, що використання фігурних стрижнів (обов'язково кон-

тактуючих) найбільш доцільне саме для тонкого магнітного осадження, коли в зонах контакту виникають високі й різко неоднорідні поля-пастки. При цьому ефективність магнітного осадження підвищується в 1,2-1,5 рази при інших постійних режимах й умовах магнітного осадження (рис. 1).

Що стосується закономірностей поглинання домішок стрижневою фільтр-матрицею, то вона подібна з відповідними закономірностями поглинання кульковою фільтр-матрицею. Так, дотримуючись уявлень про намагнічену фільтруючу матрицю як експоненціальний поглинаючий екран, можна записати рівняння магнітного осадження:

$$\psi = \lambda[1 - \exp(-\alpha L)], \quad (1)$$

де  $\lambda$  – частка феромагнітної фракції часток, що осаджують;  $\alpha$  – коефіцієнт поглинання, що залежить від ступеня намагніченості, швидкісного режиму, властивостей фільтр-матриці і рідинно-дисперсної системи, що очищається. Логарифмічний показник осадження  $\xi$ , що визначається як  $\xi = -\ln(1 - \frac{\psi}{\lambda})$ , прямопропорційний довжині  $L$ . Цей

факт підтверджений експериментально [10], однак, якщо спектр величини часток, що осаджують, порівняно вузький (у межах одного порядку), то пряма проходить через початок координат, тим самим вказуючи, що така залежність одноекспонентна. У випадку ж, коли спектр величини більш широкий, ця залежність залишаючись досить протяжною прямою лінією, не проходить через початок координат і має стрибок при малих значеннях  $L$ , внаслідок першочергового осадження порівняно великих часток (рис. 1, б пунктирна лінія).

В інших дослідах використовували воднодисперсне середовище з розмірами часток магнетита від 0,01 до 3-5 мкм. Залежності  $\xi$  від  $L$  як для кулькової, так і для стрижневих, гладкої та різьбової, підтверджують (рис. 1, б, криві 1, 2, 3), що «скачок»  $\xi$  при малих значеннях  $L$  визначається спектром часток. Отже, закономірності магнітного осадження часток з рідкого середовища в кульковій і стрижневих фільтр-матрицях ідентичні. Рівень магнітного осадження домішок, що характеризується величиною  $\psi$ , або нахилом лінії  $\xi$  визначається індивідуальною «сорбційною» особливістю тієї або іншої фільтр-матриці.

У випадку зміни інших параметрів процесу магнітного осадження домішок, на основі експериментальних досліджень [3; 9; 10], отримано наступне рівняння магнітного осадження для гранульованих фільтр-матриць:

$$\psi = \lambda \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\alpha \bar{H}^{0.75} L}{V d^2}\right) \right], \quad (2)$$

де  $\bar{H}$  – зведена напруженість магнітного поля,  $V$  – швидкість фільтрування,  $d$  – еквівалентний діаметр гранул (кульок) фільтр-матриці. Щодо величини  $d$ , то в нашому випадку необхідні додаткові дослідження з визначення впливу  $d$  на показник  $\psi$ .

Отримані дані повністю підтверджені додатковими дослідженнями з використанням суспензії, що містить частки іншого (у цих дослідках – неконтрольованого) спектра величини при напруженості намагнічуючого поля 40-50 кА/м і 100-120 кА/м (рис. 2).

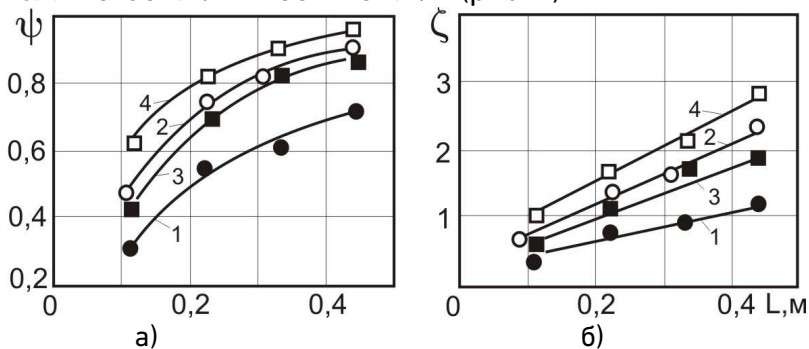


Рис. 2. Показник (а) і логарифмічний показник (б) магнітного осадження диспергованого магнетиту при протіканні водної суспензії в кульковій (1, 2) і стрижневій з різьбовою поверхнею (3, 4) фільтр-матриці з діаметром кульок 5,9 мм (1, 2), зовнішнім діаметром стрижнів 4 мм (3, 4) при напруженості 40-50 кА/м (1-3) і 100-120 кА/м (2, 4)

Враховуючи, що магнітний силовий фактор в шпаринах фільтр-матриці, який визначає ефективність процесу осадження залежить від  $H$ , досліджували вплив напруженості  $H$  зовнішнього магнітного поля на показник магнітного осадження диспергованого магнетиту при протіканні водної суспензії в кульковій і стрижневій фільтр-матриці (рис. 3).

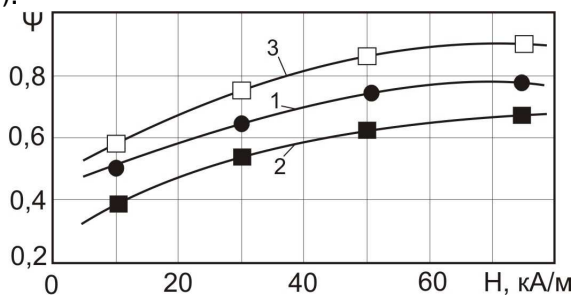


Рис. 3. Показник осадження диспергованого магнетиту при протіканні водної суспензії в кульковій (1), стрижневій гладкій (2) і різьбовій (3) фільтр-матрицях при  $L=40$  мм,  $V=200$  м/год

При незначній величині  $H=10$  кА/м величина  $\psi$  для стрижневої фільтр-матриці з різьбою складає 0,58, кулькової – 0,5, а для стрижневої гладкої – 0,4. При  $H>50$  кА/м зростання величини  $\psi$  сповільнюється. Показник  $\psi$  при  $H=75$  кА/м для фільтр-матриці 1 складає 0,79, для фільтр-матриці 2 – 0,68, для фільтр-матриці 3 – 0,9. При  $H=75$  кА/м, фільтр-матриця 3 в порівнянні з фільтр-матрицею 2, має в 1,32 рази більший показник  $\psi$ .

Крім того, досліди, у яких застосовували кульки того ж діаметра, а різьбові стрижні меншого діаметра (4 мм), дозволили зробити ще один важливий висновок. При використанні різьбових стрижнів визначальним геометричним фактором, на відміну від кулькової і стрижневої фільтр-матриць є не стільки діаметр стрижнів, скільки конфігурація їхньої поверхні (трикутна, трапецевидна, сфероподібна), що формує високі й різко неоднорідні поля-пастки. Критерієм може бути кількість виступів і впадин на одиницю площі або в одиниці об'єму стрижневого елемента ферромагнітної фільтр-матриці та величина  $H_{grad}H$ .

1. А.С. 1215745 СССР, МКИ В03С1/02. Магнитный сепаратор железосодержащих примесей. № 3792735/22-03 / Гаращенко В. И., Сандуляк А. В., Сандуляк В. В. (СССР); заявл. 10.07.84; опубл. 07.03.86, Бюл. № 9. 2. Армашова З. П. Исследование ферромагнитных заполнителей для создания электромагнитного сепаратора с интенсивным магнитным полем: дис. ... канд. техн. наук. М., 1974. 21 с. 3. Сандуляк А. В. Очистка жидкостей в магнитном поле. Львов : Вища школа, 1984. – 166 с. 4. А.С. 394101 СССР, МКИ В03С1/02. Электромагнитный сепаратор / Армашова З. П., Крутий В. В., Херсонец Л. Н., Давыдов Ю. А. Опубл. 22.08.73, Бюл. № 34. 5. Pat. 1084413 BRD. Magnet-Filter / W. Hett. – Publ. 30.06.60. 6. Pat. 3375925 USA. Magnetic separator / J. H. Carpenter. – Publ. 02.04.68. 7. Pat. 2655140 BRD. Starkfeld-Magnetscheider, insbesondere zur Nabaufbereitung magnetisierbarer Feststoff-Teilchen / H. Bender. – Publ. 09.02.78. 8. Гаращенко О. В., Гаращенко В. І. Очистка оборотных вод металлургических производств от ферропримесей магнитными фильтрами. *Теплотехніка і енергетика в металургії: XVI Міжнародна конференція, 4-6 жовтня 2011: тези доповіді.* Дніпропетровськ, 2011. С. 32–33. 9. Теоретичні основи процесу осадження магнітних домішок в намагнічених ферромагнітних загрузках / Гаращенко В. І., Гаращенко О. В., Сафоник А. П. та ін. *Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки».* Випуск 1(65). С. 390–397. 10. Гаращенко В. И. Исследование и внедрение новых фильтров с намагниченной пористой насадкой по осаждению железосодержащих примесей аммиачной воды реактивной чистоты и конденсата : авто-

реф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.17.08  
«Процессы и аппараты химической технологии». К., 1981. 21 с.

Рецензент: к.т.н., с.н.с. Яцков М. В. (НУВГП)

---

**Harashchenko O. V., Candidate of Engineering (Ph.D.),  
Harashchenko V. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate  
Professor** (National University of Water and Environmental Engineering,  
Rivne)

### **MAGNETO-SORPTION PROPERTIES OF FILTER-MATRIX IN THE FORM OF CONTACTING RODS**

**It is shown the results of researches on determination of magneto-sorption properties of a filter-matrix in form of contacting rods. The dependence of the influence of the filter-matrix length on the index and the logarithmic index of the magnetic precipitation of the dispersed magnetite during the flow of aqueous suspension in the ball, rod and threaded filter-matrix with the value of the external magnetic field of 70-80 kA/m are established. The experiments shows that the value of the magnetic precipitation index for a rod filter-matrix with a thread is 35-42% higher than the magnetic precipitation index for a smooth rod filter-matrix and 25-27% higher than magnetic precipitation index for a ball filter-matrix. It is shown the results of researches on the influence of the external magnetic field intensity on the value of magnetic precipitation of the dispersed magnetite during the flow of the aqueous suspension in the ball, rod and threaded filter-matrix. The results of studies have shown that the determinant geometric factor is not so much the diameter of the rods as the configuration of their surface which forming high and strongly non-uniform field-traps. The criterion may be the density of protrusions and hollows per area unit or per volume unit of the rod element of the ferromagnetic filter-matrix.**

***Keywords:* filter-matrix, ferromagnetic nozzle, rod filter-matrix, magnetic deposition.**

---

**Гаращенко А. В., к.т.н., Гаращенко В. И., к.т.н., доцент**  
(Национальный университет водного хозяйства и  
природопользования, г. Ровно)

## **МАГНИТОСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФИЛЬТР-МАТРИЦ ИЗ КОНТАКТИРУЮЩИХ СТЕРЖНЕЙ**

**Приведены результаты исследований по определению магнитосорбционных свойств фильтр-матрицы из контактирующих стержней. Установлены зависимости влияния длины фильтр-матрицы на показатель и логарифмический показатель магнитного осаждения диспергированного магнетита при протекании водной суспензии в шариковой, стержневой и резьбовой фильтр-матрице. Приведены результаты исследований по влиянию напряженности внешнего магнитного поля на величину показателя магнитного осаждения диспергированного магнетита при протекании через гранулы фильтр-матриц различных типов.**

***Ключевые слова:* фильтр-матрица, ферромагнитная загрузка, стержневая фильтр-матрица, магнитное осаждение.**

---