

УДК 621.187.121

**МАГНІТО-ФІЛЬТРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОЇ
ГРАНУЛЬОВАНОЇ ЗАГРУЗКИ МАГНІТНИХ ФІЛЬТРІВ****В. І. Гаращенко¹, І. М. Астрелін², О. В. Гаращенко¹**

1 - Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне.

e-mail: vigarashchenko@yandex.ru

2 - Національний технічний університет України „КПІ”, м. Київ.

e-mail: i.m.astrelin@xtf.kpi.ua

Досліджені магніто-фільтраційні властивості композиційної гранульованої загрузки магнітних фільтрів. Показано, що величина середньої індукції в об'ємі загрузки залежить від співвідношення мас гранул феромагнетика і феримагнетика. Встановлено, що величина залишкової намагніченості композиційної загрузки в 2-3 рази менша від відомої кулькової загрузки. Показано вплив напруженості зовнішнього магнітного поля на величину коефіцієнта осадження.

Ключові слова: феромагнітна загрузка, магнітне осадження, фільтрація.

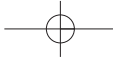
Вступ

Водні середовища котельних установок, теплоелектроцентралеї, ДРЕС, АЕС, металургійних і хімічних виробництв внаслідок неперервної корозії технологічного обладнання та трубопроводів збагачуються дисперсними домішками продуктів корозії [1, 2]. Встановлено, що їх концентрація перевищує допустимі норми в сотні і тисячі разів [2, 3]. Домішки продуктів корозії представляють собою оксиди заліза і, як встановлено, значна частка їх має феромагнітні властивості [2]. В таких водних системах як конденсати, живильні води енергоблоків теплових і атомних електростанцій частка феромагнітної фракції домішок в загальній масі залізовмісних домішок досягає 70-90% [1, 2].

Наявність цих домішок в теплоносіях атомних і теплових електростанцій навіть при незначних концентраціях (0,02-0,2 мг/дм³) призводить до того, що на парогенеруючих поверхнях і на лопатках турбін утворюються, так звані, залістисті відкладення [4]. Це призводить до перепаду і розривів труб, зменшення потужності турбін, аварійного виводу обладнання в ремонт, скорочення виробленої електроенергії. Встановлено, що відкладення залізовмісних домішок на поверхнях нагріву котлів в кількості 250-350 г/м² обумовлює перегрів парогенеруючих труб на 60...110°C [5]. Потужність енергоблоків 300 МВт при відкладенні на лопатках циліндрів високого тиску турбіни залістистих домішок в кількості ≈ 1 кг [6] зменшується на 5...10 МВт, а це призводить до недовироблення порядку 35-70 млн. кВт·год/рік електроенергії. Якщо ж конденсати з високою концентрацією заліза (особливо в пусковій режимі) скидати у водойми, то це призводить до забруднення водного басейна і навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень

Для очищення водних систем від феромагнітних забруднюючих домішок використовують ефективні та екологічно безпечні магнітні фільтр-осаджувачі, які здатні очищувати водні середовища з температурою до 500°C і швидкістю фільтрації до 1000 м/год [7]. Основним робочим органом магнітних фільтрів є феромагнітна фільтруюча загрузка, в об'ємі якої відбувається процес магнітного осадження домішок [1]. Відомо використання в якості фільтруючої загрузки сіток, сталевих дробу, кульок, перфорованих пластин, рифлених стрижнів, гранул стружки з сталей 0X13-40X13 [7, 8]. Для тонкого очищення воднодисперсних систем і агресивних рідких середовищ хімічної промисловості гранули загрузки легують антикорозійними елементами (Cr, Ni) [3, 12]. Для ефективного осадження високодисперсних домішок



в об'ємі феромагнітних загрузок створюють неоднорідність магнітного поля з градієнтом (H_{gradH}) величиною порядку ($1 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{14} \text{ A}^2/\text{м}^3$).

З іншого боку існують такі водні середовища, в яких концентрація залізовмісних домішок становить сотні тисяч $\text{мкг}/\text{дм}^3$. Наприклад, концентрація заліза в оборотних водах прокатних станів металургійних виробництв досягає $120000 - 160000 \text{ мкг}/\text{дм}^3$. Для очищення таких середовищ необхідні магнітні фільтри з феромагнітною фільтруючою загрузкою, яка б намагнічувалась до необхідного рівня в невисоких по значенню напруженостях зовнішніх магнітних полів і ефективно регенерувалась.

Регенерація фільтруючої загрузки здійснюється водоповітряною сумішшю при відключенні зовнішнього магнітного поля. В разі використання кульок із сталі ШХ-15 або інших гранул, які виготовлені з високовуглецевих сталей при відключенні поля вся маса такої фільтруючої загрузки зберігає залишкову намагніченість порядку $45 - 65 \text{ мТл}$. [2]. Дослідженнями встановлено, що після зняття намагнічуючого поля (без додаткового розмагнічування) серцевина ланцюга феромагнітних кульок має суттєву залишкову намагніченість. Так, при $r/R = 0.1 - 0.2$ величина $B_3/B = 0.4 - 0.2$ (40-20%) [9], де B - індукція в серцевині ланцюга кульок; r/R - відносний радіус; R - радіус кулі; r - радіус кільцевої зони, яка розміщена у площині, перпендикулярній до лінії, з'єднуючої суміжні кулі, і яка проходить через точку контакту куль. При знятті намагнічуючого поля, наприклад, напруженістю $H = 80 \text{ кА}/\text{м}$ в зоні $r/R \leq 0.17$, де $B_3/B = 0.25$, а $B \geq 2 \text{ Тл}$ отримаємо $B_3 \geq 0.5 \text{ Тл}$. Напруженість залишкового поля в цьому зазорі між кулями складає $H_3 = B_3/\mu = 320 \text{ кА}/\text{м}$, тобто не менше, ніж в 4 рази вища напруженості намагнічуючого поля H . Таким чином, залишкове поле при намагнічуванні ланцюга феромагнітних гранул має значну величину і локалізується навколо точок контакту куль [9]. Для зняття залишкового поля використовують спеціальні схеми розмагнічування змінним магнітним полем із затухаючою амплітудою напруженості поля.

Мета роботи - дослідження магніто-фільтраційних властивостей композиційної гранульованої загрузки магнітних фільтрів.

Виклад основного матеріалу

Авторами запропонована композиційна ферито-феромагнітна гранульована загрузка для магнітних фільтрів, яка включає гранули фериту і феромагнетика [10, 11]. Така фільтруюча загрузка, при певному співвідношенні обох типів гранул, має незначну залишкову намагніченість при відсутності зовнішнього магнітного поля. Одночасно, при незначних по величині зовнішніх полях (до $(0.25 - 0.35) \cdot 10^5 \text{ А}/\text{м}$) величина магнітної проникності і рівень намагніченості фільтруючої загрузки досягає значення, яке забезпечує ефективний рівень очищення водних середовищ. В якості гранул фериту використовували подрібнені гранульовані відходи виробництва феритів, наприклад 2000НМ , 3000НМС , які відносяться до магнітом'яких матеріалів. Ферити є феромагнетиками, які поєднують феромагнітні і напівпровідникові властивості. Питомий опір окремих видів феритів в мільярди разів перевищує опір металевих феромагнетиків, тому у феритів практично відсутні вихрові струми. За структурою кристалічної ґратки розрізняють ферити-шпінелі, ферити-гранати, ортоферити, гексаферити. Ферити-шпінелі відносяться до магнітом'яких феритів.

Кристалічна решітка шпінелі, складається з двох підрешіток: одна з магнітних іонів металів, що знаходяться в тетраедричних проміжках (підрешітка А), і друга - з іонів в октаедричних проміжках (підрешітка В). Між магнітними іонами підрешіток А і В існує сильна негативна взаємодія типу АВ, що приводить до антипаралельного розміщення спінів (магнітних моментів) підрешіток.

Взаємодія типу АА і ВВ в порівнянні з АВ незначна. При рівності магнітних моментів підрешіток А і В має місце антиферомагнетизм. Якщо магнітні моменти А і В не рівні між собою, значить існує феромагнетизм [13].

Для дослідження магнітних властивостей використовували секційний соленоїд. З метою зменшення розмагнічуючого фактора величину геометричного симплекса L/d зразка



встановлювали на рівні $L/d \geq 10$. Вимірювання виконували імпульсно-індукційним методом з використанням мілівеберметра. Співвідношення між гранулами визначали коефіцієнтом

$$\alpha = \frac{m_k}{m_k + m_\phi},$$

де m_k - маса феромагнітних кульок, m_ϕ - маса феритових гранул.

Криві намагнічування досліджених ферито-феромагнітних зразків (рис. 1) засвідчують, що при зміні зовнішнього магнітного поля H від 0 до $0,25 \cdot 10^5$ А/м значення величини середньої індукції B_c в об'ємі гранульованих зразків при різних значеннях коефіцієнта α співмірні між собою, за виключенням кривої 8. При $H > 0,75 \cdot 10^5$ А/м спостерігається значне збільшення величини B_c для фільтруючих загрузок з коефіцієнтом $\alpha > 0,75$.

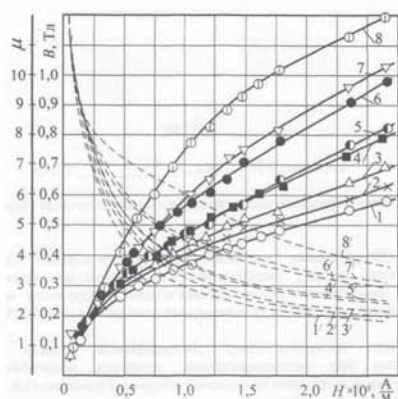


Рис. 1. Криві намагнічування пористих зразків ферито-феромагнітної фільтруючої загрузки: 1 – гранули фериту; 2 – $\alpha=0,176$; 3 – $0,305$; 4 – $0,465$; 5 – $0,625$; 6 – $0,75$; 7 – $0,846$; 8 – феромагнітні кульки з сталі ШХ-15. 1' - 8' - магнітна проникність.

Криві намагнічування $B_c=f(H)$ і магнітної проникності ферито-феромагнітної загрузки після математичної обробки апроксимовані рівняннями виду $B_c=aH^4+bH^3+cH^2+dH$; $\mu=\beta \cdot H^\gamma$. Розраховані коефіцієнти $a, b, c, d, \beta, \gamma$ представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Коефіцієнти рівняння $B_c=f(H)$

№ кривих	a	B	c	D	β	γ
1	$-5,8528 \cdot 10^{-10}$	$3,6415 \cdot 10^{-7}$	$8,0004 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	27,0368	-0,4830
2	$-5,5752 \cdot 10^{-10}$	$3,6187 \cdot 10^{-7}$	$8,3216 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-3}$	31,0100	-0,4932
3	$-4,6131 \cdot 10^{-10}$	$3,1657 \cdot 10^{-7}$	$7,7006 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-3}$	29,9175	-0,4740
4	$-5,0926 \cdot 10^{-10}$	$3,3149 \cdot 10^{-7}$	$7,7503 \cdot 10^{-5}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$	27,8971	-0,4371
5	$-6,5641 \cdot 10^{-10}$	$4,0559 \cdot 10^{-7}$	$8,7549 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	23,5938	-0,4012
6	$-4,9472 \cdot 10^{-10}$	$3,2230 \cdot 10^{-7}$	$7,6785 \cdot 10^{-5}$	$1,06 \cdot 10^{-3}$	22,0414	-0,3502
7	$-4,3075 \cdot 10^{-10}$	$2,7794 \cdot 10^{-7}$	$6,8017 \cdot 10^{-5}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	22,0283	-0,3410
8	$-0,2761 \cdot 10^{-10}$	$0,7194 \cdot 10^{-7}$	$4,1286 \cdot 10^{-5}$	$1,09 \cdot 10^{-3}$	16,7867	-0,2426

Наприклад, для зразка №1 крива намагнічування і крива магнітної проникності описуються рівняннями $B_c = -5,8528 \cdot 10^{-10}H^4 + 3,6415 \cdot 10^{-7}H^3 - 8,0004 \cdot 10^{-5}H^2 + 0,0087 \cdot H$, $\mu=27,0368 \cdot H^{-0,4830}$. Коефіцієнти кореляції для рівнянь, відповідно, складають $R^2=0,995$ і $R^2=0,986$, що засвідчує адекватність рівнянь графічним залежностям. Для інших кривих коефіцієнти кореляції змінюються в межах $R^2=0,996-0,999$. На рис. 2. представлені криві намагнічування, на рис. 3 - залишкової намагніченості B_z для ферито-феромагнітних зразків в залежності від $\alpha = \frac{m_k}{m_k + m_\phi}$.

При зміні значень α від 0,176 до 0,625, тобто при збільшенні в 3,55 рази (рис. 2, криві 1, 2), величина B_c зростає, відповідно, на 14,3 і 23%, а при зміні α від 0,625 до 0,846, тобто в 1,35 рази, величина B_c зростає на 25 і 24%. Для кривої 4 (рис. 2) в тому ж діапазоні зміни α величина B_c зростає, відповідно, на 39,6 і 18%.

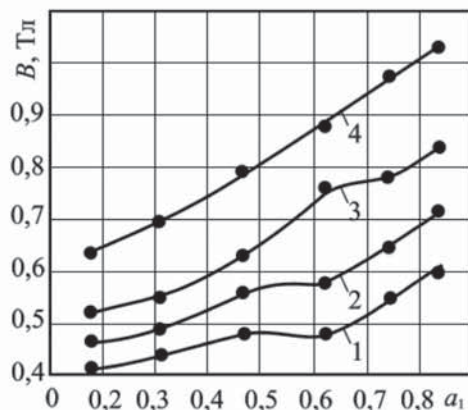


Рис. 2. Криві намагнічування ферито-ферромагнітної фільтруючої загрузки в залежності від α при різних значеннях напруженості магнітного поля (кА/м): 1 – 104,5; 2 – 133; 3 – 163; 4 – 236.

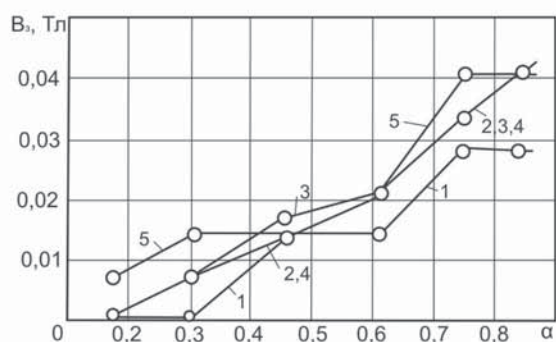


Рис. 3. Залежність величини залишкової намагніченості від коефіцієнта α при різних значеннях напруженості зовнішнього магнітного поля (кА/м): 1 – 74,5; 2 – 104,5; 3 – 133; 4 – 163; 5 – 236.

Результати досліджень засвідчують, що в полях до 100-133 кА/м і при зміні α в межах 0,176 – 0,625 частка гранул феромагнетика в композиційній загрузці не суттєво впливає на величину середньої індукції магнітного поля. В полях $H \geq 133$ кА/м частка гранул феромагнетика більш вагомо впливає на величину середньої індукції. Криві на рис. 2 після математичної обробки даних досліджень описуються рівняннями:

$$1 - B = 0,3678 \cdot 1,7217^{\alpha} \quad (R^2 = 0,946); \quad 2 - B = 0,4097 \cdot 1,8881^{\alpha} \quad (R^2 = 0,965);$$

$$3 - B = 0,4485 \cdot 2,1548^{\alpha} \quad (R^2 = 0,980); \quad 4 - B = 0,5574 \cdot 2,1086^{\alpha} \quad (R^2 = 0,999).$$

Величина залишкової намагніченості B_z в об'ємі ферито-ферромагнітної загрузки залежить від співвідношення мас гранул (коефіцієнта α) і від величини намагнічуючого зовнішнього поля H . Так, при напруженості зовнішнього поля 74,5 кА/м і α до 0,3, величина B_z рівна 0 (рис. 3, крива 1). При зміні α від 0,3 до 0,625 величина залишкової намагніченості B_z становить 0,015 Тл (крива 1). Для кривих 2,3,4,5 (рис. 3) при зміні α від 0,176 до 0,625 величина залишкової намагніченості B_z не перевищує 0,02 Тл.

Авторами досліджувались фільтраційні властивості загрузок: феритової, ферито-ферромагнітної, феромагнітної.

Дослідження виконували за методикою, описаною в [2]. Використовували технологічну воду одного з промислових виробництв. Вихідна концентрація заліза у воді складала в середньому 77 мг/дм³. Залежність коефіцієнта осадження $\psi = f(H)$ зображена на рис.4. Інтенсивне осадження дисперсної фази домішок заліза в об'ємі намагнічених загрузок спостерігається при зміні напруженості H магнітного поля від 0 до 20 кА/м (рис.4). При $H > 30$ кА/м зростання коефіцієнта осадження незначне. Так, при зміні H від 30 до 50 кА/м, для феритової загрузки величина ψ збільшується на 10,9% (рис. 4, крива 1), для ферито-ферромагнітної – на 8%, для кулькової – на 2% (рис. 4, криві 2, 3).

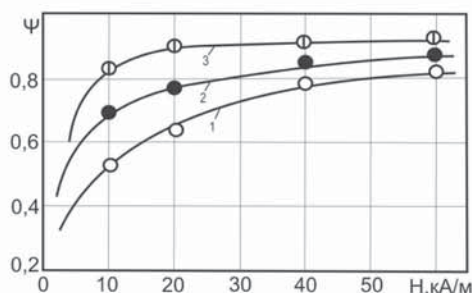


Рис. 4. Залежність коефіцієнта осадження від напруженості магнітного поля (L=0,33м, V=250м/год.) L – висота намагніченої загрузки; V – швидкість середовища, що фільтрується: 1 – гранули фериту; 2 – ферито-феромагнітні гранули; 3 – гранули феромагнетика (кульки ШХ-15).

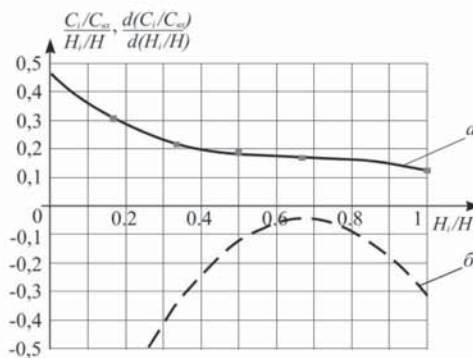


Рис. 5. Залежність відносної (а) і диференціальної (б) величини концентрації заліза від величини відносної напруженості магнітного поля: P=0,6; V=250м/год.; L=0,33м; (P – щільність пакування гранул загрузки).

Зауважимо, що вже при H=30-40 кА/м, коефіцієнт осадження для ферито-феромагнітної загрузки досягає 0,81-0,85. Це значення коефіцієнта ψ достатнє для забезпечення необхідного рівня очищення воднодисперсної системи від феромагнітних домішок.

Обробка результатів досліджень по впливу відносного значення H_i/H на величини $\frac{C_i/C_{ex}}{H_i/H}$ і $\frac{d(C_i/C_{ex})}{d(H_i/H)}$ показує характер зміни концентрації домішок заліза в процесі очищення при зміні напруженості зовнішнього магнітного поля (рис. 5).

Вищевказані величини описуються поліноміальними рівняннями:

$$\frac{C_i/C_{ex}}{H_i/H} = -0,8646 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right)^3 + 1,7540 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right)^2 - 1,2315 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right) + 0,4699, (R^2=0,998)$$

$$\frac{d(C_i/C_{ex})}{d(H_i/H)} = -2,5937 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right)^2 + 3,5079 \cdot \left(\frac{H_i}{H}\right) - 1,2315,$$

де H_i, H - локальне і максимальне значення напруженості поля; C_i, C_{ex} - значення концентрації заліза, локальне і на вході магнітного фільтра.

Найбільша інтенсивність зменшення концентрації домішок заліза приходиться на діапазон зміни H_i/H від 0,17 до 0,5. Видно (рис. 5), що зона максимального осадження домішок приходиться на величину $\frac{d(C_i/C_{ex})}{d(H_i/H)} = -0,0454$, ще відповідає $H_i/H = 0,6762$ і $\frac{C_i/C_{ex}}{H_i/H} = 0,1718$.

При досягненні часу захисної дії загрузки, тобто часу, при якому намагнічена феромагнітна фільтруюча загрузка максимально насичується осадженими домішками, виконують регенерацію без додаткового розмагнічування.

В залежності від виду воднодисперсного середовища, що очищується (малоконцентроване чи багатоконцентроване), та магнітної сприйнятливості домішок (феромагнітні, феромагнітні, парамагнітні) за величиною α підбирається ферито-феромагнітна фільтруюча загрузка з необхідними магнітними, а, відповідно, фільтраційними і регенераційними властивостями.

Висновки

1. Досліджені магнітні властивості композиційної гранульованої загрузки магнітних фільтрів. Показано вплив співвідношення мас гранул ферромагнетика і феримагнетика на величину середньої індукції магнітного поля в об'ємі загрузки.
2. Дослідним шляхом встановлена величина залишкової намагніченості фільтруючої загрузки при різних співвідношеннях мас гранул ферромагнетика і феримагнетика.
3. Показано вплив напруженості зовнішнього магнітного поля на коефіцієнт осадження феродомішок у феромагнітній, феритовій і ферито-феромагнітній фільтруючих загрузках.

МАГНИТО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОЙ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ЗАГРУЗКИ МАГНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ

В. И. Гаращенко¹, И. М. Астрелин², А. В. Гаращенко¹

1 - Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно
e-mail: vigarashchenko@yandex.ru

2 - Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев
e-mail: i.m.astrelin@xtf.kpi.ua

Исследованы магнито-фильтрационные свойства композиционной гранулированной загрузки магнитных фильтров. Показано, что величина средней индукции в объеме загрузки зависит от соотношения масс гранул ферромагнетика и ферримагнетика. Величина остаточной намагнитченности композиционной загрузки в 2-3 раза меньше известной шариковой загрузки. Показано влияние напряженности внешнего магнитного поля на величину коэффициента осаждения.

Ключевые слова: ферромагнитная загрузка, магнитное осаждение, фильтрация.

MAGNETICALLY-FILTRATION PROPERTIES OF COMPOSITION GRANULAR NOZZLES OF MAGNETIC FILTERS

V. Garashchenko¹, I. Astrelin², O. Garashchenko¹

1 – National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne
e-mail: vigarashchenko@yandex.ru

2 – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
e-mail: i.m.astrelin@xtf.kpi.ua

Magnetically-filtration properties of composition granular nozzles of magnetic filters were investigated. It was shown that the size of middle induction in the volume of nozzle depends on correlation of the masses of granules of ferromagnetic and ferrimagnetic. The size of remaining magnetizing of composition nozzle in 2-3 times is less from the known ball-shaped nozzle. The influence of tensivity of the external magnetic field on the size of coefficient of besieging was shown.

Key words: ferromagnetic nozzle, magnetic besieging, filtration.

Список літератури

1. 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.
2. Сандуляк А.В. Электромагнитные фильтр-осадители / А.В. Сандуляк, В.И. Гаращенко. — Львов : „Вища школа”, 1982. — 70 с.

3. *Гаращенко В.І.* Екологічно безпечний метод очистки текучих середовищ в намагнічених полі градієнтних насадках : зб. тез доп. IV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми фундаментальної і прикладної екології, екологічної геології і раціонального природокористування», 19 — 21 берез., 2009 р., Кривий Ріг. — Кривий Ріг, 2009. — С. 125 — 127.
4. *Манькина Н.Н.* Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций / Н. Н. Манькина. — М. : Энергия, 1977. — 256 с.
5. *Беляков И.И.*, Отложение магнетита в экранных котлах ТГМП-114 и опыт их удаления. / И.И. Беляков, Л.Ю. Красякова, А.Ф. Белоконова // Теплоэнергетика. — 1974. — №2. — С. 49 — 53.
6. *Живилова Л.М.* Автоматический контроль водно-химического режима ТЭС / Л.М. Живилова, П.Н. Назаренко, Г.П. Маркин. — М. : Энергия, 1979. — 224 с.
7. *Гаращенко В.І.* Дослідження параметрів процесу магнітного очищення водних суспензій перфорованою пластинчастою насадкою / В.І. Гаращенко, О.П. Лук'ячук, О.В. Гаращенко, О.Ю. Дейнека // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — 2010. — №1(49). — С. 32 — 41.
8. *Гаращенко В.І.* Аміачна вода та рідкий аміак. Магнітне очищення від залізовмісних домішок / В.І. Гаращенко, О.Ю. Дейнека, О.В. Гаращенко, О.П. Лук'ячук // Хімічна промисловість України. — 2010. — №5. — С. 25 — 29.
9. *Сандуляк А.В.* Намагничивание цепочки шаров / А.В. Сандуляк // Техническая электродинамика. — 1984. — №5. — С. 102 — 104.
10. А.С. 1155295 А СССР „МКИ” В03 С1/00. Насадка в устройствах для магнитного разделения / В.И.Гаращенко, А.В.Сандуляк, Р.Д.Бартосевич, В.Д.Довганюк (СССР). — №3640728/22-03 ; заявл. 9.09.1983 ; зарегистрировано в Г.Р.И. СССР 15.01.1985 [Т].
11. А.С. 1721892 А2 СССР „МКИ” В03 С1/00. Насадка в устройствах для магнитного осаждения / В.И.Гаращенко, Е.К.Ким (СССР). — №4855436/03 ; заявл. 26.07.90 ; зарегистрировано в Г.Р.И. СССР 22.11.1992 ДСП.
12. *Гаращенко В.І.* Поліградієнтні феромагнітні матеріали для очистки водно-дисперсних середовищ : зб. тез доп. VII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», 7 — 9 лист., 2008 р., Кременчук. — Кременчук, 2008. — С. 137.
13. *Преображенский А.А.* Магнитные материалы и элементы / А.А. Преображенский, Е.Г. Бишард. — М. : «Высшая школа», 1986. — 351с.