

Пляцук Дмитро Леонідович, асистент, кафедра прикладної екології, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007

E-mail: plyacuk@teko.sumy.ua

Гурець Лариса Леонідівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра прикладної екології, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007

E-mail: larisagurets@gmail.com

УДК 628.162.1.001.24

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.42628

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ЗАЛІЗОКИСНИХ ДОМІШКОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ

© В. Л. Дахненко

Стаття присвячена проблемі оперативного визначення середнього розміру частинок, що вилучаються із рідких середовищ магнітним фільтруванням із використанням намагніченої гранульованої насадки. Визначені необхідні умови для експериментального дослідження і одержані залежності які дозволяють встановити середній розмір частинок, котрий слід приймати при розрахунку параметрів магнітного фільтраційного пристрою для очищення конкретних рідких та газових середовищ

Ключові слова: магнітне поле, ефективність, дисперсність, магнітна насадка

The article is devoted to the problem of operational determine the average size of the particles that are removed from liquid environments by magnetic filtration using granular magnetized nozzle. The necessary conditions for experimental research and the resulting dependence that allow to set the average particle size, which should be used in calculating the parameters of magnetic filtration device for treating specific liquid and gas environments are determined

Keywords: magnetic field, efficiency, dispersion, magnetic nozzle

1. Вступ

Для більшості рідких середовищ наявність зважених включень є неминучим, наприклад, у результаті зношування й корозії елементів устаткування, що приводить до погіршення якості продукції, що випускається, зниженню надійності й довговічності устаткування, порушенню технології виробництва, збільшенню некондиційної продукції й росту собівартості одиниці продукції. Наприклад, наявність домішок в теплоносії електростанцій приводить до утворення відкладень на теплообмінних поверхнях веде до зниження теплопередачі й викликає зростання температури стінок труб на 100–140 °С вище температури чистої труби [1–3]. Це приводить до перевитрати й розриву поверхонь, що гріють.

Характерним видом забруднень є залізовмісткі дисперсні включення теплоносія, враховуючи, що значна їх частина має магнітосприйнятливості [4, 5] (відзначається також, що при інтенсивній термічній обробці теплоносія відбувається перехід немагнітних форм оксидів заліза в магнітні [6, 7]), що дозволяє використовувати для їх вилучення магнітне поле.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми.

Технологія тонкого очищення рідких середовищ від магнітосприйнятливих (ферромагнітних, феррімагнітних, антиферромагнітних) домішок реалізується за допомогою фільтрування середовища крізь намагнічену ферромагнітну насадку, а пристрої одержали назву магнітних фільтрів [8, 9]. Робота цих пристроїв заснована на принципі силового магнітного взаємодії гранул насадки і частинок.

Загальним рівнянням, що використовується для розрахунку магнітофільтраційних пристроїв [9, 10]:

$$\frac{\psi}{\lambda} = 1 - \exp\left(-a_2 \frac{\kappa \delta^2 \gamma B}{\eta v d^2} L\right), \quad (1)$$

$$\frac{\psi}{\lambda} = 1 - \exp\left(-a_2 \frac{\kappa \delta^2 \gamma B}{\eta v d^2} L - \xi_0\right), \quad (2)$$

де ψ – показник очищення (ефективність); λ – частка магнітної фракції домішок; a_n – розмірний коефіцієнт; κ – магнітна сприйнятливості часток; δ – ефективний діаметр часток; B – індукція магнітного поля насадки; L – довжина насадки; η – динамічна в'язкість середовища; v – швидкість фільтрування; d – діаметр гранул насадки; ξ_0 – коефіцієнт, що характеризує фракцію домішок, що легко осаджується.

Залежності (1)–(2) описують вплив основних параметрів на ефективність очищення. Одним із ключових параметрів, які впливають на процес магнітного осадження є крупність залізоокисних частинок δ [9, 11]. Експериментальні дослідження магнітного осадження домішок з використанням модельних суспензій, що містять частинки відносно вузького діапазону розмірів представлені в [12].

Вони підтверджують ступінь впливу δ на ψ , відповідаючи (1)–(2). Однак реальний спектр крупності залізоокисних частинок, присутніх у водах електростанцій, досить широкий і коливається від часток мікрона до сотень мкм., що підтверджують результати електронної мікроскопії домішок [9, 12,

13]. У рівнянні (1)–(2) під параметром δ мається на увазі величина середнього розміру залізоокисних частинок.

3. Ціль і завдання дослідження

При розробці пристрою магнітофільтраційного очищення (магнітного фільтру) залишається актуальним залишається визначення значення розмірів частинок δ , яку слід приймати у якості розрахункового, особливо, коли діапазон зміни δ в межах 2 порядків. Особливо це стосується реальних середовищ, де необхідна саме оперативне визначення основних пасивних факторів на об'єкті і не потребує великої кількості часу і складного стаціонарного обладнання для цієї мети. Набір статистичних даних вимірювання результатів електронної мікроскопії не тільки потребує тривалого часу, але не гарантує того, що такі дослідження провадяться саме із частинками, що мають магнітосприйнятливі властивості, а дослідження осаду із магнітного фільтру недоцільне, адже у цьому випадку матимемо справу із конгломератами частинок, що не відповідають дійсним значенням.

У цьому зв'язку виникає необхідність розробки способу оперативного визначення розмірів частинок магнітосприйнятливих домішок для кожного об'єкту застосування магнітного способу очищення. Виходячи із цих вимог інтерес являє не стільки поле дисперсності, скільки усереднена величина δ , яку можна використовувати для розрахунків конкретного магнітного очисного пристрою.

4. Матеріали й методи досліджень

Для цього пропонується використати закономірності магнітного фільтрування із метою вирішення зворотної задачі, зокрема, магнітно-седиментаційного визначення середнього (середньоквадратичного) розміру магнітосприйнятливих частинок, використавши залежність (1).

Для умов з реальним спектром розмірів часток, що присутні в рідинах (газах), використовуючи закономірності магнітного осадження з'являється можливість рішення зворотної задачі, зокрема, магнітно-седиментаційного визначення середнього (середньоквадратичного) розміру магнітосприйнятливих частинок, використавши (1) у вигляді:

$$\delta_v = \sqrt{\frac{\eta v d^2 \ln\left(1 - \frac{\psi}{\lambda}\right)}{a \gamma B L}} \tag{3}$$

Сам спосіб полягає в експериментальному дослідженні реальних середовищ шляхом їх фільтрування крізь шар намагніченої насадки із використанням мобільної магніто-фільтраційної установки (рис.1). дослідна рідина з резервуару 4 подається в корпус 1, в якому фільтрується крізь шар насадки 3, що намагнічується відповідною системою 2 (наприклад, постійні магніти) і збирається в резервуарі 5. Передбачається одержання значення коефіцієнта ψ

при очищенні середовища шляхом визначення концентрацій домішок в резервуарах 4 і 5 (рис. 1).

Коефіцієнт ψ як ефективність очищення, визначається хімічним аналізом концентрації, наприклад, заліза в резервуарах 4 (C_0) і 5 (C), а $\psi = (C_0 - C) / C_0$.

Експериментальна частина досліджень проводилася із використанням водної суспензії магнетиту, а визначений діапазон розмірів частинок досягався шляхом багаторазового відстоювання.

Однак слід з'ясувати суть значень δ , одержаних з (3) по значеннями ψ , якщо врахувати особливість осадження магнітосприйнятливих частинок у намагніченій насадці.

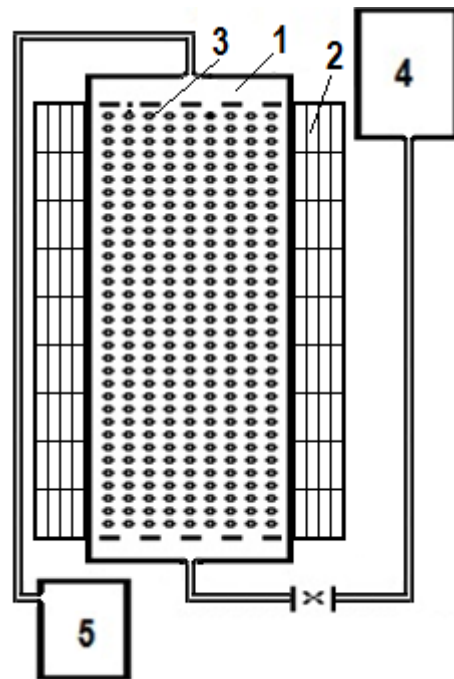


Рис. 1. Схема мобільної експериментальної магнітофільтраційної установки: 1 – корпус; 2 – намагнічуюча система; 3 – фільтруюча насадка; 4 – резервуар з вихідною рідиною; 5 – резервуар для очищеної рідини

Згідно із (1) на невеликій довжині L насадки відбувається переважне осадження більших частинок з характерною для них високою ефективністю. У міру збільшення L внесок у зниження домішки докладають більш дрібні частки спектра зі зменшенням інтенсивності росту ψ для цих часток. Наприклад, для досягнення 90 % ефективності очищення модельної суспензії магнетиту, що містить частки розмірів 3–5 мкм необхідна фільтруюча насадка довжиною 0,45 м, у той час як для осадження з такою ж ефективністю фракції часток з розміром 15...20 мкм досить довжини фільтруючої насадки 0,04 м за інших рівних умов [12].

5. Результати досліджень

Дані ψ , отримані при різних довжинах насадки експериментальної установки відображають внесок того спектра δ , який відповідає L . Відповідно,

дані δ , отримані при $L=0,1$ м навряд можна інтерполювати для промислового фільтра з $L=1,0$ м, якщо враховувати ступінь впливу δ в (1). Використовуючи дані вищеописаного прикладу ($\psi=0,9$ для $\delta=3\dots5$ мкм $L=0,45$; для $\delta=15\dots20$ мкм $L=0,04$ м) (3) можна спростити до виду:

$$\delta_v = \sqrt{A \frac{\ln\left(1 - \frac{\psi}{\lambda}\right)}{L}}, \quad (4)$$

одержуємо $A=-3 \cdot 10^{-12}$ при $\psi=0,9$; $L=0,45$; $\delta=4$ мкм; $\lambda=1,0$.

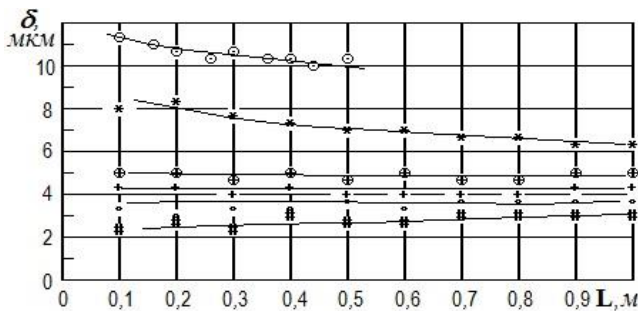
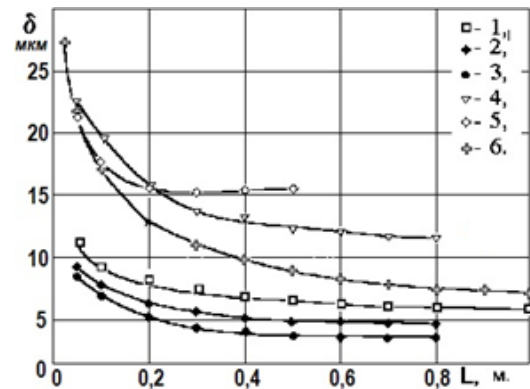


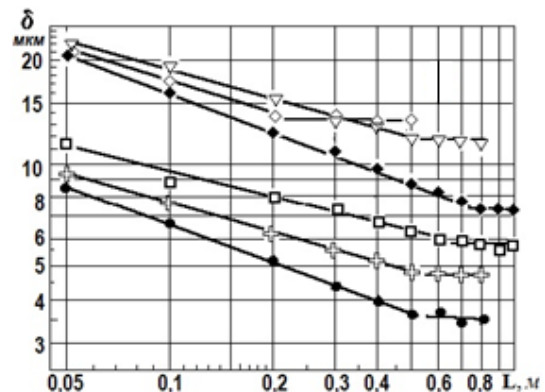
Рис. 2. Значення середнього розміру залізоокисних частинок в залежності від довжини фільтрування із врахуванням даних [9,12]; # – $A=-2,7 \cdot 10^{-12}$ м; + – $-8 \cdot 10^{-12}$ м; \oplus – $-1 \cdot 10^{-11}$ м; \bullet – $-1 \cdot 10^{-11}$ м; \odot – $1,8 \cdot 10^{-12}$ м; \star – $-1,8 \cdot 10^{-12}$ м

Для $\psi=0,9$ і $L=0,04$ м з розрахунку випливає значення $\delta=13$ мкм, яке виявляється заниженим. У цьому зв'язку необхідна оцінка того, при якому значенні L дані δ , отримані з (3, 4) можуть відповідати середньому (усередненому) значенню, яке можна використовувати для розрахунків параметрів промислового магнітного фільтра. Аналіз експериментальних даних [9, 10, 12] $\psi \sim L$, представлений на рис. 2, 3 показав, що значення δ як середнє може бути розраховано по (3) лише для середовищ із відносно вузьким спектром розмірів частинок, осадження яких описується єдиною експонентною залежністю (1), тобто $\xi_0 \rightarrow 0$. Це підтверджують залежності, наведені на рис. 2, з яких випливає, що значення δ , розраховане по (3, 4) для широкого діапазону L змінюється в межах 8 %.

Однак, ефективність очищення більшості рідких середовищ (як модельних, так і реальних) не можуть бути описані єдиною експонентною залежністю виду (1). Підтвердженням тому – графічні залежності $\delta \sim L$ (рис. 3а), отримані за допомогою (3) у варіанті (4) для відповідних $\psi \sim L$.



а



б

Рис. 3. Значення середнього розміру залізоокисних частинок в залежності від довжини фільтрування, приведені в нормальних (а) і логарифмічних (б) координатах: 1 – $A=-1,06 \cdot 10^{-11}$ м; 2 – $-1,8 \cdot 10^{-13}$ м; 3 – $-2,88 \cdot 10^{-12}$; 4 – $-1,8 \cdot 10^{-11}$ м; 5 – $-2,7 \cdot 10^{-11}$ м; 6 – $-1,4 \cdot 10^{-11}$ м

6. Аналіз результатів експериментів

Із кривих рис. 3, а випливає, що усереднені значення δ для різних довжин насадки коливається в досить широкому діапазоні значень (до 240 %), підтверджуючи факт осадження більших часток у початковій зоні насадки. Однак дані рис. 3, а, представлені в логарифмічних координатах рис. 3, б, виявляють стабільну закономірність впливу L на значення δ на довжині насадки L_l (конкретної для кожного середовища): $d \sim L_l^n$, і стабілізацією значень δ при $L > L_l$. Тому для середовищ із широким спектром часток використання в рівняннях (1, 2) значення δ , розрахованого по (3) при стаціонарній довжині, тобто $L=const$, приводить до істотних помилок.

Згідно рис. 3, б для $L < L_l$ ($L=L_0 \dots L_l$, де L_0 – довжина чарунки насадки) справедлива пропорційність: $d = d_0 \cdot L^n$ (тут d_0 – коефіцієнт, що відповідає δ при $L=L_0$ і визначається із графічної залежності рис. 3, б). Середнє значення розміру частинок δ , що вилучаються магнітним фільтром на довжині насадки L (у діапазоні $L_0 \dots L_l$):

$$\tilde{\delta} = \frac{1}{L_l - L_0} \cdot \int_{L_0}^{L_l} \delta dL = \frac{1}{L_l - L_0} \delta_0 \int_{L_0}^{L_l} L^{-n} dL = \frac{1}{L_l - L_0} \cdot \frac{\delta_0}{(1-n)} (L_l^{1-n} - L_0^{1-n}). \quad (5)$$

Маючи на увазі, що $L_l \gg L_0$, (5) спрощується до виду:

$$\tilde{\delta} = \frac{\delta_0 L_l^{-n}}{1-n} \quad (6)$$

і може бути представлено у більш конкретному виді, враховуючи вузький діапазон зміни показника n для багатьох середовищ, що очищаються, тобто $n=0,31 \dots 0,37$ (рис.3б), приймаючи $n=0,34$ (6):

$$\tilde{\delta} = \frac{\delta_0}{0,66} L_l^{-0,36}. \quad (7)$$

Із врахуванням (7) рівняння (2) слід представити у вигляді системи:

$$\left. \begin{aligned} 1 - \frac{\psi}{\lambda} &= \exp\left(-\frac{\alpha k \tilde{\delta}^2 \gamma B}{\eta v d^2} L\right), & \text{для } L \leq L_l, \\ 1 - \frac{\psi}{\lambda} &= \exp\left(-\frac{\alpha k (\tilde{\delta}^2 - \hat{\delta}^2) \gamma B}{\eta v d^2} L\right), & \text{для } L > L_l. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

З (8) і (2) випливає, що ξ_0 :

$$\xi_0 = -\frac{\alpha k (\tilde{\delta}^2 - \hat{\delta}^2) \gamma B}{\eta v d^2} L, \quad (9)$$

значення якого може бути визначальним при використанні малих довжин насадки ($L < L_l$).

7. Обговорення результатів

У дослідженні, використовуючи основну залежність магнітофільтраційного осадження частинок, запропоновано вирішення зворотної задачі: визначення розміру частинок, що мажуть бути вилучені із рідкого середовища за допомогою магнітного фільтру. Спосіб полягає в експериментальному дослідженні за допомогою фільтрування крізь намагнічену гранульовану насадку із використанням мобільної (лабораторної) фільтраційної установки із відомими експлуатаційними параметрами. Отримані основні залежності визначення розмірів частинок, значення яких можна використовувати при розробці промислового зразку. Але слід зазначити, що отримані, у такий спосіб, слід розглядати тільки як ефективне (розрахункове) значення, що відноситься тільки до магнітофільтраційного способу очищення. Адже не всі дисперсні включення мають магнітні властивості, а самі магнітні частинки можуть бути складовою частиною більших по розміру конгломератів.

8. Висновки

За допомогою мобільної магнітофільтраційної установки можливе оперативне визначення величини середнього значення розміру δ домішкових магнітосприйнятливих дисперсних включень середовища, котре необхідно для розрахунку технологічних і конструктивних характеристик магнітного фільтра. Для цього

досить одержати значення даних $\sim L$ при багаторазовому (m -раз) пропусканні середовища крізь намагнічену насадку експериментальної установки, при стабільних інших параметрах магнітного осадження, та використанні отриманих залежностей (5)–(7).

Література

1. Беляков, И. И. Отложения магнетита в экранях котла ТГМП-114 и опыт их удаления [Текст] / И. И. Беляков, Л. Ю. Краснякова, А. Ф. Белоконова // Теплоэнергетика. – 1974. – № 2. – С. 49–53.
2. Глебов, В. П. Железоокисные отложения и их влияние на надежность котлов сверхкритического давления [Текст]: автореф. дис. ... д-р. техн. наук / В. П. Глебов. – М., 1979. – 41 с.
3. Сандуляк, А. А. Совершенствование режимов и систем магнитной очистки технологических сред для предупреждения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации энергетического оборудования [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Сандуляк. – Москва, 2005.
4. Кириченко, В. С. О методах определения форм железа в водах теплоэнергетических установок (ТЭУ) [Текст] / В. С. Кириченко, Г. П. Захарова, Л. И. Дураченко. – Барнаул, 1974. – С. 37–38.
5. Сандуляк, А. В. Методика контроля магнитных свойств осадков при очистке жидкостей [Текст] / А. В. Сандуляк, Н. М. Яцков, Н. И. Шепель // Химия и технология воды. – 1985. – Т. 7, № 2. – С. 61–63.
6. Манькина, И. И. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций [Текст] / И. И. Манькина. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
7. Грязев, А. М. Исследование поведения окислов железа в существующих фазах вода-пар и их влияние на организацию водного режима теплоэнергетических установок [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. М. Грязев. – Москва, 1972. – 18 с.
8. Сандуляк, А. В. Магнитное обезжелезивание конденсата [Текст] / А. В. Сандуляк, И. М. Федоткин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 83 с.
9. Сандуляк, А. В. Магнито-фильтрационная очистка жидкостей и газов [Текст] / А. В. Сандуляк. – М. «Химия», 1988. – 136 с.
10. Сандуляк, А. В. Совершенствование узла очистки в магнитных фильтрах [Текст] / А. В. Сандуляк, В. Л. Дахненко, Н. И. Клепач // Химическая технология. – 1989. – № 5. – С. 40–45.
11. Мурадова, Р. А. Вопросы электромагнитного фильтрования технологических жидкостей на основе осаждения железосодержащих частиц в высокоградиентном магнитном поле [Текст] / Р. А. Мурадова // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: международный научно-технический и производственный журнал. – 2006. – № 3. – С. 85–91.
12. Корхов, О. Ю. Разработка конструкций и режимов работы магнитных фильтров для очистки конденсатов электростанций с целью повышения их эффективности [Текст]: автор. дис. ... канд. техн. наук / О. Ю. Корхов. – Днепропетровск, 1988.
13. Ершова, В. А. Исследование характеристик рабочих зон магнитных очистных аппаратов как средств предупреждения чрезвычайных ситуаций в условиях коррозии и износа оборудования [Текст]: автор. дис. ... канд. техн. наук / В. А. Ершова. – Москва, 2007.

References

1. Belyakov, I. I., Krasnyakova, L. Y., Belokonova, A. F. (1974). Otlozheniya magnetita v jekranah kotla TGMP-114 i opyt ih udaleniya. *Tepljenergetika*, 2, 49–53.

2. Glebov, V. P. (1979). Zhelezookisnye otlozhenija i ih vlijanie na nadezhnost' kotlov sverhkriticheskogo davlenija. Moscow, 41.
3. Sandulyak, A. A. (2005). Sovershenstvovanie rezhimov i sistem magnitnoj ochistki tehnologicheskikh sred dlja preduprezhdenija chrezvychajnykh situacij pri jekspluatacii jenergeticheskogo oborudovanija. Moscow.
4. Kirichenko, V. S., Zaharova, G. P., Durachenko, L. I. (1974). O metodah opredelenija form zheleza v vodah teplojenergeticheskikh ustanovok (TJeU). Barnaul, 37–38.
5. Sandulyak, A. V., Yatskov, N. M., Shepel, N. I. (1985). Metodika kontrolja magnitnykh svojstv osadkov pri ochistke gidkostej. Himija i tehnologija vody, 7 (2), 61–63.
6. Mankin, I. I. (1977). Fiziko-himicheskie processy v parovodjanom cikle jelektrostantsij. Jenergija, 256.
7. Griazev, A. M. (1972). Issledovanie povedenija oksilov zheleza v sushhestvujushchih fazah voda-pap i ih vlijanie na opganizaciju vodnogo pezhima teplojenergeticheskikh ustanovok. Moscow, 18.
8. Sandulyak, A. V., Fedotkin, I. M. (1983). Magnitnoe obezželevivanie kondensata. Moscow: Jenergoatomizdat, 83.
9. Sandulyak, A. V. (1988). Magnito-fil'tracionnaja ochistka zhidkostej i gazov. Moscow: «Himija», 136.
10. Sandulyak, A. V., Dakhnenko, V. L., Klepach, N. I. (1989). Sovershenstvovanie uzla ochistki v magnitnykh fil'trah. Himicheskaja tehnologija, 5, 40–45.
11. Muradova, R. A. (2006). Voprosy jelektromagnitnogo fil'trovanija tehnologicheskikh zhidkostej na osnove osazhdenija zhelezosoderzhashchih chastic v vysokogradientnom magnitnom pole. Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij i jenergeticheskikh ob#edinenij SNG. Jenergetika: mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal, 3, 85–91.
12. Korhov, O. Ju. (1988). Razrabotka konstrukcij i rezhimov raboty magnitnykh fil'trov dlja ochistki kondensatov jelektrostantsij s cel'ju povysenija ih jeffektivnost. Dnepropetrovsk.
13. Ershova, V. A. (2007). Issledovanie harakteristik rabochih zon magnitnykh ochistnykh apparatov kak sredstv preduprezhdenija chrezvychajnykh situacij v uslovijah korrozii i iznosa oborudovanija. Moscow.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Корнієнком Я. М.
Дата надходження рукопису 23.04.2015*

Дахненко Валерій Леонідович, доцент, кандидат технічних наук, кафедра машин і апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: dvl2@meta.ua

УДК 621.187.125

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.42629

ДО КОМПОНОВКИ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ФІЛЬТРА ВЕЛИКОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

© В. Л. Дахненко

Вирішується задача визначення основних параметрів робочої зони електромагнітного фільтра великої продуктивності у поєднанні із умовами намагнічування сорбційної насадки. Описаний взаємозв'язок розташування насадки магнітного фільтра по відношенню до намагнічуючої системи, визначені залежності між параметричними характеристиками фільтраційної зони та основними характеристиками використання магнітного поля

Ключові слова: соленоїд, фільтруюча насадка, магнітна індукція, ефективність

The problem of determining the main parameters of the working area of the electromagnetic filter with high productivity combined with the terms of the magnetization of sorption nozzle is solved. Relationship of arrangement of nozzle of the magnetic filter towards magnetizable system is described, relationship between parametric performance filtration area and the main characteristics of the use of the magnetic field are defined

Keywords: solenoid, filter cap, magnetic induction, efficiency

1. Вступ

Одним з важливих показників ефективності, надійності й довговічності роботи теплоенергетичного обладнання є ступінь чистоти теплоносія від різного роду домішок. Їхня наявність у теплоносії приводить до утворення відкладань на теплообмінних поверхнях, що погіршує теплопередачу, а для пароводяних трактів котлоагрегатів ця причина, є найбільш уразливою ланкою технологічної схеми електричних станцій.

Залізоокисні домішки у конденсаті становить основну долю забруднень води, що надходить у котли [1, 2]. Вони є причиною відкладань на теплообмінних поверхнях, що приводить до перегріву стінок

труб на 100–140 °С вище температури чистої труби і може досягати 600–650 °С. Ця обставина приводить до перевитрати палива й зростання ризику розриву поверхонь нагрівання [2].

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Основна частина залізоокисних домішок має магнітосприйнятливі властивості [2–4], що дозволяє застосувати для їх вилучення магнітне поле. Метод реалізується за допомогою пристроїв, що називаються магнітними фільтрами, в яких як робочий орган (сорбційного об'єму) використовується намагнічувана гранульована насадка [3, 5], яка намагнічується