УДК 621.187.121

В.І. ГАРАЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент, **О.В. ГАРАЩЕНКО,** аспірант
Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), м. Рівне
І.М. АСТРЕЛІН, докт. техн. наук, завідувач кафедри
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»), м. Київ

РОЗРАХУНОК МАГНІТНИХ ФІЛЬТРІВ СОЛЕНОЇДНОГО ТИПУ В ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ ВІД ФЕРОМАГНІТНИХ ДОМІШОК

Наведено методику розрахунку основних параметрів магнітного поля соленоїдних магнітних фільтрів. Встановлено критерій економічності соленоїдних фільтрів. Показано і обґрунтовано нові схеми магнітних фільтрів соленоїдного типу. Наведено результати промислових випробувань магнітного фільтра з очищення конденсату ТЕЦ від залізовмісних домішок.

Ключові слова: фільтри, магнітне очищення, соленоїд, економічний аналіз, напруженість магнітного поля, методика розрахунку.

© В.І. Гаращенко, О.В. Гаращенко, І.М. Астрелін

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], внаслідок чого для їх ефективного видалення запропоновано використовувати високошвидкісний і екологічно безпечний метод магнітного осадження у поліградієнтній пористій фільтруючій загрузці. Суттєвими перевагами даного методу є можливість очищувати рідкі середовища за температури до 500 °С і швидкістю фільтрування порядку 1000 м/год, у той час як в механічних фільтрах швидкість коливається у межах 5–50 м/год. Також метод магнітного очищення дозволяє затримувати домішкові частинки розмірами 0,01–0,1 мкм.

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

Перший тип – соленоїдні фільтри, для яких характерною є наявність багатошарових 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 у ході руху рідини, що фільтрується, створювати флокуляційні камери, а також технічна простота виконання регенерації загрузки. Недоліком відомих соленоїдних фільтрів є розімкненість магнітного контуру, що призводить до втрат магнітного потоку, зменшення силового впливу на феродомішки і, відповідно, до зменшення ефективності процесу очищення. [2, 7]

У відомих, наприклад, німецької фірми «Крафтверк – Уніон», магнітних фільтрах соленоїдного типу (рис. 1,а) висота соленоїдів складає L=1,0–1,2м, а діаметр D=0,35–1,15м, тобто величина геометричного симплексу L/D=1,0–2,85 [7].

При збільшенні продуктивності магнітного фільтра за фіксованої висоти соленоїда збільшується величина діаметру, відповідно до цього величина L/D зменшується до 1,0–1,5, що 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 Н збільшується. Паспортні дані промислових магнітних фільтрів вищенаведеної фірми свідчать про те, що вони складені без урахування втрат магнітного поля і

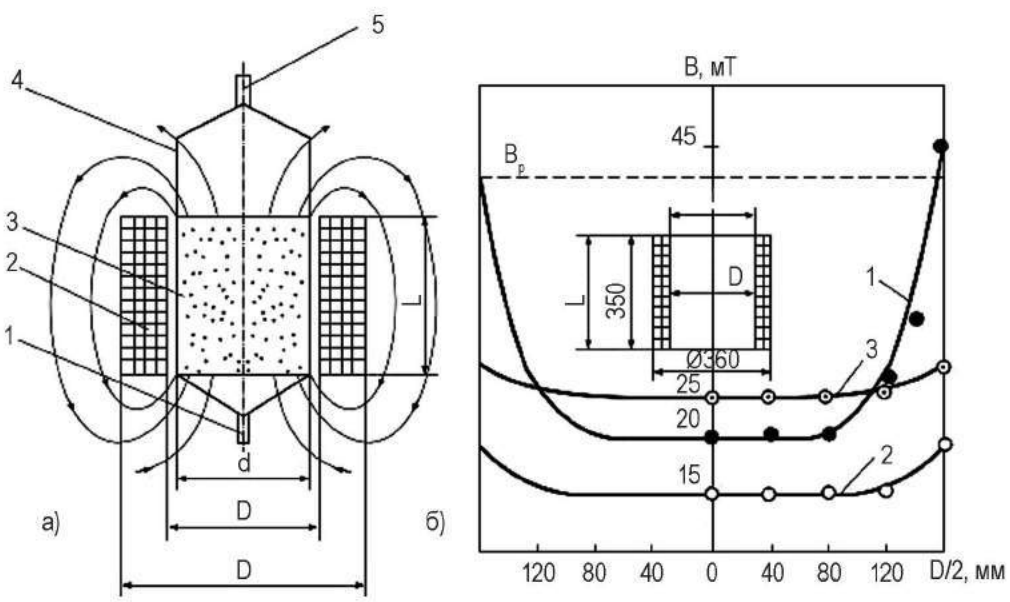

Рисунок 1 – Характер розподілу магнітного поля фільтра соленоїдного типу:

а) вхідний 1 і вихідний 5 патрубки; 2 – соленоїд; 3 – фільтруюча загрузка; 4 – корпус;

б) розподіл поля в радіальному напрямку об'єму соленоїда: 1 – індукція поля (В) у торцевій площині з кульковою загрузкою ($B_р$ – розрахункова індукція у довгому соленоїді з еквівалентною кількістю витків на одиницю довжини); 2 – індукція поля (В) у торцевій площині без загрузки; 3 – індукція поля (В) посередині соленоїда

розраховані як для довгого соленоїда. Але окремими дослідженнями встановлено, що реальні значення величини Н таких фільтрів у три рази нижчі за ті, що задекларовані у технічних паспортах [2, 3, 7, 8].

На рис. 1,а показано характер розподілу магнітного поля соленоїдного фільтра. Значна частина магнітного потоку соленоїда втрачається у навколишнє середовище – результати вимірювання індукції магнітного поля (В) у соленоїді з геометричним симплексом L/D=1, 1 надані на рис.1, б [2]. Без кулькової феромагнітної загрузки дійсні значення В у соленоїді значно нижчі за значення B_p, що розраховані для нескінченно довгого соленоїда. З рис. 1, б видно, що в діаметральному перерізі посередині соленоїда величина В у 1,6–1,9 раза (крива 3), а в торцевій площині – у 2–4 рази менша за B_p (крива 2). У разі заповнення соленоїда кульковою феромагнітною загрузкою різниця у значеннях В виявляється ще більшою мірою (крива 1). В приосьовій частині загрузки, у порівнянні з пристінною, величина індукції більш ніж у 2 рази менша.

Частина перерізу соленоїда, в якому феромагнітна загрузка намагнічується недостатньо, складає 40–50% (рис. 1,б). Дослідженнями встановлено, що критерієм, який характеризує долю втрати магнітного потоку соленоїда, є величина геометричного симплексу L/D (L – висота, D – діаметр соленоїда).

Величина втрат напруженості (або індукції) магнітного поля у навколишнє природне середовище, тобто поза межами феромагнітної загрузки, характеризує економічність магнітного фільтра. Величина втрат напруженості поля ΔН – це різниця між розрахунковим і фактично виміряним значенням напруженості поля. У випадку збільшення втрат ΔН для досягнення необхідного коефіцієнта очищення необхідно збільшувати масу та потужність магнітної системи (соленоїда), що призводить до зростання витрат на магнітну систему, збільшення споживання електричної енергії, відповідно, зростання витрат на очищення одиниці (наприклад, 1т) водного середовища – внаслідок цього зменшується економічність магнітного фільтра.

Вимірювання величини індукції поля в осьовому напрямку соленоїдів (при різних значеннях L і фіксованому D) показали, що при умовно допустимому значенні $B/B_p \geq 0,8$, що відповідає втратам ΔФ магнітного потоку не більше 20 %, величина $L/D \geq 2,5$ (рис. 1б) [2, 7, 8]. У разі заповнення соленоїда феромагнітною фільтруючою загрузкою значення L/D при ΔФ=20 % буде іншим внаслідок дії розмагнічуючого фактора загрузки. Вимірювання індукції поля в осьовому напрямку соленоїдів з феромагнітною загрузкою засвідчили, що при ΔФ=20 % практично раціональним значенням L/D можна вважати $L/D \geq 4$ (рис. 1б) [2, 3, 7]. Невраховування критерію L/D призводить до збільшення втрат магнітного потоку, зменшення індукції магнітного поля в об'ємі загрузки, відповідно, до зменшення силової дії на феромагнітні домішки, що осаджуються, і зменшення економічності магнітного фільтра.

На рис. 2 наведено фактичні дані [7] щодо залежності маси і питомої маси мідного обмотувального дроту в соленоїдних фільтрах різної продуктивності за швидкості фільтрування 1000 м/год і відповідні дані за оптимальної швидкості 200–300 м/год.

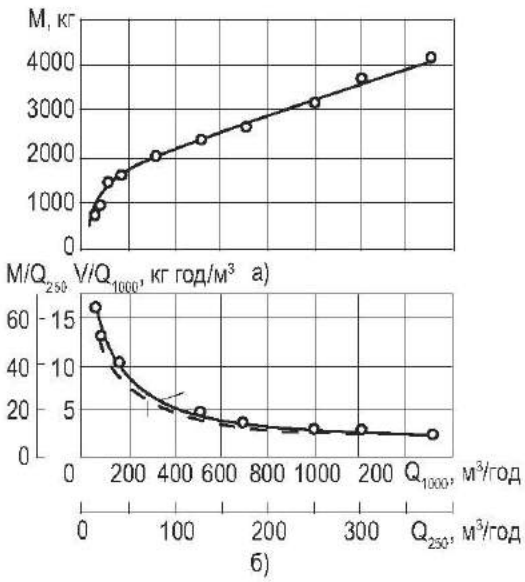

Рисунок 2 – Розрахунок маси (а) і питомої маси (б) мідного обмотувального дроту магнітних фільтрів соленоїдного типу різної продуктивності

Зі збільшенням продуктивності Q маса мідного дроту M також збільшується, а питома маса дроту M/Q зменшується (рис. 2б, крива 1) [7]. Використовуючи геометрію соленоїда і параметри мідного дроту, через розрахунки отримаємо [8]

$$\frac{M}{Q} = \frac{L \cdot \pi \cdot \rho_м \cdot k_0 (1.13\sqrt{\frac{Q}{v}} + 0.11)}{10 \cdot Q}, \qquad (1)$$

де L=1 м; π=3,14; $\rho_м$=8900 кг/м^3 – питома маса міді; v – швидкість фільтрування; k_0 – коефіцієнт, що враховує заповнення дротом вікна котушки, k_0=0,8–0,9. Залежність (1), яку наведено на рис. 2б (крива 2) штриховою лінією, з достатньою достовірністю описує відповідні фактичні дані.

На рис. 3 (крива 2) надано залежність долі втрат магнітного поля $\Delta H/H_\infty$ ($\Delta H=H_\infty-H_0$) від безрозмірного параметра D/L. Вочевидь, що при умовно допустимому значенні цих втрат (не більше 10 %) відношення $D/L \leq 0,4$ ($L/D \geq 2,5$).

Уведений параметр D/L у розрахунках більш наглядно показує його вплив на магнітні і економічні характеристики соленоїда. Аналіз залежностей на рис. 2б і 3 засвідчує, що з підвищенням продуктивності Q і від-

носного діаметра соленоїда D/L питомі витрати мідного дроту M/Q зменшуються, обумовлюючи нібито підвищення економічності соленоїдних фільтрів [8]. Але більш об'єктивний аналіз економічності фільтрів такої конструкції може бути виконаний лише з врахуванням долі втрат магнітного поля при різних D/L (рис. 3).

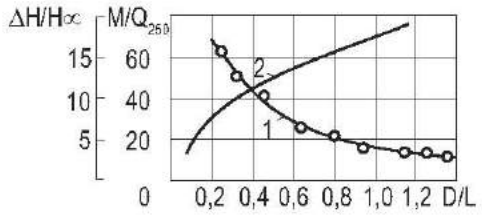

Рисунок 3 – Залежність питомої витрати мідного дроту (1) і долі втрат магнітного поля (2) в серійних соленоїдних фільтрах від відносного діаметра соленоїда

Для оцінки втрат магнітного поля виконаємо певні розрахунки, для чого скористаємось формулою напруженості магнітного поля вздовж осі соленоїда

$$H = \frac{I \cdot n}{2}\left[\frac{x}{\sqrt{0.25D^2 + x^2}} + \frac{L - x}{\sqrt{0.25D^2 + (L-x)^2}}\right], \qquad (2)$$

де I – сила струму; n =ω/L – число витків на одиницю довжини соленоїда; ω – число витків соленоїда; x – відстань від торця соленоїда до точки на осі соленоїда. Для точок, що відповідають x=L/2 і x=0, з формули (2) отримаємо

$$\frac{H_0}{I \cdot n} = \left[(D/L)^2 + 1\right]^{-0.5}; \qquad (3)$$

$$\frac{H_T}{I \cdot n} = \left[(D/L)^2 + 4\right]^{-0.5}. \qquad (4)$$

Параметрами за формулами (3) і (4) є відношення напруженості поля у центрі соленоїда (H_0) і його торця (H_T) до напруженості поля у нескінченно довгому соленоїді H_∞(L>>D)з еквівалентним числом витків на одиницю довжини

$$H_0 = H_\infty = I \cdot n = \frac{I \cdot \omega}{L}; \qquad (5)$$

$$\frac{H_0}{H_\infty} = H_0', \frac{H_T}{H_\infty} = H_T'. \qquad (6)$$

Середнє відносне значення напруженості магнітного поля вздовж осі між торцями соленоїда з врахуванням (2) складе:

$$H_{0T}' = \frac{H_{0T}}{H_\infty} = \frac{1}{L}\int_0^L \frac{H}{I \cdot n}dx = \sqrt{\left(\frac{D}{2L}\right)^2 + 1} - \frac{D}{2L}. \qquad (7)$$

У разі збільшенні D/L параметри H_0', H_T', H_{0T}' зменшуються (рис. 4, штрихові лінії), що свідчить про зменшення середньої напруженості магнітного поля H_L' в об'ємі соленоїда кінцевої довжини.

Розрахуємо середнє відносне значення напруженості магнітного поля в об'ємі соленоїда $\frac{H_0}{I \cdot n}$, використовуючи поняття добротності котушки [8]

$$\xi_W = \frac{W_L}{W_\infty}, \qquad (8)$$

де W – енергія магнітного поля соленоїда (індекси L і ∞ характеризують відповідно соленоїд кінцевої довжини і еквівалентну йому ділянку нескінченно довгого соленоїда W_∞)

$$W_{L\infty} = \frac{1}{2}L_{L\infty} \cdot I^2; \qquad (9)$$

$$W_{L_1\infty} = \mu\mu_0 H_{L\infty}{}^2 \cdot \frac{V}{2}. \qquad (10).$$

Враховуючи (5) і (8), знайдемо

$$\xi_W = \frac{L_L}{L_\infty}; \qquad (11)$$

$$\frac{H_0}{I \cdot n} = \sqrt{\frac{L_L}{L_\infty}}, \qquad (12)$$

де μ – магнітна проникність об'єму соленоїда; $L_{L\infty}$ – індуктивність.

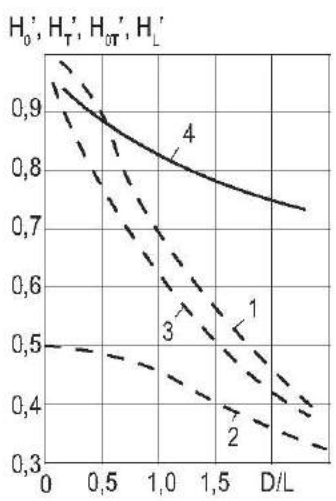

Рисунок 4 – Залежність відносного діаметру соленоїда від відносного значення напруженості магнітного поля: 1 – в центрі соленоїда H_0'; 2 – на осі в торці H_T'; 3 – середнє по осі H_{0T}'; 4 – середнє по об'єму H_L'.

Використовуючи формулу для індуктивності багатошарової котушки, приведемо її до вигляду

$$L_L = \frac{9\mu_0 \cdot \mu \cdot n^2 \cdot L \cdot V_c}{9L + 3D + 10\delta}, \quad (13)$$

де μ_0-магнітна стала, δ – товщина намотки котушки, V_c – об'єм соленоїда, L – довжина соленоїда.

Відомо, що індуктивність еквівалентної ділянки нескінченно довгого соленоїда

$$L_\infty = \mu_0 \mu n^2 V_0 . \quad (14)$$

Підставляючи (13) (14) в (11) (12), отримуємо

$$\xi_W = \left(1 + \frac{D}{3L} + \frac{10\delta}{9L}\right)^{-1}; \quad (15)$$

$$H_L' = \frac{H_L}{H_\infty} = \left(1 + \frac{D}{3L} + \frac{10\delta}{9L}\right)^{-0.5}. \quad (16)$$

На рис. 4 залежність (16) зображена суцільною лінією. Видно, що середнє значення напруженості магнітного поля у соленоїді досягає $H_c = 0{,}9 \cdot I \cdot n$ при $D/L \approx 0{,}3 \div 0{,}4$.

Для розрахунку величини напруженості магнітного поля у багатошаровому соленоїді скористаємось виразом енергії магнітного поля багатошарового соленоїда, а також виразом для індуктивності соленоїда кінцевої довжини. Виконавши розрахунки, отримаємо:

$$\frac{H_L}{H_\infty} = \frac{9L \cdot (\mu_L / \mu_{cp})^{0,5}}{9L + 3D + 10 \cdot \delta_н}, \quad (17)$$

де μ_L і μ_{cp}, H_L і H_∞ – магнітна проникність і напруженість поля об'єму короткого та довгого соленоїдів; $\delta_н$ – товщина намотки соленоїда.

У тому випадку, коли соленоїд не заповнений феромагнітною загрузкою, тобто порожній ($\mu_L = \mu_{cp} = 1$), залежність (17) при значенні $\delta_н/L = 0{,}1$ близька до практичного значення для реальних соленоїдів.

Вимірюваннями встановлено (рис. 5, крива 2), що для соленоїда, заповненого феромагнітною загрузкою, раціональне значення L/D суттєво відрізняється від L/D для порожнього соленоїда (крива 1). Це пояснюється впливом розмагнічуючого фактора феромагнітної загрузки. Розмагнічуючий фактор максимально зменшується для феромагнітної загрузки при L/D≥8-10 (рис.5, крива 2).

Користуючись рекомендованими значеннями параметру D/L, оцінимо співвідношення: продуктивність – довжина, діаметр соленоїда. При продуктивності, наприклад, 200–1000 м³/год, необхідному діаметрі – D=0,5–2,0м, довжина соленоїда складе L=1–6м. Технічно така довжина соленоїда можлива, але довжина феромагнітної фільтруючої загрузки буде завищеною, при цьому збільшується коефіцієнт гідравлічного опору. Для зменшення гідравлічного опору змінимо розподіл водного потоку у фільтрі. Потік середовища, що очищується роздвоюємо, при цьому довжина загрузки встановлюється необхідної величини, зберігаючи раціональне значення параметра D/L. Така конструкція соленоїдного фільтра складається нібито з двох з'єднаних традиційних соленоїдних фільтрів, що дозволяє підвищити його економічність і зберегти необхідне значення D/L [9].

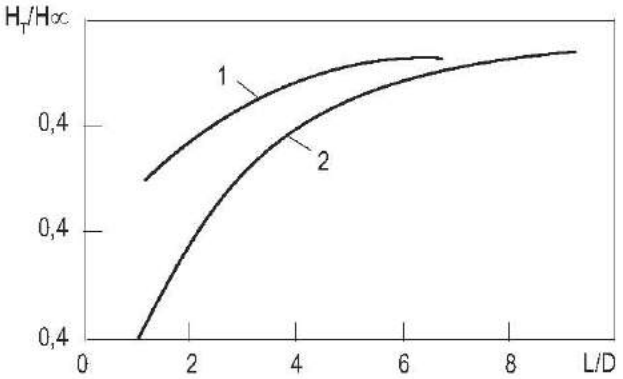

Рисунок 5 – Залежність відносної середньої напруженості поля в об'ємі пустого соленоїда (1) і заповненого феромагнітною загрузкою (2) від геометричного симплексу L/D

У разі очищення великих потоків (конденсати теплових електростанцій, оборотні води металургії), наприклад, 500–2000 м³/год і більше та при подальшому збільшенні діаметра D висота соленоїда стає співмірною з діаметром. У такому випадку обґрунтованим є технічне рішення використовувати у конструкції соленоїдного фільтра дві перфораційні перетинки або перфораційні труби і водний потік пропускати поперек фільтруючої загрузки [10, 11].

Для забезпечення ефективної регенерації загрузки при очищенні водних середовищ, що містять феромагнітні домішки, наприклад, з включеннями масла, запропонований магнітний фільтр, у верхній частині корпуса якого розміщують додатковий соленоїд 5 (рис. 6) з розрихлювачем 6 [12].

При здійсненні процесу регенерації відключають робочий соленоїд 1 та імпульсно включають додатковий соленоїд 5 (рис. 6). Гранульована загрузка 3 при цьому підіймається з нижньої у верхню частину корпуса, розрихлюється і при відключенні соленоїда 5 падає у нижню частину на розрихлювач 7. Пружини 8 зменшують силу удару при переміщенні загрузки з верхньої частини корпуса в нижню. Гранули загрузки при цьому втрачають між собою контакт і, відповідно, конгломерати феромагнітних домішок розрихлюються. Це дозволяє ефективно виконувати процес регенерації фільтруючої загрузки. [12, 15]

Витрати на магнітопроводи-шунти можна зменшити у двоканальному соленоїдному фільтрі, корпуси якого спа-

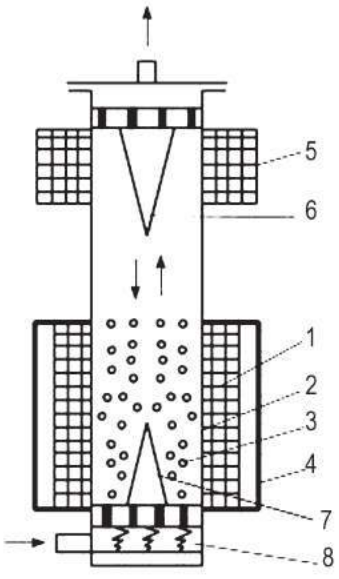

Рисунок 6 – Магнітний фільтр-осаджувач з магнітопроводом-шунтом, розрихлювачем і додатковою котушкою для переміщення загрузки у верхню частину корпуса:
1 – соленоїд; 2 – корпус; 3 – загрузка; 4 – магнітопровод-шунт; 5 – додаткова котушка; 6, 7 – верхній і нижній розрихлювачі; 8 – пружини.

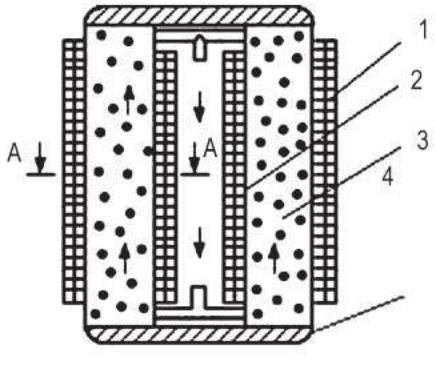

Рисунок 7 – Магнітний фільтр з двосекційними соленоїдами, що спарені магнітопроводами-шунтами:
1 – соленоїд; 2 – корпус; 3 – загрузка; 4 – магнітопровод-шунт.

рені короткими шунтами (рис. 7) [13, 14] – шунти виготовляють накладними, торцевими або тангенціальними.

Дослідження розподілу індукції поля у соленоїді, що заповнений сталевими кульками ШХ-15, показали (рис. 8, крива 1), що у пристінній області соленоїда індукція магнітного поля у 2–2,2 рази більша, ніж в осьовій частині. За наявності на двох соленоїдах (рис.7) магнітопроводів-шунтів, неоднорідність розподілу середньої індукції поля різко зменшується і складає 5–8 % (рис. 8, крива 2), при цьому абсолютне значення середньої індукції поля в загрузці збільшується в 3,5–8 разів.

Рекомендований спарений магнітопроводами-шунтами фільтр соленоїдного типу неперервної дії (рис. 9а, б) [15].

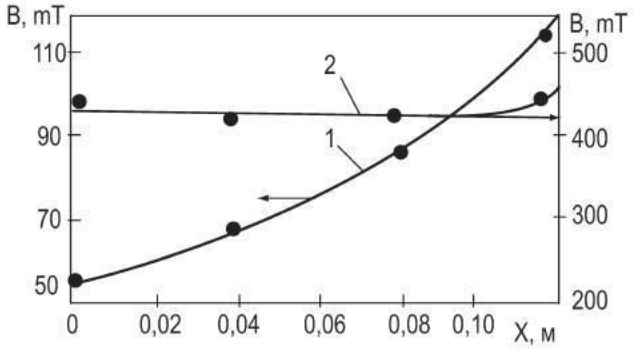

Рисунок 8 – Розподіл поля в радіальному напрямку, посередині соленоїда, заповненого кульками зі сталі ШХ-15 (крива 1); у соленоїдах, що спарені шунтами (крива 2)

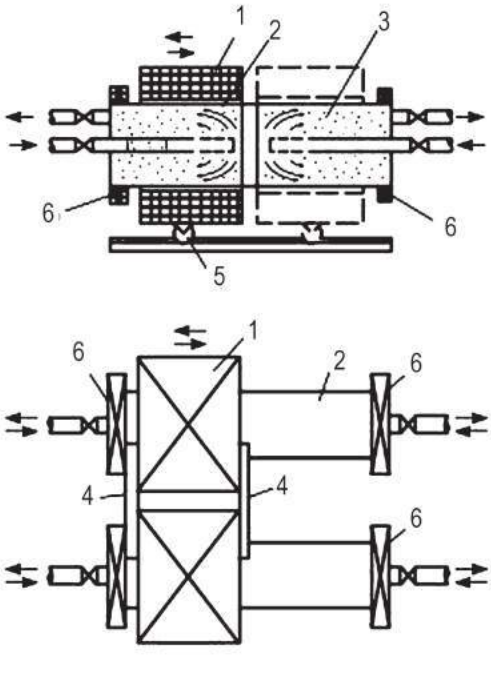

Рисунок 9 – Магнітний фільтр-осаджувач неперервної дії з рухомими спареними шунтами соленоїдами:
1 – соленоїди; 2 – корпуса; 3 – загрузка; 4 – магнітопроводи-шунти; 5 – механізм для переміщення соленоїдів; 6 – додаткові тягові котушки

Особливість конструкції полягає у тому, що спарені шунтами соленоїди є рухомими. Переміщення соленоїдів з одного положення в інше здійснюється додатковими тяговими котушками 6 (рис. 9). Якщо в режимі процесу очищення працюють ліві частини корпуса фільтра, то праві знаходяться в режимі очікування. При досягненні періоду фільтроциклу котушки 1 переміщують на праві частини корпусу, а загрузку лівих частин корпусу регенерують. Для переміщення вмикають ліві котушки 6 таким чином, щоб між котушками 1 і 6 виникали сили магнітного відштовхування (згідно зі схемою, що зображена на рис. 9), а котушки 6 правих камер корпусів фільтра – на притягання спарених соленоїдів 1 [15].

Залежно від виду рідкого середовища, що очищується (турбінні конденсати, живильна вода, дренажні, виробничі конденсати ТЕС, ТЕЦ, АЕС, оборотні, стічні води металургійних виробництв, рідкі середовища хімічної технології), вибирають одну з наведених схем магнітних фільтрів соленоїдного типу або їх комбінацію. Враховуючи концентрацію залізовмісних домішок, об'єм середовища, що очищується, вимоги до ступеня очищення середовища, температуру середовища, виконують електротехнічний і механічний розрахунок фільтра. Можна також скористатись номограмним методом розрахунку [2].

Викладена методика розрахунку використана при проектуванні, виготовленні і впровадженні магнітного фільтра для очищення конденсату ТЕЦ від домішок заліза.

ВИСНОВКИ

Встановлено закономірності розподілу магнітного поля в соленоїдних магнітних фільтрах. Рекомендовано методику розрахунку основних параметрів магнітного поля соленоїдних фільтрів. Показано, що критерієм економічності соленоїдних фільтрів є величина геометричного симплексу (L/D) (L – довжина соленоїда, D – діаметр соленоїда). Запропоновано нові схеми магнітних фільтрів соленоїдного типу для водних середовищ різної продуктивності, як періодичної, так і неперервної дії.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. **Гаращенко, В.І.** Магніто-фільтраційні властивості композиційної гранульованої загрузки магнітних фільтрів / В.І. Гаращенко, І.М. Астрелін, О.В. Гаращенко // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2011. – № 2. – С. 11–17.
2. **Сандуляк, А.В.** Электромагнитные фильтр-осадители / А.В. Сандуляк, В.И. Гаращенко. – Л. : Вища школа, 1982. – 70 с.
3. **Гаращенко, В.І.** Екологічно безпечний метод очистки текучих середовищ в намагнічених поліградієнтних насадках / В.І. Гаращенко // Проблеми фундаментальної і прикладної екології, екологічної геології і раціонального природокористування : IV Міжнар. Наук.-практ. Конф., 19–21.03.2009 р. : тези доп. – Кривий Ріг, 2009. – С. 125–127.
4. **Гаращенко, В.І.** Магніто-сорбційні властивості гранульованих фільтруючих насадок / В.І. Гаращенко, І.Г. Скрипник, О.П. Лук'янчук, О.В. Гаращенко // 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. / В.І. Гаращенко, О.В. Гаращенко // Экология и промышленность. – 2011. – № 4. – С. 72–77.
6. **Гаращенко, В.И.** Очистка оборотных вод металлургических производств от ферропримесей магнитными фильтрами / В.И. Гаращенко, А.В. Гаращенко // Теплотехника и энергетика в металлургии : XVI Междунар. Конф.,4–6.10.2011 г. : тез. Докл. – Д., 2011. – С. 112–113.
7. **Зубов, Н.В.** Работа электромагнитного фильтра в схеме энергоблока сверхкритического давления / Н.В. Зубов, Л.В. Кузьмичева, Ю.М. Богачко и др. // Теплоэнергетика. – 1976. – № 12. –С. 66–68.
8. **Сандуляк, А.В.** Критерий экономичности соленоидных фильтров для очистки воды от железосодержащих примесей / А.В. Сандуляк, В.З. Кочмарский, В.И. Гаращенко / Химия и технология воды. – 1981. – Т. 3, № 6. – С.
9. **А.с. 698658 (СССР) , МКИ В03С1/00.** Устройство для очистки жидкости / А.В. Сандуляк, В.И. Гаращенко, Л.И. Лазаренко (СССР). – №2624755/22-03 ; заявл. 02.06.78 ; опубл. 25.11.79, Бюл. № 43. – 3 с.
10. **А.с. 1828759 А1 (СССР), МКИ В01D35/06.** Способ магнитной очистки жидкостей и газов и устройство для его осуществления / В.И. Гаращенко, А.В. Сандуляк, С.А. Кузнецов (СССР). – № 3840883/31 ; заявл. 02.02.85 ; опубл. 23.07.93, Бюл. № 27. –2 с.
11. **А.с. 1091942 А СССР, МКИ В03С1/02.** Магнитный сепаратор / О.Ю. Корхов, А.В. Сандуляк, В.И. Гаращенко (СССР). – №3538186/23-26 ; заявл. 10.01.83 ; опубл. 15.05.84, Бюл. № 18. – 4 с.
12. **А.с. 1600069 А1 СССР, МКИ В01D35/06.** Устройство для магнитной очистки жидких и газовых сред /В.И. Гаращенко, И.В. Волков (СССР). – № 4067456/31-26 ; заявл. 12.05.86 ; опубл. 15.06.90, Д.С.П. – 2 с.
13. **А.с. 1061841 А СССР , МКИ В03С1/02.** Магнитный сепаратор-осадитель / В.И. Гаращенко, А.В. Сандуляк, О.Ю. Корхов (СССР). – № 3431480/22-03 ; заявл. 05.02.82 ; опубл. 23.12.83, Бюл. № 47. – 3 с.
14. **А.с. 1268192 А1 СССР, МКИ В01D35/06.** Магнитный фильтр-осадитель /В.И. Гаращенко, А.В. Сандуляк, В.П. Бендасюк, В.В. Сандуляк (СССР). – № 3505641/31-26 ; заявл. 03.06.85 ; опубл. 07.11.86, Бюл. № 41. – 2 с.
15. **Patent USA №5.076,914; (1991) B01 D 35/06.** Apparatus for separating ferromagnetic materials from fluid media / Garaschenko V.I., Sandulyak A.V., Korkhov O.J. (U.S.S.R). – Appl. № 415,281 ; Dec. 24, 1987. – 6 p.

Поступила в редакцию 13.02.2012

Приведена методика расчета основных параметров магнитного поля соленоидных магнитных фильтров. Установлен критерий экономичности соленоидных фильтров. Показаны и обоснованы новые схемы магнитных фильтров соленоидного типа. Приведены результаты промышленных испытаний магнитного фильтра при очистке конденсата ТЭЦ от железосодержащих примесей.

Technique for calculating basic magnetic field parameters of solenoid magnetic filters is shown. Criterion of economical efficiency of solenoid filters is specified. New schemes of magnetic filters of solenoid type are shown and substantiated. The results of industrial tests of the magnetic filter for purifying runback water of thermal power station against iron containing impurities are shown.