

8 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОГО Й МАГНІТНОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ

8.1 Суть електричного методу очищення газових викидів

Одним з досконалих методів очищення газів від завислих частинок пилу й туману є електричне очищення. Воно ґрунтується на використанні в електричних фільтрах дії на завислі частинки електричних сил.

Основними елементами електричного фільтра є коронувальний 1 та осаджувальний 2 електроди, які утворюють неоднорідне електричне поле 3 (рис. 8.1).

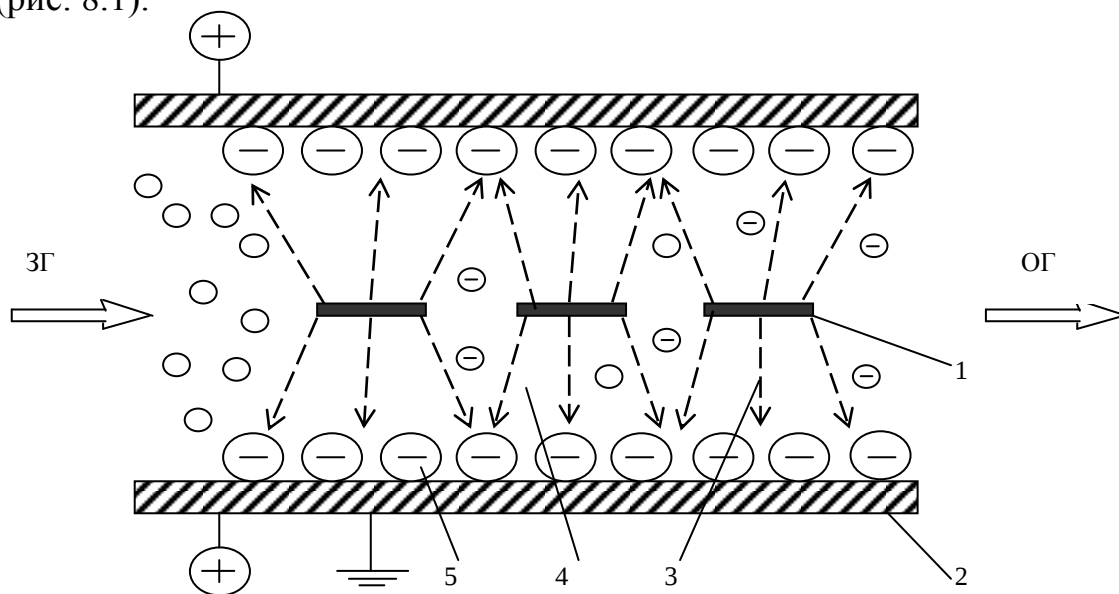


Рисунок 8.1 – Принцип роботи електрофільтра:

1 - коронувальний електрод; 2 – осаджувальний електрод;
3 – електричне поле; 4 – заряджена зона; 5 – осівний шар пилу

Коронувальні електроди 1 ізольовані від землі, а осаджувальні електроди 2 заземлені. До коронувальних електродів підводиться випрямлений струм негативної полярності напругою 50...80 кВ, а осаджувальні електроди підключені до позитивного полюсу. Коронувальні електроди виконуються у вигляді тонкого дроту, а осаджувальні електроди виготовляють у вигляді циліндричних або шестигранних труб та профільованих пластин.

Очищення газів в електричних фільтрах відбувається таким чином. Забруднені гази пропускають через неоднорідне електричне поле 3, що утворюється між коронувальним 1 та осаджувальним 2 електродом. Внаслідок дії електричного поля вільні електрони і позитивно заряджені молекули починають переміщуватися в напрямку силових ліній поля. Напрямок руху кожного заряду залежить від його знаку, а швидкість руху – від напруженості електричного поля. Чим вища напруженість електричного поля між коронувальним і осаджувальним електродами, тим більше прис-

корення отримують іони та електрони. При достатньо високій швидкості іони та електрони, коли стикаються з нейтральними газовими молекулами, іонізують їх, тобто вибивають з них частину зовнішніх електронів. Електрони, що створюються внаслідок іонізації, також іонізують молекули газу, тобто відбувається процес ударної іонізації. Найбільш інтенсивно ударна іонізація відбувається біля поверхні коронувального електрода, до якого підведена напруга. При віддаленні на відстань X від коронувального електрода напруженість електричного поля зменшується до величини, яку можна визначити за формулою, В/м:

$$E_x = U / 2,3 \lg (R_2/R_1) , \quad (8.1)$$

де U – напруга, що прикладена до коронувальних електродів, В;

R_1 та R_2 - радіуси коронувального і осаджувального електродів, м.

Розряд зі змінною напруженістю називається коронним, а напруга, при якій виникає коронний розряд, - критичною. Зміну сили струму і напруги при коронному розряді наведено на рис. 8.2.

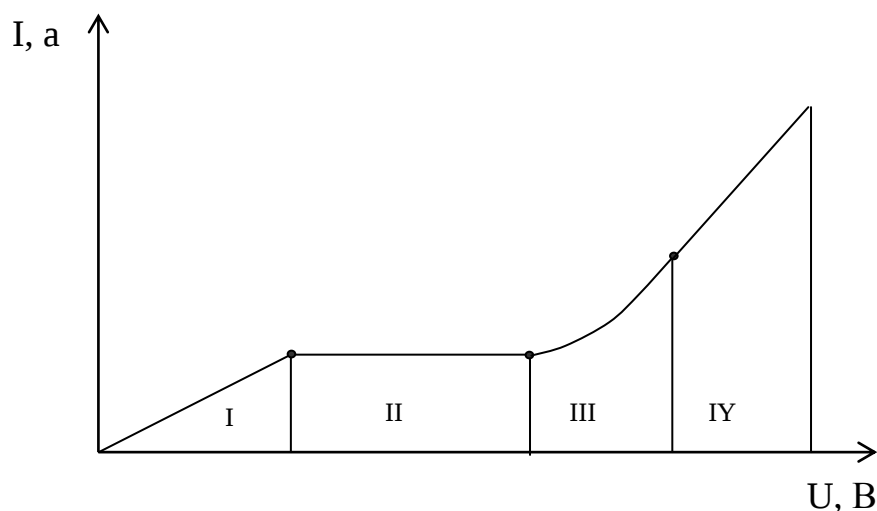


Рисунок 8.2 – Зміна сили струму із збільшенням напруги в електрофільтрі

Відповідно до рис. 8.2 зміні сили струму із збільшенням напруги в електрофільтрі відповідає чотири періоди: I- початкова іонізація; II - насичення; III - коронування; IV - дуговий електричний розряд.

Зовнішнім виявом коронного розряду є помітне в темноті слабе світіння навколо коронувального електрода блакитно-фіолетового кольору. Критичну напруженість електричного поля, при якій виникає корона, для повітря обчислюють за формулою, В/м:

$$E_0 = 3,04 / \beta + 0,0311 \sqrt{\beta / R_1} \cdot 10^{-6} , \quad (8.2)$$

де R_1 – радіус коронувального електрода, м;

β – відношення густини повітря в робочих та стандартних умовах:

$$\beta = (P_{\text{бар}} \pm P) \cdot 293 / 101,3 \cdot 10^3 (273 + t), \quad (8.3)$$

$P_{\text{бар}}$ – барометричний тиск, кПа;

P – розрідження або надмірний тиск, кПа;

t – температура газів, °C.

Електрична міцність газового проміжку може бути порушена іскровим або дуговим електричним розрядом при значному значенні напруги, що перевищує критичне значення. Зовнішнім виявом дугового розряду є збільшення споживання струму (рис. 8.2). На інтенсивність коронування суттєво впливає також хімічний склад газу. Наявність діоксиду вуглецю, водяної пари та сірчаного ангідриду збільшує робочу зони коронного розряду. При нормальних умовах напруженість електричного поля складає для діоксиду вуглецю 28,2, для повітря 35,5 та для азоту 38 кВ/см.

Процес електричного вловлювання частинок газових викидів в електрофільтрі характеризується трьома стадіями: зарядження завислих частинок, рух заряджених частинок до електродів та осаджування частинок на електродах. Зарядження завислих в газі частинок, що знаходяться в електричному полі корони, відбувається внаслідок абсорбції іонів з їх поверхнею. Частинки розміром більше 1 мкм заряджаються, в основному, іонами, що рухаються під дією сил електричного поля. Частинки менше 0,2 мкм заряджаються іонами, що беруть участь в дифузійному процесі за рахунок теплового руху газових молекул. Для частинок з діаметром 0,2...0,5 мкм ефективними є обидва механізми їх зарядки.

При збільшенні заряду частинки відштовхувальна сила між нею та однойменно зарядженими іонами також збільшується до тих пір, поки заряд на частинці не досягне максимального значення. Максимальний заряд частинок діаметром більше 1 мкм, при якому припиняється процес зарядження, обчислюється за формулою, Кл

$$q_{\text{max}} = \pi d^2 \epsilon_0 E_z \rho_e = n e, \quad (8.4)$$

де d – діаметр частинки, мкм;

e – значення заряду електрона, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

n – число елементарних зарядів на частинці;

ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

E_z – напруженість електричного поля коронного розряду в зоні знаходження частинок, В/м;

ρ_e – показник діелектричних властивостей частинок, для провідних

$\rho_e = 3$, а для діелектричних $\rho_e = 1,2$.

Швидкість зарядження частинок в звичайних умовах коронного розряду достатньо велика. Так близько за 0,1 с частинка набуває 90% максимального заряду.

В практичних умовах електричного очищення газів при температурі 150...400°C для частинок з діаметром менше 0,2 мкм максимальна величина заряду обчислюється за формулою, Кл

$$q_{\max} = 10^8 e d . \quad (8.5)$$

Електростатична сила, що діє на заряджену частинку в електронному полі, дорівнює, Н,

$$F_E = q E , \quad (8.6)$$

де E – напруженість електронного поля, В.

Швидкість осадження заряджених частинок в частині застосування закону Стокса розраховується за формулою

$$\omega_{oc} = \frac{q E C_k}{3 \pi \mu_r d} , \quad (8.7)$$

де C_k – поправка Кенінгена–Міллікена,

μ_r - динамічна в'язкість газу, Па·с;

q - максимальний заряд частинок, що його обчислюють за формулами (8.4–8.5) в залежності від вихідних умов.

Аерозоль, в якому всі частинки мають однаковий заряд, рівномірно розсіюється під дією свого власного загального заряду. Швидкість розсіювання зарядженої аерозольної хмаринки характеризується рівнянням

$$1/C_1 - 1/C_2 = 4 q^2 C_k t / 3 d \mu_r , \quad (8.8)$$

де C_1 – початкова концентрація частинок, см⁻³;

C_2 – концентрація частинок в момент часу t , см⁻³.

В будь-який момент в процесі електростатичного розсіювання концентрація аерозолю у всіх точках однакова. В зв'язку з цим рух середовища не впливає на розсіювання і рівняння (8.8) справедливо для аерозолів, що знаходяться в ламінарному та турбулентному режимі течії.

В випадку, коли до складу аерозолів входять позитивно й негативно заряджені частинки з різною концентрацією, то частинки, яких меншість, переміщуються до центра аерозольної хмаринки, де їх концентрація поступово збільшується. Густина заряду в цьому центральному ядрі починає зменшуватися до тих пір, поки воно не стане практично нейтральним. Одночасно розсіювання зовнішньої частини аерозолів, до складу яких входять частинки з однойменним зарядом, продовжується.

Внаслідок одночасного осаджування багатьох частинок на поверхні осаджувального електрода на ньому утворюється шар пилу, що перезаряджається. Тобто шар пилу отримує протилежний знак, що однаковий із знаком заряду осаджувального електрода. Час перезарядження визначається опором пилу, що міститься в газових викидах.

В залежності від питомого опору пилу, що осідає на електроді елект-

рофільтра, він ділиться на три групи.

Перша група – питомий електричний опір пилу до 10^2 Ом·м. Час розрядження шару такого пилу надто малий. Частинки при торканні поверхні електрода миттєво перезаряджаються. В результаті вони можуть відштовхуватися від електрода та знову потрапити в потік газів, що виходить з електрофільтра.

Друга група – питомий електричний опір пилу $10^2 \dots 10^8$ Ом·м. Пил газових викидів добре осаджується на електродах та легко видаляється з них при струшуванні.

Третя група – питомий електричний опір пилу перевищує 10^8 Ом·м. Цей пил незадовільно вловлюється на електрофільтрах. Причиною цього є повільне розрядження частинок на електродах, що суттєво перешкоджає осадженню наступних частинок. Пил третьої групи незадовільно струшується з електродів, що ускладнює їх ефективну експлуатацію.

8.2 Технологічне обладнання для електричного очищення газових викидів

Очищення газових викидів від забруднень електричним методом реалізується за допомогою електрофільтрів, класифікація яких наведена на рис. 8.3.

Агрегатами живлення електрофільтрів є регулятор напруги, підвищувальний трансформатор та високовольтний випрямляч. Ефективність роботи електрофільтра визначається робочою напругою, яка повинна наближатися до напруги пробою. Оптимальний режим роботи електрофільтрів забезпечується регулюванням напруги на електродах, яка повинна підтримуватися на максимально високому рівні. Напруга пробою в електрофільтрі залежить від кількості очищуваних газів, їх температури, вологості, густини, концентрації частинок в газах, наявності шару пилу на електродах тощо. Напруга пробою коливається в значних межах, особливо в сухих електрофільтрах.

Ступінь очищення в електрофільтрі визначається способом і режимом регенерації електродів. В сухих електрофільтрах для видалення пилу з осаджувальних та коронувальних електродів застосовується пружинно-кулачкова, ударно-молоткова, магнітно-імпульсна й вібраційна система струшування. Для видалення осаджених твердих частинок в мокрих електрофільтрах використовують безперервне або періодичне промивання електродів з подачею на них необхідної кількості промивної рідини, що змиває осаджений пил.

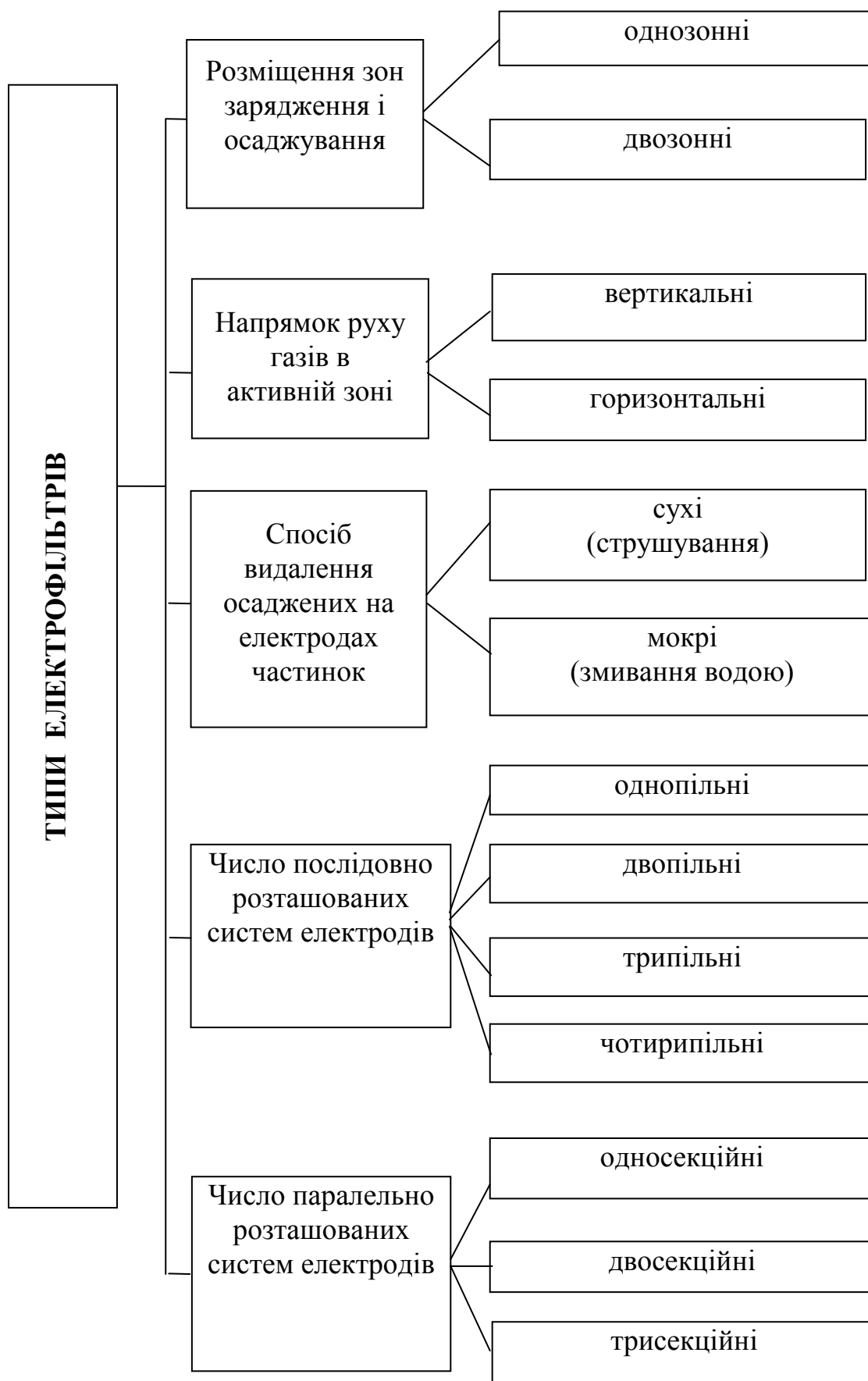


Рисунок 8.3 – Класифікація електрофільтрів

8.3 Суть магнітного методу очищення газових викидів

Магнітне очищення газових викидів ґрунтується на властивості магнітосприйнятливих частинок, що мають залізовмісні домішки парів і конденсатів, піддаватися магнітному осадженню та попутно виконувати “транспортну” функцію, захоплюючи інші частинки домішок та іони. Тому метод магнітного очищення газових викидів є більш універсальним порівняно з його прямим призначенням. Доцільно попередньо штучно вводити в потік газів, що очищаються, магнітосприйнятливі частинки з наступним сумісним осадженням їх з іншими домішками.

Газ, що очищається, пропускається через фільтрувальну (гранульовану) намагнічену насадку, що безпосередньо контактує з потоком газу чи рідини (рис. 8.4).

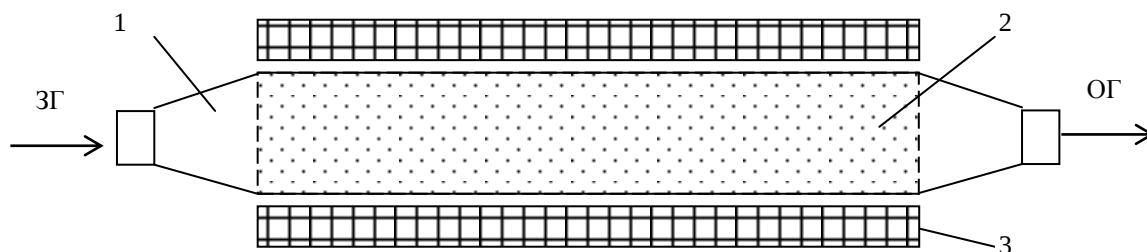


Рисунок 8.4 – Соленоїдний фільтр осаджувач:

1 – корпус; 2 – фільтрувальна насадка; 3 – соленоїд для створення магнітного поля

Перевагою гранульованих насадок є те, що при дії на них порівняно невеликим намагнічуючим полем в їх порах, переважно поблизу точок контакту гранул, формується поле високої напруженості з високим ступенем неоднорідності. Сформоване поле набагато перевищує напруженість намагнічуючого поля. Під дією цього поля частинки піддаються ефективній силовій осаджувальній дії. Внаслідок цього досягається тонке очищення газів від магнітосприйнятливих фракцій домішок частинок за умови наявності у гранул антикорозійних властивостей. При цьому магнітофільтраційне очищення відбувається при порівняно великих робочих швидкостях руху газових викидів, що очищаються. Швидкості в 3...10 разів більші порівняно з традиційним осадженням частинок, де проявляються тільки механічні й хімічні сили захоплення. Це дозволяє виготовляти установки для магнітного очищення компактними та високопродуктивними. Гранульовані насадки зберігають свої магнітні властивості при температурах до 800° С, що дозволяє використовувати їх для очищення газових викидів, які знаходяться в різних температурних режимах.

Якщо тверда частинки не має природних магнітосприйнятливих влас-

тивостей, то механізм її переміщення в магнітному полі такий: при русі в газовому потоці з певною швидкістю частинка одержує електричний заряд. При потраплянні частинки в магнітне поле певної напруженості на неї буде діяти сила, що перпендикулярна до напрямку магнітного поля та до напрямку руху частинки. В результаті дії цих сил частинка зміщується зі швидкістю, яка може бути визначена за законом Стокса

$$\omega = \frac{C_k q H V_r m_a m_b}{3 \pi \mu_r d}, \quad (8.9)$$

де H – напруженість магнітного поля, А/м;

V_r - швидкість руху газового потоку, м/с;

m_a - абсолютна магнітна проникність вакууму, $1,257 \cdot 10^{-6}$ Г/м;

m_b - відносна магнітна проникність.

Якщо малі магнітні частинки потрапляють в магнітне поле, то вони орієнтуються таким чином, що їх протилежні кінці направлені до різних полюсів магніту. Сумарна сила, що діє на частинку в магнітному полі, рівна алгебраїчній сумі сил притягування та відштовхування.

8.4 Технологічне обладнання для магнітного очищення газових викидів

Очищення газових викидів від забруднень магнітним методом реалізується за допомогою технологічного обладнання, класифікація якого в залежності від особливостей намагнічувальних систем та їх компоновки з зоною осадження домішок наведена на рис. 8.5.



Рисунок 8.5 – Класифікація магнітних фільтрів

В електромагнітних фільтрах з осердя-насадкою робоча насадка розміщена безпосередньо в порожнині намагнічувальних катушок. Насадка в цих конструкціях є своєрідним осердя намагнічувальної котушки.

Багатополюсні фільтри з "відділеними" електромагнітами мають зна-

чну кількість малогабаритних котушок із стальними осердями-магнітопро-водами, що розташовані за межами насадки і направлені своїми полюсами на насадки. В цих фільтрах осердя разом з насадкою складають замкнутий магнітний контур.

Фільтри з “відділеними” постійними магнітами мають пакети постійних магнітів. Ці пакети є намагнічувальними системами з можливістю управління ними для періодичного переривання магнітної дії на фільтрувальну насадку. Пакети постійних магнітів не є осаджувальними елементами. В цих апаратах відсутнє або різко обмежене використання обмотувального проводу, споживання електроенергії, полегшується їх застосування у вибухонебезпечних умовах, коли необхідне спеціальне електричне оснащення.

В електромагнітних фільтрах з осердям-насадкою й багатополюсних фільтрах з “відділеними” електромагнітами переривання магнітної дії здійснюється відключенням струму живлення.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Охарактеризуйте електричний метод очищення газових викидів.
2. Як змінюється сила струму із збільшенням напруги в електрофільтрі?
3. Поясніть від чого залежить максимальний заряд частинок, при якому припиняється процес зарядки.
4. Від чого залежить швидкість осадження заряджених частинок в електрофільтрі?
5. Охарактеризуйте групи пилу, що осідає на електроді, в залежності від його питомого опору.
6. Наведіть класифікацію електрофільтрів.
7. За рахунок чого збільшується ступінь очищення в електрофільтрах?
8. Охарактеризуйте магнітне очищення газових викидів.
9. Від яких факторів залежить швидкість руху частинок в магнітному полі?
10. Розкрийте особливості існуючих магнітних фільтрів.