

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

СТЕПАНЮК АНДРІЙ РОМАНОВИЧ

УДК 663.63.067

ПРОЦЕС МАГНІТНОГО ФІЛЬТРУВАННЯ
ЧАСТОК В ЗЕРНИСТОМУ ШАРІ

Спеціальність 05.17.08-Процеси та апарати хімічних виробництв. ✓

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-1994



18 29.57

Дисертація є рукописом

Робота виконана на кафедрі машин та апаратів
Київського політехнічного інституту.

Науковий керівник - доктор технічних наук
Павліцев Марат Іванович
Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Статуха Геннадій Олексійович
- кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
Яцков Микола Васильович

Провідна організація-завод "Ленінська кузня", м. Київ

Захист відбудеться " 16 " 05 1994р. о 14⁰⁰ годів
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д. 068.14.06 в
Київському політехнічному інституті за адресою: 252056, м. Київ-5
проспект Перемоги, 37, 212 ауд., 21 корп.

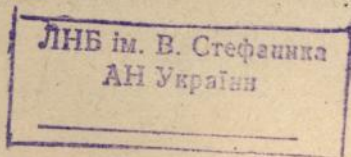
З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Київського
політехнічного інституту.

Автореферат розісланий " 14 " 04 1994р.

вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Яцков

Круглицька В. С.



АНОТАЦІЯ

В роботі розроблена структура процесу магнітного фільтрування .

Побудована математична модель процесу магнітного фільтрування високодисперсних часток немагнітним зернистим шаром.

Знайдено кількість контактів в шарі та координаційне число для довільного закону розподілу розмірів зерен. Отримано закон розподілу з оптимальною кількістю контактів в шарі та координаційним числом.

Розроблена методика, алгоритми та створена програма на мові "Бейсік-80" для розрахунку магнітного фільтра.

Проведена ідентифікація параметрів та встановлена адекватність моделі магнітного фільтрування.

Розроблені спосіб та конструкція магнітного фільтра, що захищено авторським свідоцтвом СРСР, котре переводиться в патент України.

Виготовлені та випробувані установки продуктивністю 100м³/г та 1000 м³/г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Високі темпи розвитку виробництва супроводжуються забрудненням навколишнього середовища шкідливими речовинами-відходами виробництва. Це негативно впливає на біологічні умови існування людини. Захист навколишнього середовища є актуальною науково-технічною та соціальною проблемою. Серед різних промислових газових викидів одним з найбільш шкідливих, а також і найбільш складних з точки зору їх очистки є викиди з розмірами часток до 1мкм (тобто однодоменні), наприклад, у виробництві магнітної плівки, магнітополімерів, зварювальне та ливарне виробництва. Але до цього часу процеси очистки газових викидів від високодисперсних часток вивчені недостатньо повно.

Одним з перспективних методів очистки газових викидів від високодисперсних часток є метод магнітного фільтрування з використанням магнітних властивостей цих часток.

Мета роботи:

1. В рамках дисперсного підходу провести системний аналіз структури процесів магнітного осадження високодисперсних часток в зернистому фільтрі.

2. Побудувати математичну модель магнітного фільтрування.

3. Провести ідентифікацію математичної моделі процесу магнітного фільтрування.

4. Створити методику та алгоритм розрахунку магнітного фільтра.

5. Сконструювати ефективні фільтри для вловлювання високодисперсних твердих часток.

Наукова новизна роботи. Побудована структура процесу осадження в магнітному фільтрі яка складається з чотирьох рівнів:

1) осадження в зоні захвату (зона дотику двох сусідніх зерен насадки);

2) чарунка (кілька зон захвату);

3) поперечний полідисперсний шар зерен насадки;

4) апарат.

Створена також структура процесу зростання гідравлічного опору, що складається з двох рівнів:

1) поперечний полідисперсний шар зерен насадки;

2) апарат (совокупність шарів).

Побудована математична модель процесу магнітного фільтрування високодисперсних часток фільтром з немагнітного зернистого матеріалу.

Знайдено кількість контактів в шарі зернистого матеріалу та його координаційне число в залежності від закону розподілу розмірів зерен. Отримано закон розподілу розмірів часток з оптимальним координаційним числом та кількістю контактів між зернами насадки.

Створено методику розрахунку магнітного фільтру.

Теоретично знайдено та експериментально підтверджено ступінь очищення та гідравлічний опір магнітного фільтра для різних законів розподілу розмірів часток при різних швидкостях газу.

Розроблені спосіб та конструкція магнітного фільтра для очищення газових викидів від високодисперсних твердих часток.

Практичне значення. Отримані рівняння магнітного фільтрування і результати експериментальних досліджень процесу дозволили розробити і впровадити магнітний фільтр, призначений для очищення газових викидів від високодисперсних ферромагнітних твердих часток.

Складено алгоритм та програму розрахунку магнітного фільтра.

Реалізація роботи. Результати роботи стали складовою частиною комплексу заходів по розробці магнітного фільтра по очищенню викидів зваривального виробництва від високодисперсних ферромагнітних твердих часток і впровадженні його на Київському заводі "Ленінська кузня", а також створені однопоставного магнітного фільтра, випробуваного в І.Ц. "Екологія в зваривальному виробництві" при госуніверситеті м.Одеси.

Апробація роботи: Основні результати роботи доповідались і обговорювались на конференціях "Проблеми якості атмосфери та охорони повітряного басейну" (м. Київ, 1993р.) та "захист повітряного середовища від забруднення промисловими викидами та покращення санітарно-гігієнічних умов праці на заводах УНК "Укрсільковмаш" (м.Одеса, 1993р.)

Публікації. Зміст дисертаційної роботи викладений в 9 друкованих працях, в їх числі 2 авторських свідоцтва СРСР.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота викладена на 120 сторінках і складається з вступу чотирьох розділів, висновків та додатку, вклячас 18 малюнків та 21 таблицю. Список літератури складається з 110 найменувань.

З М І С Т Р О Б О Т И

Перший розділ присвячений аналізу літературних джерел про процеси очистки газових викидів від високодисперсних часток. Розглянуто механізми осадження і властивості цих часток. Сформульовані мета і задачі дослідження.

В другому розділі для опису процесу фільтрування було запропоновано використати системно-структурний підхід та побудована структура процесу, яка складається з осадження в зоні захвату, в чарунці (наборі зон захвату), в шарі (в поперечній совокупності чарунків), в апараті (декілька шарів). Створена структура зміни гідравлічного опору в поперечному шарі та апараті (декілька шарів).

Доведено, що очищення в зернистому немагнітному шарі проходить за рахунок магнітних сил, що генеруються самими ферромагнітними високодисперсними частками. Вклад в загальний ступінь очистки механізмів дифузії, інерції, зачеплення та електромагнітних сил менше одного відсотка.

Першочергово осадження високодисперсних часток-магнітів проходить за рахунок різних механізмів (зачеплення, дифузії, інерції та ін.) і носить випадковий характер. В подальшому осівні частки притягують і осаджують інші частки-магніти з газового потоку.

Очевидно, переважним місцем осадження часток-магнітів є приконтактні зони сусідніх зерен насадки (зони захвату), тому, що в них найменша швидкість газового потоку і тут створюються найбільші градієнти напруги магнітного поля. Останнє є результатом високого ступеня неоднорідності магнітного поля осівних часток-магнітів і на 3-4 порядки перевищують градієнти напруги магнітного поля плоскої поверхні.

Магнітні сили пропорційні $hg \operatorname{grad} h$, тому навіть при малих напругах h магнітного поля, які, очевидно, мають в центрі осівних часток-магнітів, великі значення його градієнта $\operatorname{grad} h$, можуть створювати значні магнітні сили.

Враховуючи велику кількість зон захвату в фільтруючому шарі та їх випадкову орієнтацію в цілому загальна намагніченість осівного шару часток-магнітів дорівнює фоновій.

Для викладу рівняння ступеня очистки розглянемо процес осадження. Показником ступеня очистки ψ відносно зниження концентрації:

$$\psi = \frac{C_0 - C}{C_0} \quad (1)$$

В диференційному вигляді ступінь очистки, враховуючи коефіцієнт очистки, має вигляд:

$$\frac{dC}{C} = -\alpha dl, \quad \frac{C}{C_0} = \exp(-\alpha L) \quad (2)$$

$$\psi = 1 - \exp(-\alpha L) \quad (3)$$

Для знаходження невідомого коефіцієнта осадження (2) розглянемо вірогідність в осадження часток зonom захвату через коефіцієнт осадження α та її переріз σ ; для 1-тої частинки

$$b = \frac{\Delta C_i}{C_{i-1}} = \frac{C_i - C_{i-1}}{C_i} \quad (4)$$

Враховуючи залежність (3) концентрації в 1-тій шарунці.

$$\begin{aligned} C_i &= C_0 \exp(-\alpha l_i), \\ C_{i-1} &= C_0 \exp(-\alpha l_{i-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

Підставляючи формули (5) в залежність (4):

$$b = 1 - \exp(-\alpha l) \cong \alpha l \cong \alpha d \quad (6)$$

Вірогідність осадження через переріз шарунки має вигляд, враховуючи залежність (6)

$$b = \frac{2G}{d^2}, \quad \alpha = \frac{2G}{d^3}, \quad (7)$$

враховуючи, що максимальний вклад в процес осадження вносить пондеромоторна сила, для процесу осадження повинна виконуватись умова:

$$F_M \geq F_C \quad (8)$$

Де залежність для пондеромоторної сили має вигляд:

$$F_M = \mu \times W_V \times h \times g \times \rho \times h \quad (9)$$

Гідродинамічна сила описується залежністю

$$F_C = 55 \frac{\rho}{\mu} \delta \mu V \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (10)$$

У зв'язку з затрудненням в знаходженні характеристик зони осадження (напруги магнітного поля, його градієнту та магнітної проникності χ), виражено їх через магнітний фактор K , і знайдено його дослідним шляхом:

$$K = \alpha h g e a d h \quad (11)$$

Підставляючи залежності (9), (10), (11) в формулу (8), отримуємо відносний радіус зони захвату:

$$\left(\frac{r}{R}\right)^2 = \frac{4 \mu_0}{165} \cdot \frac{K \delta^2 \gamma}{\gamma V_{\varphi 0}} \quad (12)$$

Відомо, що ефективний переріз зони захвату має вигляд:

$$\sigma = \frac{2}{3} R^2 \left(\frac{r}{1,3R}\right)^3 \quad (13)$$

Вирішивши разом залежності (12) та (13) маємо вираз для ефективного перерізу зони захвату у розвернутому вигляді:

$$\sigma = \left(\frac{1 \cdot 10^{-3} \mu_0 \cdot K \delta^2 \gamma R^{1/2}}{\gamma V_{\varphi 0}} \right)^{3/2} \quad (14)$$

Комбінуючи рівняння (7) та (14), отримуємо вираз для знаходження коефіцієнту осадження в зоні захвату:

$$\alpha = \left(\frac{4,34 \cdot 10^{-3} \mu_0 \cdot K \delta^2 \gamma}{\gamma V_{\varphi 0} R^{1/2}} \right) \quad (15)$$

Ступінь очистки першого рівня, враховуючи залежність (15), буде мати вигляд:

$$\Psi_3 = 1 - \exp\left(-\left(\frac{4,34 \cdot 10^{-3} \rho_0 k \delta^2 \gamma}{\eta V_{\varphi} R^{2/3}}\right)^{1/2} \ell_3\right) \quad (16)$$

Для другого рівня ступінь очистки має вигляд

$$\Psi_{\gamma} = 1 - \exp\left(-\left(\frac{4,34 \cdot 10^{-3} \rho_0 k \delta^2 \gamma N_k}{\eta V_{\varphi} R^{2/3}}\right)^{3/2} \ell_{\gamma}\right) \quad (17)$$

На третьому рівні, поперечному шарі полідисперсних зерен насадки, ступінь очистки

$$\Psi'_c = 1 - \exp\left(-\left(\frac{4,34 \cdot 10^{-3} \rho_0 k \delta^2 \gamma N_k}{\eta V_{\varphi} R^{2/3}}\right)^{1/2} \frac{1}{2} \bar{R}\right) \quad (18)$$

Ступінь очистки для всього апарата (четвертий рівень)

$$\Psi_F = 1 - \exp\left(-\left(\frac{4,34 \cdot 10^{-3} \rho_0 k \delta^2 \gamma N_k}{\eta V_{\varphi} R^{2/3}}\right)^{1/2} \frac{1}{4}\right) \quad (19)$$

Гідравлічний опір зернистого шару розглядався для двох рівнів. Перший рівень - поперечний шар полідисперсних зерен насадки.

$$\Delta P_c = 2 K_c \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\rho V_{\varphi}^2}{2}, \quad (20)$$

$$K_c = m \varepsilon^n \quad (21)$$

найдено експериментально

Коефіцієнти m та n в рівнянні (21), на другому рівні гідравлічний опір всього фільтра

$$\Delta P_F = \sum_{c=1}^L \Delta P_c \quad (22)$$

В рівнянні для знаходження ступеня очистки входить величина N_k -координаційне число, яке було знайдено теоретично для довільного закону розподілу часток по розмірах.

Кількість контактів в шарі річного піску описується рівнянням

$$N = 2,03 z_m^3 z^2 W_1 \quad (23)$$

Збільшити ступінь очистки можна за рахунок збільшення координаційного числа.

Знайдено закон розподілу часток по розмірам з оптимальною кількістю контактів в шарі та координаційним числом.

$$N = 4,64 z_m^3 z^2 W_1 \quad (24)$$

Отримана найменша робоча швидкість газу в магнітному фільтрі. Вона повинна бути більшою, чим швидкість пневмотранспорту.

$$V_{\varphi} > V_{n,c} \quad (25)$$

В третьому розділі приведено схема та описання експериментальної установки, викладено методику досліджень.

Дано рекомендації для вибору геометричних розмірів та форми каналу. Зроблено висновки, що магнітні фільтри можна конструювати з каналів довільної форми, розмірами від 18 до 35 мм.

Експериментально доведено, що магнітна індукція магнітного шару дорівнює фоновій як до регенерації так і після неї, що підтвердило наше уявлення про те, що осіvní на зернах насадки феромагнітні частки створюють структуру, магнітні поля якої мають випадкову орієнтацію.

В результаті випробувань знайдено величину магнітного фактора $K = 8,18 \cdot 10^{-3} A^2/M^3$, і постійні в рівнянні (21) знаходження гідравлічного опору: $m = 48$, $n = 0,22$. Досліди проводились для різних швидкостей газу координаційних чисел насадки.

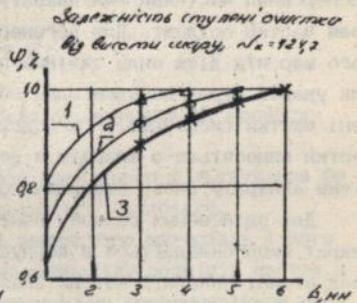
Складено методику, алгоритми та програму на нові "Бейсік-80" для розрахунку магнітного фільтра. Ціллю розрахунку магнітного фільтра є знаходження по відомим величинам НДВ і НДК необхідної ступені очистки, висоти

фільтруючого шару Δ , гідравлічного опору та часу роботи між регенераціями.

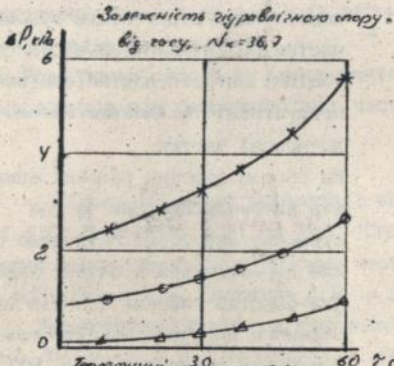
Проведено ідентифікацію параметрів та перевірку адекватності математичної моделі. Результати розрахунків та дослідних даних по знаходженні залежності ступеня очищення від висоти шару насадки для різних координативних чисел приведено на мал. 1 та 2 залежності гідравлічного опору ΔP від часу ζ роботи фільтру на мал. 3 та 4.



Теоретичні результати
1. $V = 1,0$ м/с; 2. $V = 1,5$ м/с; 3. $V = 2,0$ м/с
Дослідні результати
 Δ - $V = 1,0$ м/с; \circ - $V = 1,5$ м/с; \times - $V = 2,0$ м/с.
мал. 1



Теоретичні результати
1. $V = 1,0$ м/с; 2. $V = 1,5$ м/с; 3. $V = 2,0$ м/с.
Дослідні результати
 Δ - $V = 1,0$ м/с; \circ - $V = 1,5$ м/с; \times - $V = 2,0$ м/с.
мал. 2



Теоретичні результати
1. $V = 1,0$ м/с; 2. $V = 1,5$ м/с; 3. $V = 2,0$ м/с
Дослідні результати
 Δ - $V = 1,0$ м/с; \circ - $V = 1,5$ м/с; \times - $V = 2,0$ м/с.
мал. 3

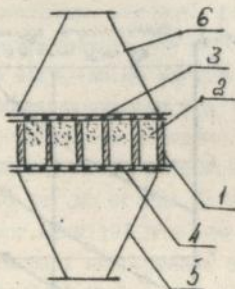


Теоретичні результати
1. $V = 1,0$ м/с; 2. $V = 1,5$ м/с; 3. $V = 2,0$ м/с.
Дослідні результати
 Δ - $V = 1,0$ м/с; \circ - $V = 1,5$ м/с; \times - $V = 2,0$ м/с.
мал. 4

В четвертому розділі розроблено спосіб і конструкція магнітного фільтра. Це немагнітна полідисперсна зерниста насадка, яка розташована в каналах апарату та асродинамічно прижата до верхньої сітки. За рахунок створених попередньо осівшими на зернах, насадці ферромагнітними високодисперсними частками зон захвату з великими градієнтами напруги магнітного поля частки осідають. Для регенерації виключають подачу газу, в результаті чого шар під дією сили тяжіння падає на нижню сітку. Під час багаторазових ударів зерен насадки одне об одне з їх поверхні відколюються збільшені частки (коагуляти). При подальшій подачі газу відколюючися збільшені частки виносяться з апарату, а зерниста насадка прижмається до верхньої сітки апарату, знову створюючи фільтруючий шар.

Для здійснення способу очистки було запропоновано використовувати апарат, який складається з корпусу 1 (мал. 5) в якому є циліндричні або квадратичні канали, в котрих знаходиться зерниста насадка 2. Для того, щоб насадка не виносилася з каналів потоком газу вони закриті сіткою 4. Рівномірний розподіл газу під час роботи здійснюється корпусами 5 та 6.

Магнітний фільтр



Мал. 5

Розроблена конструкція магнітного фільтра має такі переваги: простота конструкції, відсутність рухомих частин, низькі капітальні та експлуатаційні витрати, надійність, високу продуктивність, вловлює високодисперсні частки.

На спосіб очистки газових викидів від високодисперсних часток отримано авторське свідоцтво СРСР, яке переводиться в патент України. Для очистки газових викидів зваривального виробництва були створені установи продуктивністю 100 м³/г та 1000 м³/г

Установка продуктивності 100 м/г випробувана в Інженерному центрі "Екологія в зварювальному виробництві" при Одеському Державному Університеті.

Установка продуктивності 1000 м/г була створена, випробована та впроваджена на Київському заводі "Ленінська кузня". Екологічний ефект від впровадження 132218 крб.

В И С Н О В К И

1. Розроблено системно-структурний підхід до моделювання процесу магнітного фільтрування.

2. Побудована математична модель процесу магнітного фільтрування феромагнітних часток шаром з немагнітного зернистого матеріалу.

3. Знайдено кількість контактів в шарі зернистого матеріалу і його координаційне число в залежності від закону розподілу розмірів часток, а також закон розподілу розмірів часток з оптимальним координаційним числом та максимальним числом контактів між зернами насадки.

4. Розроблена методика, алгоритми та програма на мові "Бейсік-80" для розрахунку магнітного фільтра. Теоретично знайдено та експериментально підтверджено ступінь очистки та гідравлічний опір магнітного фільтра для різних законів розподілу розмірів зерен при різних швидкостях газу в магнітному фільтрі.

5. Розроблено спосіб та конструкція магнітного фільтра для очистки газових викидів від феромагнітних часток.

Основний зміст дисертації викладений у наступних роботах:

1. А.С. № 1611396 В, 01. Д 35/06. Способ очистки газа от аэрозоля, содержащего высокодисперсные твердые частицы с магнитной компонентой /Павлицев М.И., Ериов А.Л., Степанюк А.Р. и др. - Оpubл. в Б.И. № 45-90./

2. Исследование процесса улавливания мелкодисперсных сварочных аэрозолей /Павлицев М.И., Степанюк А.Р., Ериов А.Л., Степура В.А. -Деп. в Укр. НИИ НТН № 1947-УК. 89, 23. 08. 89г. /

3. Степанюк А.Р., Павлицев М.И., Ериов А.Л., Степура В.А., Феценко В.З. Разработка способа и оборудования для очистки выбросов сварочного

производства /Тезисы докладов республиканской региональной конференции "Региональные экологические проблемы и пути их решения" 1990г. Черкассы./

4. А.С. Н 1776425 В 01 Д 36/06.Способ очистки газа от аэрозоля, содержащего высокодисперсные твердые частицы с магнитной компонентой /Степанюк А.Р., Павлицев М.Н., Возник Т.А., Ершов А.Л., Степура В.А., Феценко В.З., Нестеров А.П. -опубл. в Б.Н. Н 43-92.

5. Павлицев М.Н., Степанюк А.Р., Степура В.А. Разработка эффективных и экономичных способов и оборудования очистки вредных выбросов сварочного производства. /Тезисы научно-технической конференции "Проблемы промышленной экологии". г. Черновцы 1990г./

6. Павлицев М.Н., Степанюк А.А. Очистка газовых выбросов сварочного производства от аэрозоля. /Тезисы докладов семинара "Проблемы качества атмосферы и охраны воздушного бассейна" г. Киев 1993г./

7. Теоретическое определение числа контактов между зернами насадки. Степанюк А.Р. -Деп. в ГНТБ Украины Н 841-Ук. 93 от 26.04.93г.

8. Теоретическое определение числа контактов между зернами насадки. Степанюк А.Р. -Деп. в ГНТБ Украины Н 842-Ук 93 от 26.04.93г.

9. Павлицев М.Н., Степанюк А.Р., Феценко В.З., Бебко В.В. Магнитная очистка газовых выбросов от твердых аэрозолей /Тезисы докладов семинара "Защита воздушной среды от загрязнения промышленными выбросами и улучшение санитарно-гигиенических условий труда на заводе УНК "Укрсельхозмаш" г. Одесса 1993г.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- R - радіус зерна насадки, м; d - діаметр зерна насадки, м;
 H - висота зернистого шару, м; l - висота, м;
 δ - еквівалентний діаметр частки, м; r - радіус зони захвату, м;
 δ - ефективний переріз шарунки, м; ω - об'єм, м;
 τ - час, с; V - швидкість газу, м/с; C - концентрація, кг/м;
 F_n - поштоворотна сила, Н; F_c - гідравлічна сила, Н;
 μ - динамічна в'язкість, Н с/м; μ_0 - магнітна постійна, Гн/м;
 H - напруга магнітного поля, А/м; K - магнітний фактор, А/м;
 λ - коефіцієнт осадження; β - вірогідність осадження;
 N_c - число контактів; α - магнітна сприйнятливість;
 ϵ - пористість; N - число часток.

Підп. до друку 01.04.94 . Формат 60×84^{1/16}. Папір друк. № 3 .
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 6,70 . Умов. фарб.-відбиток 2,0 .
Облік.-вид. арк. 2,86 . Тираж 100 . Зам. № 4-1567

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

AB 29.576