

УДК 532.584:537.84

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВУЗЛА ОЧИЩЕННЯ МАГНІТНИХ ФІЛЬТРІВ

Дахненко В.Л., Бишко М.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Експериментально досліджені параметри компонування робочої зони гранульованих фільтруючих насадок магнітних фільтрів із врахуванням особливостей намагнічування.

Ключові слова: фільтруюча насадка, магнітне поле, напруженість магнітного поля, індукція, магнітна сприйнятливість, габаритний розмір.

Постановка проблеми. Наявність зважених домішок для більшості рідких середовищ є неминучим у результаті зношування й корозії елементів устаткування. Їх наявність приводить до погіршення якості й росту собівартості одиниці продукції, зниження надійності й довговічності устаткування, можуть призводити до забруднення навколишнього середовища. Для підприємств енергетичної металургійної, хімічної галузей характерним видом забруднень є залізовмісткі дисперсні включення. До того ж ці домішки є переважно високодисперсними, а тому важко піддаються вилученню при використанні традиційних очисних методів і пристроїв, коли обладнання передбачає комплекс очисних споруд, у тому числі й із застосуванням реагентів. Особливістю таких домішок різних рідин і газів є те, що вони мають переважно феромагнітні (феримагнітні, антиферомагнітні) властивості, тобто здатні до магнітного осадження. Ефективним способом вилучення є застосування магнітних очисних пристроїв, робота яких заснована на захопленні магнітосприйнятливих часток при впливі неоднорідного магнітного поля на потік. Більше того, магнітні фільтри, особливо в сполученні з іншими очисними пристроями, дозволяють також видаляти парамагнітні й діамагнітні. Включення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність проблеми засвідчують публікації результатів досліджень. Автори, в роботах [1-4] значну увагу приділяють питанню впливу основних технологічних параметрів на ефективність вилучення домішок, таких як довжина зони фільтрування (гранульованої феромагнітної насадки), швидкості фільтрування [1-3, 5], напруженості намагнічуючого поля, пасивних факторів процесу, таких як визначення доли магнітосприйнятливої фракції домішок магнітних властивостей частинок [1, 8].

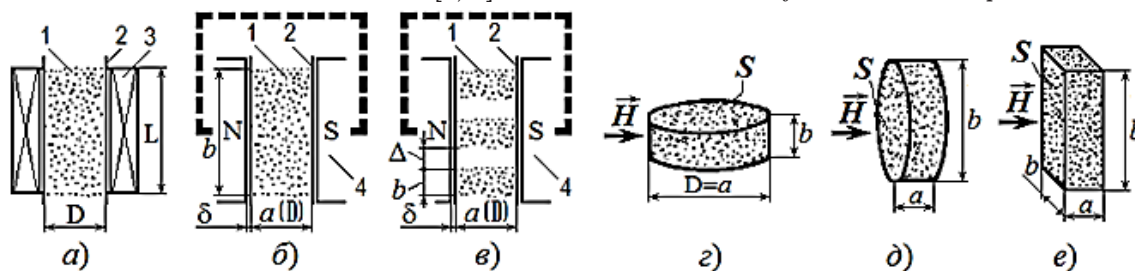


Рис. 1.

Варіанти намагнічування насадок: розташування насадки в соленоїді (а), з боковим розташуванням магніту (б, в) і варіанти орієнтації насадок циліндричної (г, д) і призматичної (е) форми по відношенню до напрямку намагнічування: 1 – фільтруюча насадка, 2 – корпус, 3 – соленоїд, 4 – полюса системи намагнічування.

Важливе місце займають дослідження сорбційних характеристик насадок, в основі яких є магнітні властивості гранул, та їх взаємодія із середовищем, що фільтрується [1, 10, 11].

Запропонована і підтверджена основна залежність магнітофільтраційного способу очищення, яка базується на моделі поглинаючого екрану [1, 12], котра уточнюється для конкретних середовищ [6].

Значне місце зайняли дослідження формування зон захоплення в просторі пор насадки на підставі поканальної моделі намагнічування квазісуцільного середовища [1, 6, 14], що розкриває фізичну сутність процесу захоплення частинок і дає можливість вирішити питання нестационарних процесів, що проходять при вилученні частинок.

Але для впровадження технології на реальному об'єкті, як виявилось, необхідно враховувати ще й схему компонування елементів пристрою очищення, у першу чергу це співполучення феромагнітної фільтруючої насадки, її габаритних параметрів і способу намагнічування.

Постановка задачі і її вирішення. Метою роботи є експериментальне дослідження вузла очищення магнітного, що безпосередньо впливає на ефективність процесу вилучення домішкових включень. Для проведення серії експериментів для визначення рівня намагнічування фільтруючої насадки для різних умов намагнічування зі сторони зовнішньої магнітної системи.

Основним робочим органом магнітних фільтрів, призначених для очищення рідин і газів від продуктів корозії й зменшення зношування хімічного й енергетичного устаткування, є фільтруюча насадка. Її сорбційна функція залежить від магнітних властивостей гранул насадки, щільності їх упакування, а також (що дуже важливо й чому звичайно не приділяють належ-

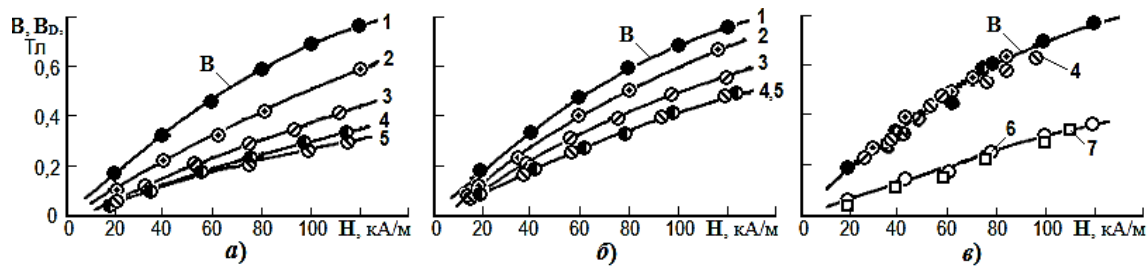


Рис. 2.

Криві намагнічування насадки як квазисуцільного матеріалу (лінія 1, індукція B) різних зразків насадок (лінії 2 – 7, індукція B_0): циліндричної форми поперек осі, $\delta/a=0,91$ (а); $\delta/a=0$ (б); намагнічуванні насадок призматичної (лінії 2, 3, 5, 7) і циліндричної форм уздовж осі (лінія 6) $\delta/a=0$ для 2, 3, 5, $\delta/a=1,1$ для 6, 7 (в); відносний габарит зразків (a/b): 2 – 4,4; 3 – 2,0; 4 – 1,0; 5 – 0,5; 6 – 0,44; 7 – 0,5.

ну увагу) геометрії вузла очищення у фільтрі. Через це проявляється фактор розмагнічування, що знижує її потенційні можливості.

На рис. 1, а зображена схема соленоїдного короткого фільтра, коли відношення довжини соленоїда L до його діаметра D незначне. Наприклад, при $L/D=1$, за рахунок підвищеного фактора розмагнічування, середнє значення індукції в насадці сягає 30-40% потенційного B . Фактор розмагнічування проявляється й у фільтрах з поперечним намагнічуванням насадки (рис. 1,б), особливо коли між полюсами системи намагнічування, і насадкою конструктивно передбачений немагнітний зазор δ .

Геометрія насадки, характеризуючись параметрами a (або D) і b (або L), при зміні на 90° напрямку намагнічування насадки і $a \ll b$ наочно свідчить

про несприятливий вплив фактора розмагнічування. У соленоїдних пристроях (рис. 1, а) фактор розмагнічування, насадки значною мірою знижується при $L/D \geq 4$, середня індукція в насадці сягає 90% потенційного значення. У фільтрах з поперечним намагнічуванням видовженої насадки (рис. 1, б) цей фактор знижується за рахунок зменшення зазору між сердечником і насадкою [1] виконанням відповідних торцевих і бічних заглиблень у сердечниках, застосуванням феромагнітних вставок у місцях контакту сердечника з корпусом, введенням сердечника безпосередньо в насадку. У таких випадках насадка стає як би злитюю з іншими елементами магнітопроводу, утворюючи добре замкнутий магнітний ланцюг. Однак це не завжди можливо здійснити на практиці.

На рис. 2, а, б (лінії 2-5) наведені криві намагнічування насадки (рис. 1, б), із кульок діаметром $d=1$ мм, розташованих у корпусі діаметром $a=D=22$ мм ($a > d$ [1]), при двох значеннях ширини зазору: $d=20$ мм ($\delta/a=0,91$) і $\delta=0$ (для насадки циліндричної форми зазор $\delta=0$ формальний, тому що в цьому випадку зазор змінної ширини був – між площиною полюса й циліндричною поверхнею насадки). На рис. 2 (лінії 1) показана потенційна крива намагнічування цієї насадки, що не багато поступається насадці з кульками підвищеного діаметра [1] з-за різної глибини поверхневого міцного шару, котрий погіршує магнітні властивості куль. Видно, що всі криві поперечного намагнічування насадки при різних відношеннях a/b (лінії 2-5 на рис. 2, а, б, індукція B_D) знаходяться нижче кривої потенційно можливого рівня намагнічування (лінія 1 на рис. 2, індукція B), але при зменшенні зазору δ наближаються до неї.

Обробка цих й інших даних, у тому числі отриманих з використанням корпусу діаметром $a=36$ мм, у відносних координатах (рис. 3) для діапазону напруженості зовнішнього магнітного поля, що реально використовується $H=30 \dots 100$ кА/м вказує на невикористання можливостей насадки залежно від її відносного габариту a/b і відносного зазору δ/a : це зниження може бути істотним – в 2-3 рази. На рис. 3 (штрихова лінія 1 [1]) для порівняння наведені відповідні дані для варіанту повздовжнього намагнічування насадки в полі соленоїда згідно рис. 1. Вплив a/b

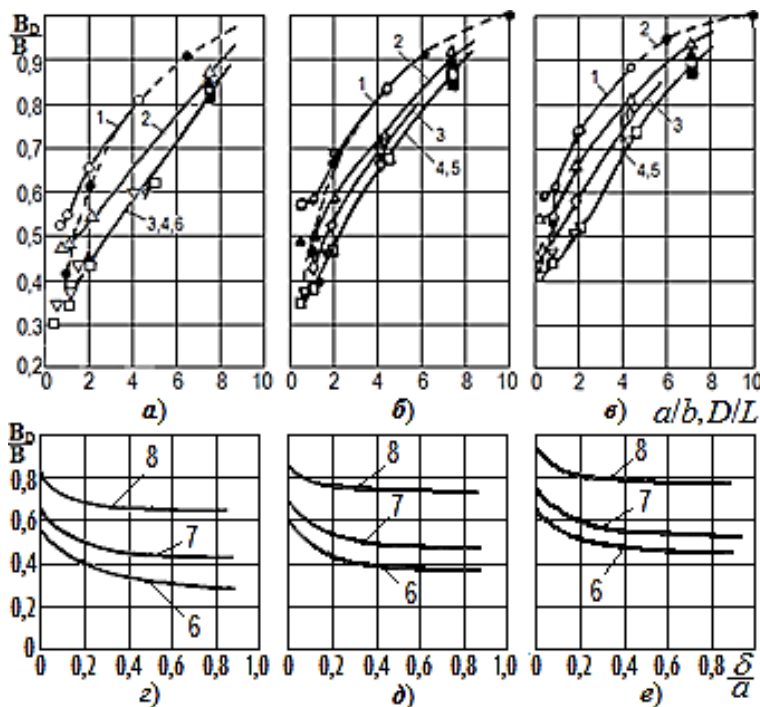


Рис. 3.

Вплив відносних значень габариту насадки циліндричної форми (а, б, в) і зазору між бічною поверхнею цієї насадки й полюсом (г, д, е) на відносний рівень намагнічування насадки δ/a : 1 – 0; 2 – 0,09; 3 – 0,18; 4 – 0,45; 5 – 0,91; a/b : 6 – 1,0; 7 – 2,0; 8 – 5,0; а, г – $H=30$ кА/м, б, в – $H=50-60$ кА/м; в, е – $H=100$ кА/м; затушовані (крім круглих) – зразки призматичної форми; затушовані круглі – дані [1] по намагнічуванню циліндричної насадки уздовж довжини при різному L/D .

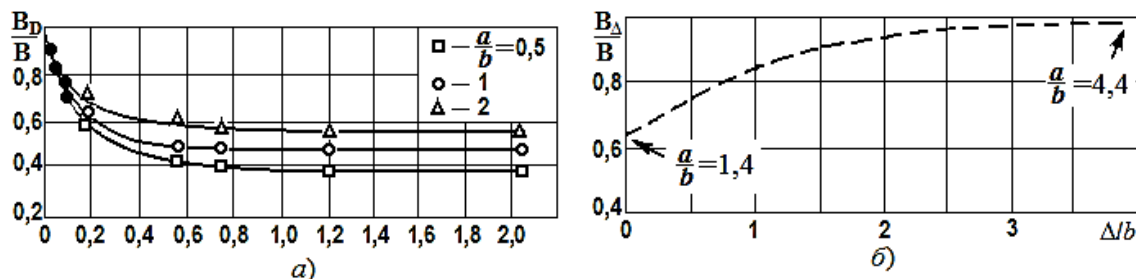


Рис. 4.

Залежність впливу відносного зазору між поверхнею насадки і кожного з полюсів на відносну індукцію в насадці при напруженості намагнічуючого поля $H=60$ кА/м (а), а також від відносного зазору між суміжними шарами у трьохшаровому варіанті компоновки (б): а) \bullet – зразок насадки циліндричної форми (товщина й діаметр по 60 мм, тобто $a/b=1$), площини обернені до полюсів, насадка складається з куль діаметром 6,7 мм; інше – зразок насадки призматичної форми товщиною й шириною по 12 мм, насадка складається з куль діаметром 1 мм; б) – початок залежності відповідає $a/b=1,4$ (шари з'єднані між собою), а її кінець – $a/b=4,4$ (шари роз'єднані), $H=30-100$ кА/м, $\delta/a \geq 0,45$.

і δ/a позначається не тільки для випадку контакту насадки циліндричної форми й плоского полюса (рис. 1, б, з), але й для насадки із контактом плоскої поверхні (рис. 1, д, е). Так, у цьому випадку збільшення δ/a веде до суттєвого зниження індукції (рис. 4, а) аж до відносних значень $B_D/B=0,4-0,5$, причому ці значення характерні й при намагнічуванні, наприклад, короткої плоскої насадки в довгому соленоїді [1], тобто в установці намагнічування із віддаленими полюсами.

Слід відзначити, що для насадок, що мають плоскі приполюсні поверхні, рівень намагнічування насадок поперек цих площин при однаковій площі виявляється практично однаковим (рис. 2, в, лінії 6, 7) незалежно від форми бічної поверхні циліндричної (див рис. 1, д) або призматичної (рис. 1, е), – тобто, визначальним параметром тут виступає площа S (або \sqrt{S} [2]); деяке відхилення може спостерігатися лише при помітній видовженості зразка. Разом з тим у всіх випадках при намагнічуванні таких зразків у дотик з магнітними полюсами ($\delta/a=0$) їхні криві намагнічування відповідають граничній кривій намагнічування насадки (рис. 2, в, лінії 1, 2, 3, 5) у насадці циліндричної форми (рис. 2. б) при $\delta/a=0$ зазор відсутній формально).

Характерно, що до насадки як до квазісуцільного зразка можуть бути застосовані класичні залежності про поперечне намагнічування ферромагнітного тіла, наприклад, циліндричної форми з коефіцієнтом розмагнічування $N=1/2$. Так, можна використати формулу зв'язку магнітної сприйнятливості тіла й матеріалу: $\kappa_T = \frac{\kappa}{1+N\kappa}$,

де $\kappa_T = \kappa_D = \mu_D - 1$ і $\kappa = \mu - 1$ – магнітні сприйнятливості тіла (в даному випадку квазісуцільної насадки, котра намагнічується вздовж її діаметра $a=D$) і квазісуцільного матеріалу: μ_D і μ – відповідно їхній магнітний проникності.

Далі шляхом перерахування з використанням зв'язків $B_D = \mu_0 \mu_D H$ і $B = \mu_0 \mu H$ ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна постійна) і даних B (рис. 2. лінія 1) $B_D/B \rightarrow 0,4$ що підтверджується прямими даними (рис. 3, лінії 3-5) при порівняно малих значеннях a/b і більших δ/a .

Таким чином, при поперечному намагнічуванні гранульованої насадки циліндричної (і призматичної) форми при реальній наявності зазору між поверхнею насадки й площиною полюсів досить високий рівень намагнічування, що наближається до граничного, досягається тільки при співвідношенні ширини й товщини шару $a/b \geq 6$ (рис. 3). Крім того, дані для випадку дотикання насадки й полюсів (рис. 3, а, б, в, суцільна лінія 1) у діапазоні $a/b=3-6$ добре узгоджуються з даними по намагнічуванню в соленоїді такого ж за формою зразку уздовж осі (рис. 3, а, б, в, штрихові лінії 1) [1]. Як видно, таке узгодження справедливо вже при a/b , або $L/D \geq 3$. Для короткого циліндричного зразка, що намагнічується уздовж осі (рис. 3, а, б, в, штрихові лінії 1), при $L/D < 3$ значення B_D/B стають помітно меншими відповідних значень B_D/B для такого ж короткого циліндричного зразка з аналогічними значеннями a/b , що намагнічується поперек осі (рис. 3, суцільні лінії 1), внаслідок того, що в першому випадку зразок усе більше приймає форму пластинки, а в другому – стрижня малого діаметра. Дійсно, при досить малих L/D , тобто як для тонкої пластинки ($N=1$), відповідно до (1) і залежностей для B_D і B : приблизно $B_D/B \rightarrow 0,23-0,29$ (залежно від H), на що вказує хід експериментальних штрихових ліній 1 на рис. 3, а, б, в.

Висновки. 1. Умова $a/b \geq 6$ може виступати базовим при конструюванні фільтрів з поперечним намагнічуванням насадки й наявності між полюсом і насадкою зазору, а також і для фільтрів соленоїдного типу. 2. Для дотримання технологічної довжини насадки доцільно використовувати пошарове її розташування (рис. 1, в). 3. Як показують вимірювання індукції B_D в одному із трьох шарів з регульованими між ними зазорами Δ (рис. 4, б), прийнятний відносний зазор між шарами, коли ці шари ведуть себе практично незалежно один від одного, становить $\Delta/b \geq 2$ (рис. 1, б). Це означає, що відстань між шарами повинне бути в 2 рази більше власної товщини кожного шару. 4. Полюса зовнішньої системи намагнічування повинні чергуватися відповідно розташуванню фільтраційних шарів.

Список літератури:

1. Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле. – Львов: Высшая школа. 1984. 167 с.
2. Gillet G. Adaptation des matrices en separation magnetique haul gradient et performance d'un filtre // Mines et carrieres. 1992. N 4. P. 87–94.
3. Гейзер А.А. Электромагнитные фильтры для очистки промышленных газов от пыли / А.А. Гейзер А.А. // Экология и ресурсосбережение. 1998. № 4 с. 47-51.
4. Яцков Н.В., Сандуляк А.В., Дахненко В.Л. Применение магнито-фильтрационного метода для повышения качества аммиака при производстве азотной кислоты. / Н.В. Яцков // Химическая промышленность, 1991, № 7, с. 30-32.
5. Гапенко П.С., Иригина А.О., Миронова В.А., Чижевская М.В. Магнитная обработка железосодержащих вод / П.С. Гапенко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Выпуск № 10 / том 1 / 2014
6. Мурадова, Р. А. Вопросы электромагнитного фильтрования технологических жидкостей на основе осаждения железосодержащих частиц в высокоградиентном магнитном поле / Р. А. Мурадова // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: 2006. – № 3. – С. 85 – 91.
7. Сандуляк А.А. Совершенствование режимов и систем магнитной очистки технологических сред для предупреждения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации энергетического оборудования. Автореферат. дис. ...канд. техн. наук. – Москва, 2005.
8. Корхов О.Ю. Разработка конструкций и режимов работы магнитных фильтров для очистки конденсатов электростанций с целью повышения их эффективности. Автореферат. дис. ...канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1988.
9. Евдокимов А.А. Чарыков В.И. Исследование распределения индукции магнитного поля в межполюсном пространстве сепаратора УМС-4М. / А.А. Евдокимов // Аграрный вестник Урала Выпуск № 4 (134) – 2015.
10. Гаращенко В.І. Магнітосорбційні властивості гранульованих фільтруючих насадок. /В.І.Гаращенко // Вісник НУВГП. м.Рівне, 2008, № 3, с. 184-191
11. Гаращенко В.І., Гаращенко О.В., Дахненко В.Л., Мадяр В.В. Дослідження магнітних та антикорозійних властивостей нових ферромагнітних фільтруючих загрузок. / В.І. Гаращенко // III Міжнародна науково-практична конференція «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» 28-30 жовтня 2015 р. Київ.
12. Сандуляк А.А. Аналитическое описание коэффициента размагничивания разнопористых сердцевин цепочек гранул фильтр-матрицы магнитного сепаратора. / А.А. Сандуляк // Вестник МГСУ. 2013. № 9. С. 62-69.
13. Сандуляк А.А., Ершова В.А., Ершов Д.В., Сандуляк А.В. О свойствах «коротких» гранулированных магнетиков с неупорядоченными цепочками гранул: поле между гранулами. / А.А. Сандуляк, В.А. Ершова, Д.В. Ершов, А.В. Сандуляк // Физика твердого тела, 2010, Т. 52, вып. 10. С. 1967-1974.
14. Ершова В.А. Исследование характеристик рабочих зон магнитных очистных аппаратов как средств предупреждения чрезвычайных ситуаций в условиях коррозии и износа оборудования. Автореферат. дис. ...канд. техн. наук. – Москва, 2007.
15. Кифер И.И. Испытания ферромагнитных материалов – 3-е изд. – М.: Энергия, 1969. – 360 с.

Дахненко В.Л., Бишко Н.С.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛА ОЧИСТКИ МАГНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Аннотация

Экспериментально исследованы параметры компоновки рабочей зоны гранулированных фильтрующих насадок магнитных фильтров с учетом особенностей намагничивания.

Ключевые слова: фильтрующая насадка, магнитное поле, напряженность магнитного поля, индукция, магнитная восприимчивость, габаритный размер.

Dakhnenko V.L., Byshko M.S.

National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute»

EXPERIMENTAL RESEARCH OF KNOT OF CLEANING OF MAGNETIC FILTERS

Summary

Experimentally investigated parameters of arrangement of working zone of granular filter fillings of magnetic filters are taking into account of features of magnetizing.

Keywords: filter fillings, magnetic field, tension of magnetic-field, induction, magnetic receptivity, overall size.