

УДК 628.16.084.4

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ МАГНІТНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

Гарашенко О.В., асистент, Гарашенко В.І., канд. техн. наук, доцент.  
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Наведено і проаналізовано результати експериментальних досліджень з впливу технологічних параметрів (швидкості фільтрування  $V$ , напруженості магнітного поля  $H$ ) процесу магнітного очищення водних середовищ феримагнітною фільтруючою загрузкою на ефективність очищення  $\psi$ .

It is shown and analysed an experimental results on the effect of technological parameters (filtration velocity  $V$ , magnetizing force  $H$ ) of magnetic purification process of water environments by magnetized ferrite filtering nozzle on efficiency of purification  $\psi$ .

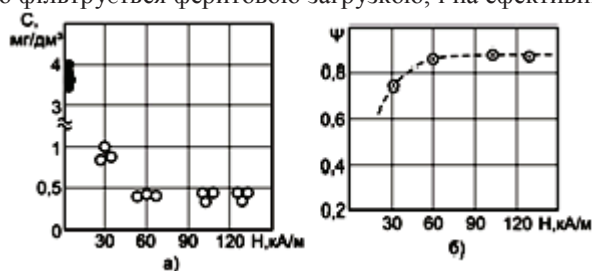
Ключові слова: магнітне очищення, феритова фільтруюча загрузка, магнітний фільтр, ефективність очищення.

В технологічних процесах підприємств харчової та хімічної промисловості широко використовують водні середовища і пар, якими забезпечують відомчі котельні, ТЕЦ або ТЕС. Виробничий конденсат, який повертається від споживачів на ТЕЦ або ТЕС забруднений домішками, концентрація яких перевищує норму в десятки, сотні разів [1]. Основною причиною забруднення домішками таких технологічних вод є неперервна і прогресуюча в часі корозія, зношення в результаті експлуатації технологічного і комунікаційного обладнання.

Дослідженнями встановлено, що основна маса цих домішок складається з залізовмісних сполук, з яких 70-95 % мають магнітні властивості [2]. Тому ефективним методом очищення водних середовищ від феромагнітних залізовмісних домішок є метод магнітного осадження в поліградієнтних феромагнітних фільтруючих загрузках, який реалізується в магнітних фільтрах [1,3]. Запропонований метод є екологічно безпечним, так як при його реалізації не використовуються хімічні реагенти, високошвидкісним (швидкість водного середовища, що фільтрується складає 200-300 м/год, а при фільтрації висококонцентрованої водної суспензії – до 1000м/год.). Метод дозволяє очищати рідкі середовища з температурою до 500 °С і осаджувати домішки розмірами 0,01-10мкм [1,3]. Враховуючи, що магнітні фільтри швидко регенеруються (час регенерації 5-7хв.) вони здатні очищати висококонцентровані водні середовища з концентраціями 100-200мг/дм<sup>3</sup>, що дозволяє зменшити або виключити скидання забруднених водних середовищ у природні водойми

Важливими параметрами процесу магнітного очищення водних середовищ від магнітних домішок, які впливають на ефективність цього процесу, є напруженість магнітного поля та швидкість фільтрування середовища, що очищується.

На рис.1 показано вплив напруженості магнітного поля  $H$  на концентрацію заліза  $C$  у воднодисперсійній суспензії магнетиту, що фільтрується феритовою загрузкою, і на ефективність очищення  $\psi$ .



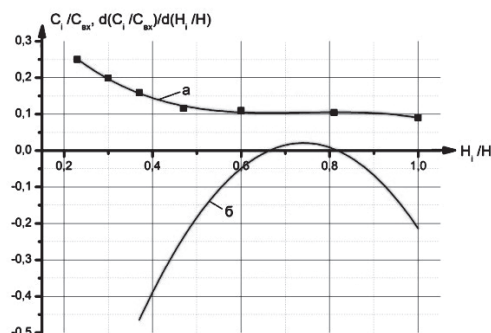
● – концентрація заліза до фільтра;  
○ – концентрація заліза після фільтра.  $V=200$  м/год;  $L=0,6$  м.

Рис. 1 – Залежність концентрації заліза (а) і ефективності очищення (б) від напруженості зовнішнього магнітного поля фільтра, завантаженого феритовою загрузкою

Щільність пакування гранул феритової фільтруючої загрузки складала  $\Pi=0,53$ , швидкість фільтрування  $V=200$  м/год. Напруженість магнітного поля  $H$  змінювали від 30 до 127 кА/м. Інтенсивне зниження концентрації заліза  $C$  відбувається вже при  $H=30$  кА/м, з  $C_0=3,75$  мг/дм<sup>3</sup> до 0,94 мг/дм<sup>3</sup>, що дозволяє

отримати ефективність очищення  $\psi=0,75$ . Збільшення  $H$  до 60 кА/м знижує концентрацію заліза до 0,47 мг/дм<sup>3</sup> і збільшує ефективність очищення  $\psi$  до 0,87. Подальше збільшення напруженості поля практично не призводить до збільшення ефективності очищення  $\psi$ . При  $H=127$  кА/м величина  $\psi$  складає 0,89

Використовуючи результати експериментальних даних, що наведені на рис.1 (а,б), отримуємо залежність відносної і диференціальної величини концентрації заліза при магнітному фільтруванні водної суспензії магнетиту від величини відносної напруженості магнітного поля (рис.2 а,б) [4].



**Рис. 2 – Залежність відносної (а) і диференціальної (б) величини концентрації заліза, при магнітному фільтруванні феритовою загрузкою водної суспензії магнетиту, від величини відносної напруженості магнітного поля:  $V=200$  м/год;  $H=60$  кА/м;  $L=0,6$  м.**

Графічні залежності, зображені на рис.2 (а,б), після математичної обробки апроксимуються рівняннями (1), (2). Коефіцієнт кореляції складає 0,985, що свідчить про високу адекватність рівняння і графічної залежності (рис.2).

$$C_i/C_{\text{вх}} = -1,173 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right)^3 + 2,61 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right)^2 - 1,915 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right) + 0,568, \quad (1)$$

$$\frac{d(C_i/C_{\text{вх}})}{d(H_i/H)} = -3,519 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right)^2 + 5,22 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right) - 1,915, \quad (2)$$

$$\max \frac{d(C_i/C_{\text{вх}})}{d(H_i/H)} = 0,02, \quad (3)$$

$$H_i/H = 0,739, \quad (4)$$

$$C_i/C_{\text{вх}} = 0,104, \quad (5)$$

З графічної залежності (рис.2) видно, що інтенсивне осадження домішок заліза в шарах намагніченої феритової загрузки відбувається при зміні  $H_i/H$  від 0,225 до 0,46. В подальшому, при збільшенні величини  $H_i/H$  інтенсивність осадження зменшується. Так, при збільшенні величини  $H_i/H$  від 0,46 до 1, величина  $C_i/C_{\text{вх}}$  змінюється від 0,12 до 0,09.

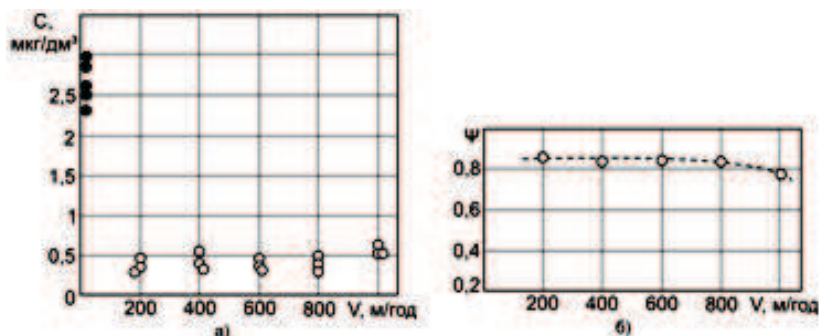
Аналіз залежностей (рис.2 а,б) дозволяє зробити висновок, що зона в об'ємі намагніченої феритової загрузки, на яку приходиться максимум величини  $\frac{d(C_i/C_{\text{вх}})}{d(H_i/H)}$ , відповідає значенню 0,02. При цьому від-

носне значення  $H_i/H=0,739$  і, відповідно,  $C_i/C_{\text{вх}}=0,104$ . Враховуючи, що  $H_{\text{max}}=127$  кА/м, отримуємо  $H_i=93,8$  кА/м, а ефективність осадження при вищенаведених параметрах складає  $\psi=0,88$ .

Активним параметром, який впливає на процес магнітного осадження домішок водних середовищ в намагніченій феритовій загрузці, є швидкість протікання водного середовища в шпаринах загрузки. При переході від ламінарного до турбулентного режиму руху водного потоку, який починається при швидкості в шпаринах гранул  $\sim 0,2$  м/с, що відповідає швидкості фільтрування  $\sim 290$  м/год (0,08 м/с), ефективність магнітного осадження зменшується. Особливо це стосується малокоцентрованих водних середовищ, що містять високодисперсні магнітні домішки. При такому режимі на високодисперсні частинки проявляється більша дія гідродинамічної сили (Стоксової). Це видно з співвідношення сил, що діють на магнітні домішкові частинки.

На рис.3(а,б) наведені експериментальні дані з дослідження впливу швидкості фільтрування  $V$  на концентрацію заліза  $C$  у висококоцентрованій воднодисперсній суспензії магнетиту і ефективність її очищення  $\psi$ . Напруженість магнітного поля складала 60 кА/м, довжина феритової загрузки – 0,6 м, щільність пакування гранул загрузки  $\Psi=0,53$ . Швидкість фільтрування змінювали від 50 до 1000 м/год. З

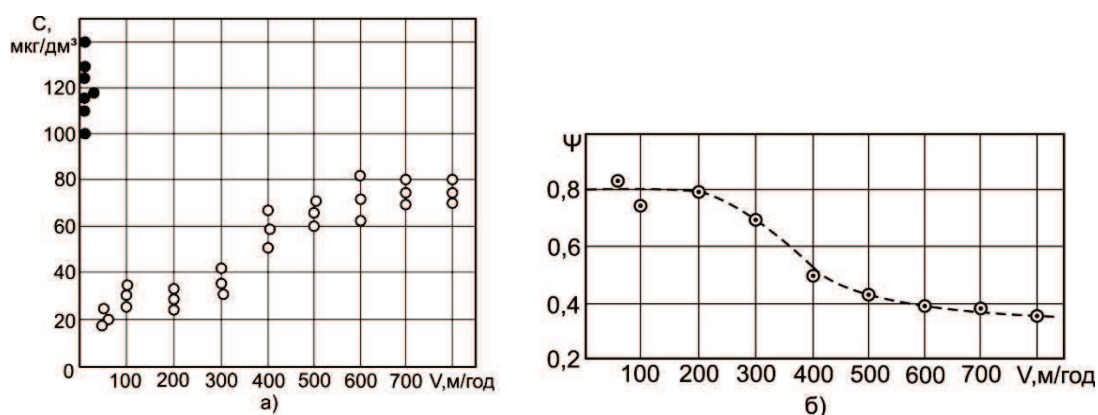
(рис.3, б) видно, що ефективність очищення  $\psi$  у діапазоні зміни  $V$  від 50 до 900 м/год практично не змінюється і складає  $\psi=0,82-0,84$  [4].



● – концентрація заліза до фільтра; ○ – концентрація заліза після фільтра.  $L=0,6$  м;  $H=60$  кА/м.

**Рис. 3 – Залежність концентрації заліза (а) і ефективності очищення (б) від швидкості фільтрування водної суспензії магнетиту феритовою загрузкою**

На рис.4 наведені результати магнітного очищення низькоконцентрованого конденсату Добротвірської ТЕС. Показано вплив швидкості фільтрування на концентрацію заліза та ефективність очищення. Середня концентрація заліза в конденсаті на початку магнітного очищення складала  $120$  мкг/дм<sup>3</sup>



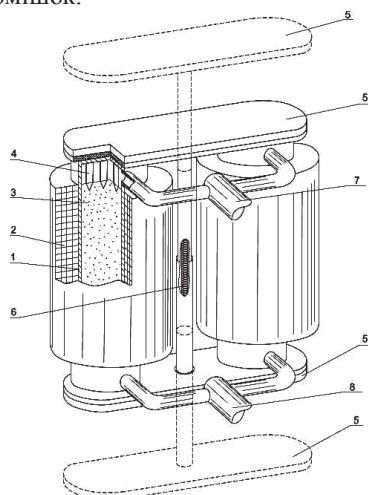
● – концентрація заліза до фільтра; ○ – концентрація заліза після фільтра;  $L=0,9$  м;  $H=100$  кА/м.

**Рис. 4 – Залежність концентрації заліза (а) та ефективності очищення (б) від швидкості фільтрування конденсату ТЕС**

На відміну від даних магнітного очищення багатоконцентрованої водної суспензії, наведених на рис.3, при магнітному очищенні низькоконцентрованого конденсату ТЕС збільшення швидкості  $V > 250$  м/год призводить до зменшення ефективності очищення. Аналіз графічних залежностей (рис.4) засвідчує, що при зміні швидкості  $V$  від 0 до 200 м/год, ефективність очищення  $\psi$  практично не змінюється, при  $V=300$  м/год, величина  $\psi$  зменшується на 12 % в порівнянні з  $V=200$  м/год, при  $V=400$  м/год величина  $\psi$  зменшується на 37 %. В подальшому зменшення величини  $\psi$  при збільшенні  $V$  відбувається не так інтенсивно. Так, при  $V=500$  м/год, величина  $\psi$  зменшується на 16 % в порівнянні з  $\psi$  при  $V=400$  м/год.

Порівнюючи експериментальні дані (рис.3 а,б) і дані (рис.4 а,б), робимо висновок, що при магнітному очищенні багатоконцентрованих водних середовищ, в яких розміри магнітних домішок складають  $d > 50$  мкм, при турбулентному режимі проходження водного потоку через шпарини гранул загрузки сила магнітного осадження більша за гідродинамічну силу. У випадку магнітного очищення низькоконцентрованих водних середовищ (рис.4,а,б), в яких розміри магнітних домішок, як встановлено дослідженнями, складають 0,01-10 мкм [5], при переході від ламінарного до турбулентного режиму сила гідродинамічного опору переважає магнітну силу осадження і ефективність очищення  $\psi$  зменшується (рис.4, б).

Запропоновано магнітний фільтр з спареними рухомими шунтами соленоїдами (рис.5) для очищення рідких середовищ від залізовмісних домішок.



1 – корпус фільтра; 2 – магнітна система (соленоїд); 3 – фільтруюча загрузка; 4 – магнітопровідні стрижні; 5 – магнітопровідні шунти; 6 – механізм (пружний, гідравлічний, електромагнітний) переміщення шунтів; 7,8 – патрубки подачі і відведення водного середовища, що очищується.

**Рис. 5 – Магнітний фільтр з спареними рухомими шунтами соленоїдами**

Магнітопровідні шунти створюють замкнений магнітний контур фільтра, зменшуючи втрати магнітного потоку і величину розмагнічуючого фактора. В період регенерації фільтра магнітні шунти приводом (механічним або гідравлічним) відводять від корпусів. Таке технічне рішення дозволяє розірвати магнітний контур і зменшити залишкову намагніченість феромагнітної фільтруючої загрузки майже в 2 рази. Впроваджений магнітний фільтр для очищення конденсату показав високу ефективність (85%).

**Висновки.** Досліджено та обґрунтовано вплив напруженості магнітного поля та швидкості фільтрування на величину ефективності процесу магнітного очищення як висококонцентрованих, так і низькоконцентрованих водних середовищ. Виявлено, що при очищенні водної суспензії магнетиту при зміні  $H=(30-127)кА/м$ ,  $V=200м/год$ ,  $L=0,6м$ ,  $\psi=0,75-0,89$ ; при зміні  $V=(200-800)м/год$ ,  $H=60кА/м$ ,  $L=0,6м$ ,  $\psi=0,84-0,82$ ; при збільшенні  $V$  до  $1000м/год$  величина  $\psi$  зменшується до  $0,78$ . При очищенні низькоконцентрованого конденсату раціональним значенням швидкості фільтрування є величина  $200-250м/год$ . Подальше збільшення швидкості призводить до різкого зменшення ефективності очищення конденсату. Наведені результати дозволяють встановлювати діапазони зміни  $V$ ,  $H$ , при яких ефективність очищення буде відповідати необхідним вимогам. Запропонований новий магнітний фільтр з спареними рухомими шунтами соленоїдами.

#### Література

1. Гаращенко В.І. Екологічно безпечний метод очистки текучих середовищ в намагнічених поліградієнтних насадках /Гаращенко В.І.//Проблеми фундаментальної і прикладної екології, екологічної геології і раціонального природокористування: IV Міжнародна науково-практична конференція., 19-21.03.2009р.: тези. доп. – Кривий Ріг 2009р. – с.125-127.
2. Апользин П.А. Предупреждение коррозии металла подпиточного и сетевого трактов теплосети/ Апользин П.А, Богачев А.Ф.// Труды ВТИ., 1975, вип.№5, М. «Энергия» с.63-70.
3. Гаращенко В.І. Магніто-сорбційні властивості гранульованих фільтруючих насадок / Гаращенко В.І., Скрипник І.Г., Лук'янчук О.П., Гаращенко О.В. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування – 2008.-№3-с.184-191.
4. Гаращенко В.И. Исследование активных параметров процесса магнитной очистки водных сред теплоэнергетики. /Гаращенко В.И., Астрелин И.М., Гаращенко А.В.// Журнал „Вода и Экология: проблемы и решения”, №4, 2014р. с.10-25.
5. Гаращенко В.І. Дисперсно-фазовий склад забруднюючих домішок при магнітному очищенні водних систем теплових електростанцій. / Гаращенко В.І., Скрипник І.Г., Гаращенко О.В.// Журнал Екологія и промышленность. м.Харків, №1, 2014.