



УДК 621.187.121

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

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ФІЛЬТР ЗІ ЗМІННИМ ГІДРАВЛІЧНИМ ОПОРОМ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ

Приведені результати досліджень характеру розподілу індукції магнітного поля в фільтрах соленоїдного типу. Запропонована нова конструкція магнітного фільтра з спеціальними каналами, в яких створюється різний гідравлічний опір рідкому середовищу, що очищується. Наведені розрахунки втрат напору в пристінній та приосьовій зонах магнітного фільтра та розраховано співвідношення для визначення параметрів фільтруючої загрузки.

Ключові слова: магнітне очищення, феромагнітна фільтруюча загрузка, геометричний симплекс, індукція магнітного поля.

Для підвищення якості водних середовищ, що використовуються як теплоносії котельних установок ТЕС, ТЕЦ, АЕС на підприємствах встановлюють комплексні системи водопідготовки, які очищують технологічні води від різних домішок, пом'якшують їх, видаляють з них кисень. Для очищення водних середовищ від грубодисперсних забруднюючих домішок використовують механічні фільтри та відстійники. Але для очищення водних середовищ, в яких містяться дрібнодисперсні домішки ці методи очищення є малоефективними.

Численними дослідженнями встановлено, що 70-95%, а в окремих випадках до 98-100% залізовмісних забруднюючих домішок у вказаних галузях промисловості мають феромагнітні властивості [1-6]. Тому для їх ефективного видалення запропоновано використовувати високошвидкісний і екологічно безпечний метод магнітного очищення в поліградієнтній пористій фільтруючій загрузці. Суттєвими перевагами даного методу є можливість очищати рідкі середовища з температурою до 500° С і швидкістю фільтрування порядку 1000 м/год, в той час як в механічних фільтрах швидкість коливається в межах 5-50 м/год. Також метод магнітного очищення дозволяє затримувати домішкові частинки розміром 0,01-0,1 мкм. А в тих технологічних процесах, де температура рідкого середовища сягає ~100° С і вище, і середовища є хімічно агресивними, метод магнітно-

го очищення майже єдиний, який може забезпечити ефективне очищення середовищ від феромагнітних домішок [1-6].

Конструкції магнітних фільтрів за фізичною природою джерела магнітного поля умовно можна поділити на три типи: перший – соленоїдний (багат шарова електрична котушка), другий – з електромагнітами, які містять феромагнітні осердя, третій – з постійними магнітами.

Перший тип – соленоїдні фільтри, для яких характерною є наявність багат шарових електричних котушок, розміщених на поверхні, як правило, циліндричних корпусів, в об'ємі яких розміщують феромагнітні фільтруючі загрузки [2; 7]. Перевагою таких фільтрів є можливість змінювати величину напруженості магнітного поля, використовувати соленоїди зі збільшуючою магнітною силою по ходу руху рідини, що фільтрується, можливість створювати флокуляційні камери, технічна простота виконання регенерації загрузки. Недоліком відомих соленоїдних фільтрів є розімкненість магнітного контуру. Це призводить до втрат магнітного потоку, зменшення силового впливу на феродомішки і, відповідно, зменшення ефективності процесу очищення [2; 7].

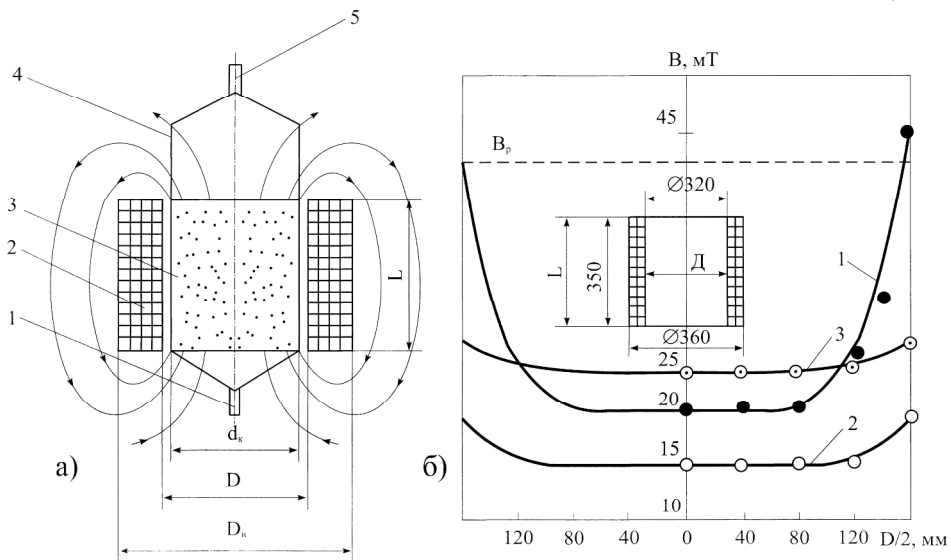


Рис. 1. Характер розподілу магнітного поля фільтра соленоїдного типу:
а) вхідний 1 і вихідний 5 патрубки; 2 – соленоїд; 3 – фільтруюча загрузка;
4 – корпус; б) розподіл поля в радіальному напрямку об'єму соленоїда:
1 – в торцевій площині з кульковою загрузкою (B_p – розрахункова індукція
в довгому соленоїді з еквівалентною кількістю витків на одиницю довжи-
ни); 2 – в торцевій площині без загрузки; 3 – посередині соленоїда



У відомих магнітних фільтрах соленоїдного типу (рис. 1, а), наприклад, німецької фірми «Крафтверк – Уніон», висота соленоїдів складає $L=1,0-1,2$ м, а діаметр $D=0,35-1,15$ м, тобто величина геометричного симплексу $L/D=1,0-2,85$ [7]. При збільшенні продуктивності магнітного фільтра за фіксованої висоти соленоїда збільшується величина діаметра, відповідно, величина L/D зменшується до $1,0-1,5$. Це призводить до збільшення втрат магнітного потоку. В робочій зоні, де відбувається процес осадження феромагнітних домішок, величина магнітного поля зменшується, а поза соленоїдом напруженість магнітного поля H збільшується. Паспортні дані промислових магнітних фільтрів вищенаведеної фірми свідчать про те, що вони складені без врахування втрат магнітного поля і розраховані як для довгого соленоїда [2; 7]. Але окремими дослідженнями встановлено, що реальні значення величини H таких фільтрів у три рази нижчі від тих, що задекларовані в технічних паспортах [2; 3; 7].

На рис. 1, а показано характер розподілу магнітного поля соленоїдного фільтра. Значна частина магнітного потоку соленоїда втрачається в навколишнє середовище. На рис. 1, б представлені результати вимірювання індукції магнітного поля в соленоїді з геометричним симплексом $L/D=1,1$ [2]. Без кулькової феромагнітної загрузки дійсні значення B в соленоїді значно нижчі значення B_p розрахованого для нескінченно довгого соленоїда. Видно (рис. 1, б), що в діаметральному перерізі посередині соленоїда величина B в $1,6-1,9$ рази, а в торцевій площині в $2,4-3$ рази менше B_p (крива 3). При заповненні соленоїда кульковою феромагнітною загрузкою, різниця в значеннях B проявляється ще в більшій мірі (крива 1). В приосьовій частині загрузки, в порівнянні з пристінною, величина індукції більш ніж в 2 рази менша.

Частина перерізу соленоїда, в якому феромагнітна загрузка намагнічується недостатньо, складає $40-50\%$ (рис. 1, б). Дослідженнями встановлено, що критерієм, який характеризує частку втрат магнітного потоку соленоїда, є величина геометричного симплексу L/D (L – висота, D – діаметр соленоїда) [8].

В соленоїдних фільтрах необхідної ефективності процесу очищення можна досягти за рахунок створення умов однакової ефективності процесу очищення за об'ємом фільтруючої загрузки. Це досягається в новій конструкції магнітного фільтра [9], що наведена на рис. 2. Корпус 1 магнітного фільтра заповнений пористою загрузкою 2, на зовнішній поверхні корпуса розміщена намагнічуюча система 3, а у вхідній частині корпуса, в місці подачі середовища, що очищується

ся, розміщені направляючі площини 6, які утворюють додаткові канали, заповнені фільтруючою загрузкою 2 з різним гідравлічним опором, а в корпусі фільтра розміщені наскрізні непроникні оболонки 9 орієнтовані за напрямком руху середовища, що очищується.

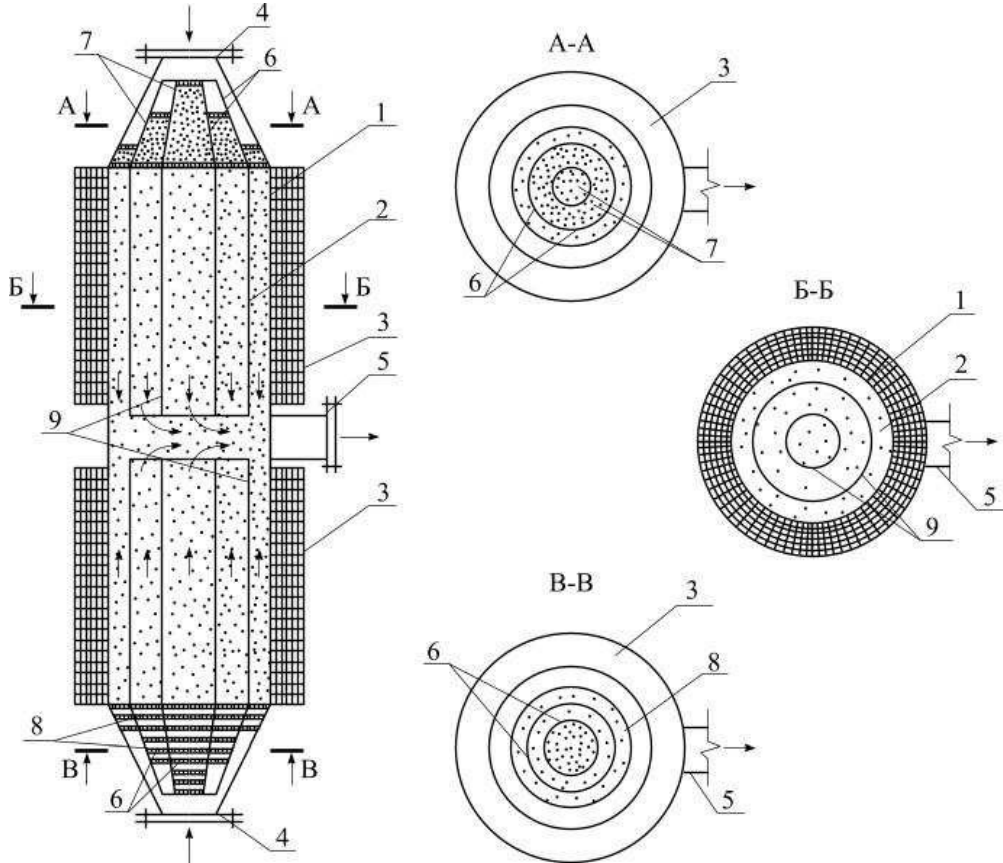


Рис. 2. Схема магнітного фільтра зі змінним гідравлічним опором та відповідні перерізи

При включеній намагнічуючій системі 3, по патрубкам 4 очищуване рідке (водне) середовище поступає в корпус фільтра 1. При проходженні каналів, утворених площинами 6, внаслідок різного гідравлічного опору загрузки 7 (у вигляді феромагнітних кулькоподібних гранул), або в іншому випадку загрузки 8 (у вигляді пластин) основний потік очищуваного рідкого середовища розділяється на декілька потоків з різними швидкостями, значення яких вище в тих зонах, де напруженість (індукція) магнітного поля більша. В подальшому потоки середовища, що ізольовані один від одного наскрізними непроникними оболонками 9 рухаються через намагнічену загрузку 2, в якій в точках контакту гранул осаджуються залізовмісні доміш-



ки. Очищене середовище виводиться патрубками 5.

Після насичення загрузки домішками припиняють подачу очищеного середовища, відключають намагнічуючу систему 3 та промивають загрузку водоповітряною сумішшю. Після закінчення регенерації загрузки переключають фільтр в режим процесу очистки. Раніше встановлено, що індукція В магнітного поля в загрузці, а значить і напруженість поля Н, зменшуються в радіальному напрямку корпуса фільтра: від пристінної області до центральної – приблизно в 2 рази, тобто $H_n/H_o \approx 2$, де H_n , H_o – напруженість поля відповідно в пристінній та осьовій області корпуса. Виходячи з постійності величини $\bar{H}^{0,75}/V_\phi$ (V_ϕ – швидкість фільтрування) для створення однакових умов процесу очистки по об'єму загрузки, визначаємо, що зменшення напруженості поля в 2 рази відповідає зменшенню швидкості фільтрування в 1,7 рази, тобто $V_{\phi n1} = (1 \div 1,7)V_{\phi o1}$, де $V_{\phi n1}$, $V_{\phi o1}$ відповідно швидкості фільтрування в пристінній та приосьовій областях загрузки. З врахуванням різних швидкостей в пристінній та приосьовій областях корпуса фільтра співвідношення втрат напору для цих областей має вигляд

$$\frac{\Delta P_{n1}}{\Delta P_{o1}} = \frac{1,75 \frac{\rho_{ж} \cdot V^{0,25} \cdot L}{\omega^{4,2} \cdot d^{1,25}} \cdot [(1 \div 1,7) \cdot V_{\phi n1}]^{1,75}}{1,75 \frac{\rho_{ж} \cdot V^{0,25} \cdot L}{\omega^{4,2} \cdot d^{1,25}} \cdot V_{\phi n}^{1,75}} = (1 \div 1,7)^{1,75},$$

де ΔP_{n1} – втрати напору в пристінній області загрузки, ΔP_{o1} – втрати напору в осьовій області загрузки, $\rho_{ж}$ – щільність рідини, що очищується, V – кінематична в'язкість, L – довжина загрузки, ω – пористість загрузки, d – характерний розмір гранул загрузки.

Для однакової ефективності роботи загрузки в пристінній і приосьовій областях корпуса, відділених один від одного непроникними оболонками, тиск очищеного середовища на виході з шарів загрузки, розміщених між оболонками і корпусом, повинен бути однаковим. З врахуванням однакового тиску і однакової швидкості подачі очищеного рідкого середовища в додатковий канал з загрузкою отримаємо, що для створення необхідних швидкісних потоків в шарах загрузки необхідно в додаткових каналах створити співвідношення втрат напору, рівне $\frac{\Delta P_n}{\Delta P_o} = \frac{1}{(1 \div 1,7)^{1,75}} = \frac{1}{(1 \div 2,53)}$.

Використовуючи наведену вище формулу для визначення втрат напору, запишемо співвідношення для визначення параметрів загрузки

$$\frac{\Delta P_o}{\Delta P_n} = \frac{L_o V_{\phi}^{1,75}}{\omega_o^{4,2} \cdot d_o^{1,25}} \Big/ \frac{L_n V_{\phi}^{1,75}}{\omega_n^{4,2} \cdot d_n^{1,25}} = \left(\frac{L_o}{L_n} \right) \left(\frac{\omega_n}{\omega_o} \right)^{4,2} \left(\frac{d_n}{d_o} \right)^{1,25} = 1 \div 2,53,$$

де L_o, L_n – довжина загрузки в осьовій і пристінній областях, ω_n, ω_o – пористість загрузки в пристінній і осьовій областях відповідно, d_n, d_o – характерний розмір гранул загрузки в пристінній і осьовій областях відповідно.

Граничні величини зміни параметрів загрузки (1-2,53) вибрані з умови зміни напруженості магнітного поля в радіальному напрямку корпуса фільтра при різному співвідношенні довжини соленоїда до його діаметра. Так для довгого соленоїда $L/D > 4$ (L – довжина соленоїда, D – діаметр соленоїда) напруженість магнітного поля в радіальному напрямку корпуса фільтра практично стала, а значить співвідношення швидкостей в шарах загрузки рівне 1. Для короткого соленоїда $L/D = 1$ величина напруженості поля змінюється в 2 рази, що відповідає співвідношенню параметрів загрузки, рівному 2,53. Величину співвідношення в кожному конкретному випадку вибирають виходячи із зменшення напруженості поля в основній області корпуса в порівнянні з пристінною областю. Так, наприклад, при зміні напруженості поля в 1,5 рази швидкість фільтрування необхідно зменшити в осьовій області в 1,36 рази, а параметри загрузки, відповідно, вибрати з наведеного вище співвідношення рівного 1,71. Суттєвий вплив на швидкість фільтрування має пористість загрузки. Так в даному випадку при однаковій довжині загрузки L і з врахуванням пористості загрузки в пристінній і осьовій областях $d_n = 0,6$ мм, $d_o = 0,56$ мм, отримаємо, що величина пористості $\omega_n = 0,50$, $\omega_o = 0,45$. Шляхом вибору оптимального швидкісного режиму в пристінній і осьовій областях загрузки досягається вирівнювання умов процесу очистки, збільшення ємності поглинання загрузки та ефективності очистки цілому.

1. Гаращенко В. І. Магніто-фільтраційні властивості композиційної гранульованої загрузки магнітних фільтрів / Гаращенко В. І., Астрелін І. М., Гаращенко О. В. // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2011. № 2. – С. 11–17. **2.** Сандуляк А. В. Електромагнитные фильтр-осадители / Сандуляк А. В., Гаращенко В. И. – Львов : Вища школа, 1982. – 70 с. **3.** 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, 19-21.03.2009 р.: тези. доп. – Кривий Ріг, 2009. – С. 125–127. **4.** 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. 5. Гаращенко В. І. Дослідження впливу технологічних параметрів процесу магнітного очищення конденсату ТЕЦ на коефіцієнт осадження / Гаращенко В. І., Гаращенко О. В. // Екологія и промисленность. – 2011. – № 4. – С. 72–77. 6. Гаращенко В. И. Очистка оборотных вод металлургических производств от ферропримесей магнитными фильтрами / Гаращенко В. И., Гаращенко А. В. // Теплотехника и энергетика в металлургии : XVI международная конференция, 4–6.10.2011 г. : тезисы. док. – Днепропетровск, 2011 г. – С. 112–113. 7. Работа электромагнитного фильтра в схеме энергоблока сверхкритического давления / Зубов Н. В., Кузьмичева Л. В., Богачко Ю. М. и др. // Теплоэнергетика. – 1976. – № 12. – С. 66–68. 8. Сандуляк А. В. Критерий экономичности соленоидных фильтров для очистки воды от железосодержащих примесей / Сандуляк А. В., Кочмарский В. З., Гаращенко В. И. // Химия и технология воды, 1981. т. 3, № 6. 9. А.С. 1507421 А1 (СССР), МКИ В01Д35/06. Магнитный фильтр / И. В. Волков, В. И. Гаращенко (СССР). – № 4270161/31-26; заявл. 12.05.87; опубл. 15.09.89, Бюл. № 34. – 8 с.

Рецензент: проф., д.т.н. Древецький В. В. (НУВГП)

Harashchenko O. V., Candidate of Engineering, Associate Professor,
Harashchenko V. I., Candidate of Engineering, Associate Professor,
Ivanov A. O., Senior Student (National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne)

ELECTROMAGNETIC FILTER WITH VARIABLE HYDRAULIC RESISTANCE FOR LIQUID ENVIRONMENTS PURIFICATION

The results of investigations of magnetic field distribution in solenoid magnetic filters was shown. Based on researches it was established that the magnetic field induction in the volume of solenoid distributed in such way that the magnetic induction in the near-wall zone in 2-2,5 times more than the induction in the axial zone. The loss of the magnetic field in the «short» solenoids can reach 50% or more. It was set the rational value of geometric simplex L/D at which the magnetization of ferromagnetic nozzle is uniform and the number of areas with low value of magnetic field decreases. A new design of magnetic filter with special channels in which creates a different hydraulic resistance to the liquid medium was proposed. It was shown

the calculations of pressure loss in the near-wall and axial zones of magnetic filters and the ratio for determine the parameters of filtering nozzles was calculated. By choosing the optimal speed mode in the near-wall and axial zones, achieves the alignment of purification process conditions, increases absorption capacity of nozzles and effectiveness of purification in general.

***Keywords:* magnetic purification, ferromagnetic filtering nozzle, geometric simplex, magnetic field induction.**

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

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФИЛЬТР СО СМЕННЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ СРЕД

Приведены результаты исследований характера распределения индукции магнитного поля в фильтрах соленоидного типа. Предложена новая конструкция магнитного фильтра со специальными каналами, в которых создается разное гидравлическое сопротивление жидкой среде, которая очищается. Приведены расчеты потерь напора в пристенной и осевой зонах магнитного фильтра и рассчитано соотношение для определения параметров фильтрующей загрузки.

***Ключевые слова:* магнитная очистка, ферромагнитная фильтрующая загрузка, геометрический симплекс, индукция магнитного поля.**
