

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ



Ю.О. ГІЧОВ

ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

Частина II

Дніпропетровськ НМетАУ 2015

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

Ю.О. ГІЧОВ

ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ
Частина II

Затверджено на засіданні Вченої ради академії
в якості конспекту лекцій. Протокол №

Дніпропетровськ НМетАУ 2015

УДК 628.511+669.015.7.074

Гічов Ю.О. Очищення газів. Частина II: Конспект лекцій. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 46 с.

Розглянуто апарати для очищення газів фільтрацією та апарати для очищення газів в електричному полі (електрофільтри). Наведено методики та приклади розрахунків тканинного фільтра і електрофільтра. Розглянуто основні напрямки очищення промислових газів від оксидів вуглецю, сірки та азоту.

Призначений для студентів напрямку 6.050601 – теплоенергетика.

Іл. 17. Табл. 6. Бібліогр.: 8 найм.

Відповідальний за випуск М.В. Губинський, д-р техн. наук, проф.

Рецензенти: В.О. Габринець, д-р техн. наук, проф. (ДНУЗТ)

О.О. Єрємін, д-р техн. наук, проф. (НМетАУ)

© Національна металургійна академія
України, 2015

© Гічов Ю.О., 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АПАРАТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ ФІЛЬТРАЦІЄЮ.....	5
1.1 Волокнисті фільтри.....	6
1.2 Зернисті фільтри.....	7
1.3 Тканинні фільтри.....	12
1.4 Розрахунок тканинного рукавного фільтра.....	17
1.4.1 Методика розрахунку.....	17
1.4.2 Приклади розрахунку.....	21
2 АПАРАТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ (ЕЛЕКТРОФІЛЬТРИ).....	23
2.1 Класифікація електрофільтрів.....	25
2.2 Конструктивні елементи електрофільтрів.....	26
2.3 Сухі електрофільтри.....	29
2.4 Мокрі електрофільтри.....	30
2.5 Розрахунок сухого пластинчастого електрофільтра.....	31
2.5.1 Методика розрахунку електрофільтра.....	31
2.5.2 Приклад розрахунку.....	33
3 ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗІВ ВІД ШКІДЛИВИХ ГАЗОПОДІБНИХ ВИКИДІВ.....	39
3.1 Очищення газів від оксидів вуглецю.....	40
3.2 Очищення газів від оксидів сірки.....	41
3.3 Очищення газів від оксидів азоту.....	42
ЛІТЕРАТУРА.....	43
ДОДАТОК.....	44

ВСТУП

У першій частині конспекту лекцій з дисципліни "Очищення газів" наведені загальні відомості про очищення промислових газів: гранично припустимі концентрації, механізми уловлювання пилу, класифікація пилоуловлювачів і оцінка ефективності їх роботи. У першій частині конспекту розглянуті також два класи апаратів для очищення промислових газів від пилу: апарати сухого механічного очищення та апарати мокрого очищення. Наведено методики та приклади розрахунків батарейного циклона і скрубера Вентурі.

Прагнення до підвищення ефективності очищення промислових газів від пилу призвело до розробки ще двох класів пилоуловлювачів: апаратів для очищення газів фільтрацією та апаратів для очищення газів в електричному полі (електрофільтри). У зв'язку з цим у другій частині конспекту розглянуті пилоуловлювачі, що відносяться до цих класів. Наведено методики та приклади розрахунків тканинного фільтра і електрофільтра. У другій частині конспекту розглянуті також основні напрямки очищення промислових газів від оксидів вуглецю, сірки та азоту.

У цілому дані, що наведені в конспекті лекцій, дозволяють в залежності від конкретних умов зробити вибір пилоуловлювачів для очищення промислових газів. Відомості, що наведені в конспекті, дозволяють також виконати необхідні розрахунки при виборі апаратів для очищення та здійснити вибір апаратів, що серійно випускаються.

Матеріали, що представлені в конспекті, тісно взаємопов'язані з рядом інших спеціальних дисциплін, які читаються для студентів теплоенергетиків: "Котельні установки", "Джерела теплопостачання промислових підприємств", "Теплові електростанції", "Вторинні енергоресурси" та інші. Читання цих дисциплін спільно з дисципліною "Очищення газів" дозволяє оцінити технічні рішення, які приймаються у теплоенергетиці не тільки з точки зору енергетичної ефективності, але і з точки зору впливу на екологію.

Конспект лекцій відповідає робочій програмі з дисципліни "Очищення газів" для спеціальності 6.050601 – теплоенергетика і може бути використаний студентами при виконанні курсових і дипломних проектів, а також випускних робіт бакалаврів і магістрів.

1 АПАРАТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ ФІЛЬТРАЦІЄЮ

Очищення газів при русі їх через пористі середовища називається *фільтрацією*. Відповідно, апарати для очищення газів від пилу шляхом фільтрації називаються *фільтрами*.

Осідання пилу при фільтрації здійснюється внаслідок торкання, зачеплення, просіювання, а також дії гравітації, інерції і електростатичних сил. Залежно від характеристики частинок пилу, виду фільтруючого пористого середовища і швидкості фільтрації можуть переважати ті чи інші сили, які осаджують пил.

У початковий період, коли в пористому фільтруючому середовищі відсутній пил, частинки пилу акумулюються в порах, а потім нашаровуються на поверхню пористих перегородок, що створює додатковий, нарівні з пористою перегородкою, фільтр для очищення газів. По мірі очищення опір пористих перегородок зростає і фільтри вимагають регенерації або заміни фільтруючого матеріалу.

Велика різноманітність конструкцій фільтрів умовно можна розділити в залежності від призначення на три класи:

- *Фільтри тонкого очищення* – призначені для високоефективного (понад 99%) очищення газу від субмікронного пилу при низькій вхідній концентрації пилу (до 5 мг/м^3) і швидкості фільтрації до $0,1 \text{ м/с}$.

Такі фільтри застосовують для ультратонкого очищення повітря та інших газів в різних технологіях. Фільтруючий матеріал зазвичай не підлягає регенерації.

- *Повітряні фільтри* – застосовуються для очищення атмосферного повітря в системах припливної вентиляції та кондиціонування повітря. Вхідна концентрація пилу складає до 50 мг/м^3 , швидкість фільтрації - до $2,5\text{--}3,0 \text{ м/с}$.

- *Промислові фільтри* – застосовують для очищення промислових газів з різною початковою концентрацією пилу.

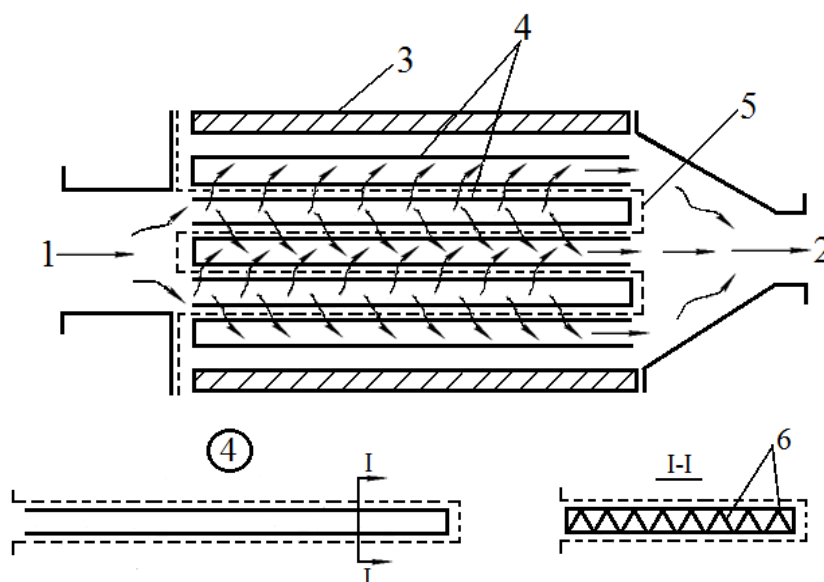
У числі фільтрів промислового застосування слід виділити *волокнисті, зернисті і тканинні фільтри*.

1.1 Волокнисті фільтри

Волокнисті фільтри застосовують для очищення газів і повітря при проведенні технологічних процесів або при скиданні відпрацьованих технологічних газів в атмосферу. Початкова концентрація частинок пилу становить до 5 мг/м^3 , розміри частинок - до 5–10 мкм.

Для фільтрів застосовують штучні волокна товщиною 0,1–100 мкм з полімерних смол (полістирол, перхлорвініл, поліарілат та інші). Швидкість фільтрації складає $0,01 \div 0,10 \text{ м/с}$.

В якості прикладу розглянемо конструкцію рамного волокнистого фільтра (див. рис. 1.1).



1 і 2 – вхід і вихід очищуваного газу; 3 – корпус фільтра; 4 – П-образні рамки;
5 – фільтруючий матеріал; 6 – каркас.

Рисунок 1.1 – Схема рамного волокнистого фільтра

Фільтруючий матеріал укладається між П-образними рамками у вигляді стрічки. П-образні рамки при зборці пакета чергуються відкритими і закритими сторонами в протилежних напрямках. Для утримування фільтруючої стрічки всередині рамки розміщується каркас.

Фільтри призначені для роботи без регенерації до трьох років з наступною заміною фільтруючого матеріалу або фільтруючого пакету в цілому.

1.2 Зернисті фільтри

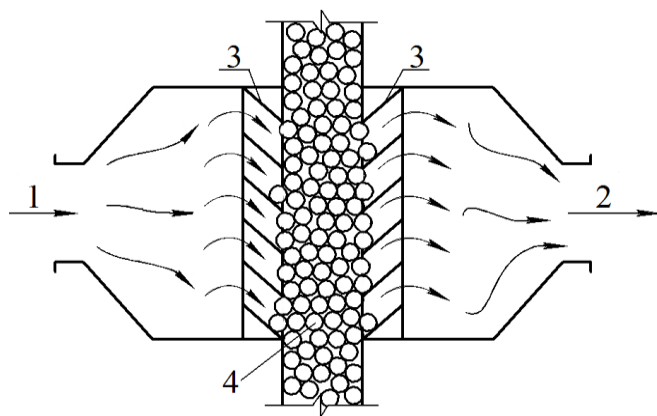
У зернистих фільтрах фільтрація запиленого газу відбувається через зернистий шар, в якості якого застосовують:

- спеціально виготовлений штучний зернистий або кусковий матеріал (гранули, сфери, кільця і т.п.);
- підготовлений природний матеріал (гравій, щебінь, пісок, галька та інші);
- промислові відходи (металургійний шлак, стружка, що одержується при металообробці та інші);
- кускова або зерниста сировина технологічних процесів (окатиші, вапняк, руда, вугілля та інші).

Зернисту насадку зазвичай підбирають певних розмірів або готують шляхом дроблення, просіювання і сортування для отримання необхідних гранулометричних фракцій.

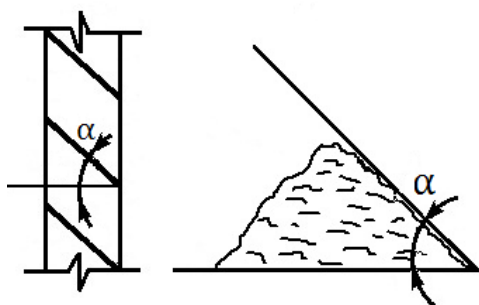
Для формування зернистого шару застосовують:

I. Жалюзійні решітки (див. рис. 1.2)



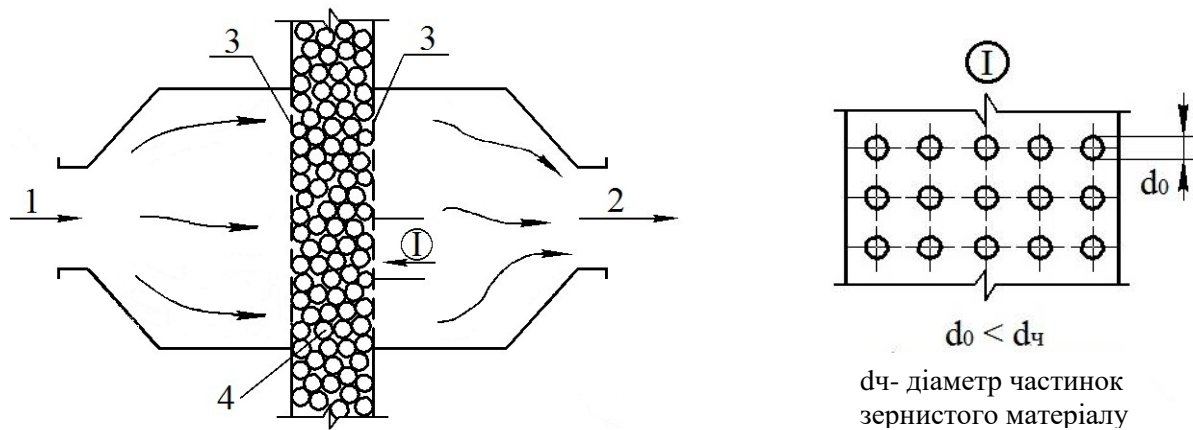
1 і 2 – вхід і вихід очищеного газу; 3 – жалюзійні решітки; 4 – зернистий матеріал.

Рисунок 1.2 – Зернистий фільтр з жалюзійними решітками



Кут нахилу жалюзей α повинен бути не менше кута природного укосу зернистого матеріалу, тобто кута, який утворює конус зернистого матеріалу при насипанні матеріалу на горизонтальну площину. Це виключає висипання зерен насадки через жалюзійні решітки, $\alpha=55\div 65^{\circ}$.

II. Вертикальні перфоровані листи (див. рис. 1.3)



1 і 2 – вхід і вихід очищуваного газу; 3 – перфоровані вертикальні листи;
4 – зерниста насадка.

Рисунок 1.3 – Зернистий фільтр з перфорованими листами

Розміри отворів (d_0) в перфорованих листах повинні бути не більше діаметру частинок ($d_{\text{ч}}$) самої дрібної фракції фільтруючого зернистого матеріалу.

III. Комбінація жалюзійної решітки і перфорованого листа (див. рис. 1.4)

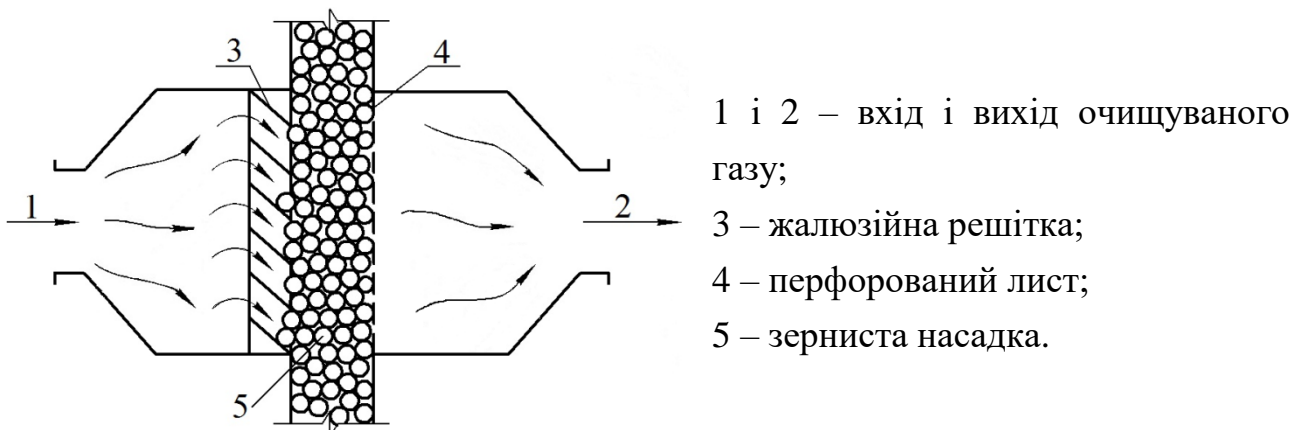
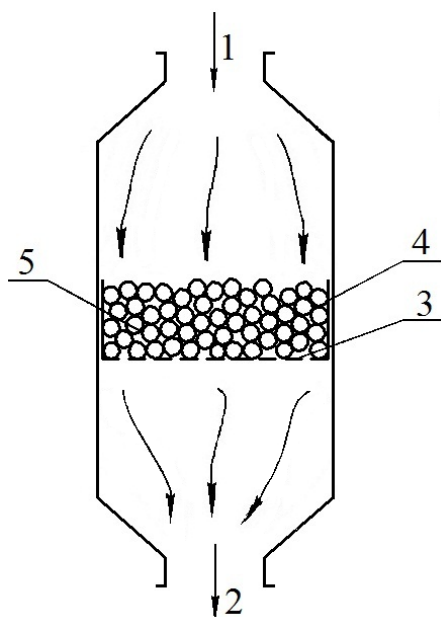


Рисунок 1.4 – Зернистий фільтр з жалюзійною решіткою і перфорованим листом

У цій комбінації перфорований лист запобігає виносу частинок фільтруючого зернистого матеріалу при великих швидкостях фільтрації.

IV. Горизонтальний перфорований лист

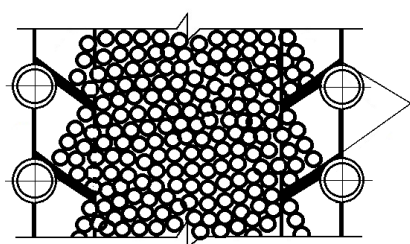


1 і 2 – вхід і вихід очищеного газу;
3 – горизонтальний перфорований лист;
4 – контейнер; 5 – зернистий матеріал.

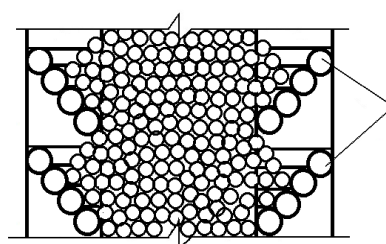
Рисунок 1.5 – Зернистий фільтр з горизонтальним перфорованим листом

Горизонтальний перфорований лист виконаний у вигляді днища контейнера, в який завантажують зернистий матеріал. Подача газу здійснюється зверху, тому у фільтрі зі сторони входу відсутній перфорований лист або жалюзі. Це дозволяє подавати на фільтрацію високотемпературний газ, а шар фільтруючого матеріалу виконує функцію теплового захисту горизонтального перфорованого листа від високих температур.

Для можливості фільтрації високотемпературного газу (до 600-700 °С) жалюзійні решітки обладнують *водоохолоджуваними* трубами або виконують у вигляді *трубчастих панелей*, які охолоджуються водою.



жалюзі з трубами, які охолоджуються водою



трубчасті панелі, які охолоджуються водою

Механізм осадження пилу в зернистих фільтрах являє собою поєднання торкання, зачеплення, відсіювання, гравітації, інерції і електростатики.

При малій запиленості газу і невеликих швидкостях фільтрації пил уловлюється в об'ємі зернистого матеріалу, тобто в порах між частинками шару. При великій запиленості газу крупнодисперсним пилом і великих

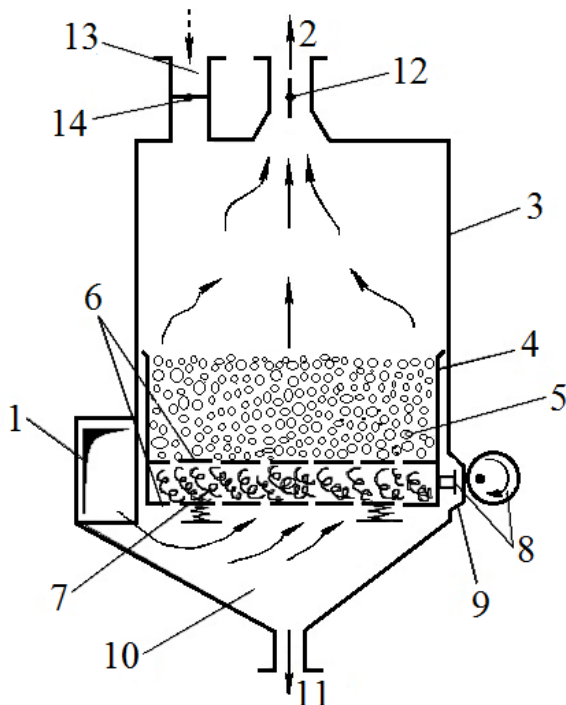
швидкостях фільтрації пил осідає на поверхні шару. У більшості випадків поєднуються обидва режими фільтрації.

Гранична початкова запиленість газу для зернистих фільтрів складає до 15–20 г/м³, швидкість фільтрації - 0,2÷0,8 м/с, ступінь очищення - 95–98% (в деяких фільтрах може скласти 99% і вище).

Ступінь очищення газу залежить від властивостей фільтруючого матеріалу, характеристики пилу, що вловлюється та режиму фільтрації.

По мірі накопичення пилу в шарі зернистого матеріалу ступінь очищення підвищується до певної величини. Потім ступінь очищення починає знижуватися, так як внаслідок забивання пилом збільшується швидкість газу в порових каналах шару, що призводить до виносу пилу. По мірі очищення зростає також гідравлічний опір фільтра, що вимагає його регенерації. Регенерація здійснюється зворотним продуванням, вібровстряхуванням або комбінацією зворотного продування і вібровстряхування.

Схема зернистого фільтра з регенерацією шляхом зворотного продування і вібрації фільтруючого шару представлена на рис. 1.6.



1 і 2 – вхід і вихід очищеного газу; 3 – корпус фільтра; 4 – контейнер з фільтруючим шаром; 5 – шар гравію; 6 – перфоровані листи; 7 – шар металевих стружки; 8 – вібратор, що виконаний у вигляді ексцентрика з штовхачем; 9 – ущільнюючий сальник; 10 – бункер уловленої пилу; 11 – патрубок для видалення пилу; 12 – клапан, який керує потоком очищеного газу; 13 – патрубок для подачі повітря при зворотній продувці; 14 – клапан, який керує потоком зворотного продування.

Рисунок 1.6 – Зернистий фільтр з комбінованою регенерацією

Шар стружки виконує функцію фільтра грубого очищення. Остаточне очищення відбувається при проходженні через шар гравію.

При регенерації клапан 12 *закритий*, а клапан 14 для подачі повітря зворотного продування *відкритий*. При цьому відбувається також вібрація контейнеру. В результаті уловлений пил провалюється в бункер 10.

У промисловому варіанті фільтр компонується у вигляді декількох секцій, одна з яких знаходиться в стані регенерації, а решта в режимі фільтрації, що забезпечує безперервну роботу фільтра в цілому.

Такого типу фільтри застосовуються для уловлювання пилу механічного походження (після дробарок, грохотів, млинів, сушарок) при виробництві цементу, вапна, гіпсу, фосфорних добрив та інших.

Для фільтра з зернистим рухомим шаром (див. рис. 1.7) виключається регенерація в процесі фільтрації, так як шар безперервно або періодично оновлюється.

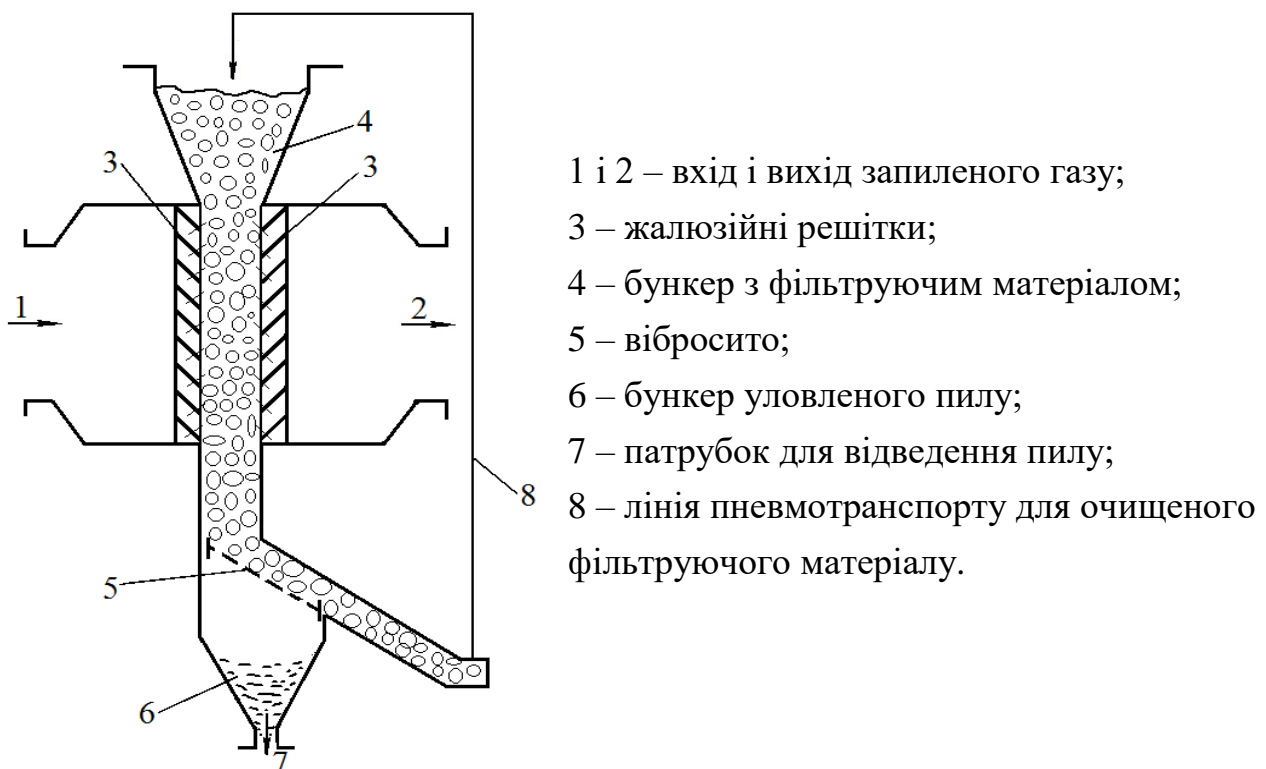


Рисунок 1.7 – Зернистий фільтр з рухомим шаром

У фільтрі за рахунок вібрації сита відбувається гравітаційний рух зернистого матеріалу з уловленим пилом. На вібруючому ситі вловлені частинки пилу відсіваються і провалюються в бункер. Очищений зернистий

матеріал подається у верхній бункер для повторного використання, наприклад, пневмотранспортом або механічним конвеєром.

При використанні фільтруючого матеріалу в якості сировини технологічного процесу фільтр з рухомим шаром істотно спрощується, так як немає необхідності у відсіванні пилу і в транспортуванні фільтруючого матеріалу у верхній бункер. Наприклад, при очищенні відхідних газів вапняно-випалювальних печей застосовують рухомий шар вапняку, який разом з уловленим вапняним пилом завантажується в піч. При цьому крім очищення утилізується теплота відхідних з печі газів на попередній підігрів вапняку, що завантажується в піч.

У цілому слід зазначити ряд переваг зернистих фільтрів:

- компактність і порівняно невисока вартість;
- можливість працювати при високих температурах, агресивних середовищах і при великих механічних навантаженнях;
- доступність фільтруючого матеріалу, так як можна використовувати велику різноманітність кускових і зернистих матеріалів, у тому числі, застосувати в якості фільтруючого матеріалу сировину технологічного процесу.

1.3 Тканинні фільтри

В тканинних фільтрах в якості фільтруючого матеріалу застосовуються різні види фільтрувальних тканин з натуральних або синтетичних волокон: бавовняні, шерстяні, нітроніві, лавсанові, склотканини та інші.

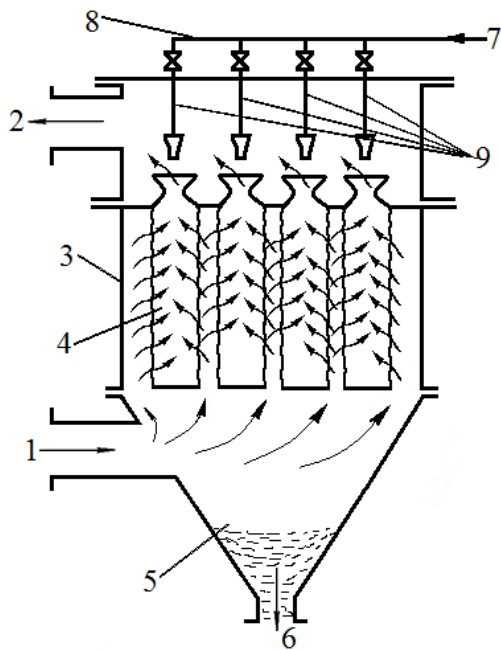
Основні форми тканинних фільтрувальних елементів: *рукавні й плоскі*.

Опори фільтрувальних елементів виконують у вигляді *каркасів* або *рам*.

У промисловості найбільш поширені *каркасні рукавні фільтри* (див. рис.1.8).

Оптимальна швидкість фільтрації в тканинних фільтрах становить $0,5 \div 1,0$ м/хв.

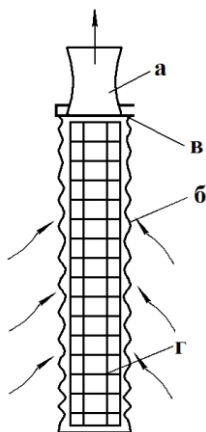
При швидкостях більше 1 м/хв знижується ефективність уловлювання пилу через винесення частинок пилу з тканини, а також зростає газодинамічний опір фільтра. При швидкостях менше 0,5 м/хв збільшується поверхня фільтрації і, відповідно, збільшуються габарити фільтра.



1 і 2 – вхід і вихід очищеного газу; 3 – корпус фільтра; 4 – рукав фільтрувального елемента; 5 – бункер для збору уловленої пилу; 6 – патрубок для відведення пилу; 7 – подання повітря для імпульсного продування при регенерації фільтрувальних елементів; 8 – колектор імпульсного продування; 9 – сопла.

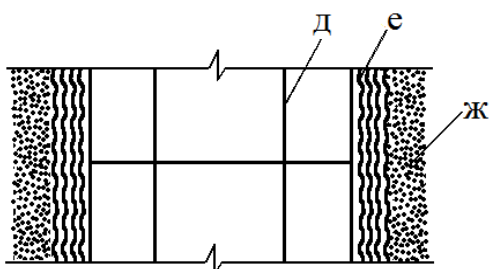
Рисунок 1.8 – Тканинний рукавний каркасний фільтр

Рукавна форма фільтрувального елемента створюється циліндричним каркасом.



а – вихідний патрубок фільтрувального елемента;
 б – фільтрувальний рукав;
 в – хомут для кріплення фільтра;
 г – каркас.

При фільтрації запиленого газу через чисту тканину в початковий період продування в об'ємі тканини затримуються частинки пилу внаслідок торкання, зачеплення, гравітації, інерції і електростатичних сил. Потім починає формуватися шар пилу на поверхні тканини, тобто починає діяти ситовий ефект затримування пилу. Шар пилу на поверхні тканини (вторинний шар, автошар) поступово виростає і стає головним фільтруючим середовищем.



д – каркас;
 е – тканина;
 ж – вторинний шар пилу.

Ефективність вторинного шару пилу на поверхні тканини підтверджується високим ступенем очищення газів при запиленому стані тканинних фільтрів. Ступінь очищення може скласти понад 99,9%.

З плином часу за рахунок збільшення вторинного шару на поверхні фільтрів зростає опір фільтрів, що вимагає їх регенерації.

Слід виділити два основних способи регенерації тканинних фільтрів: струшування і зворотне продування.

1. *Струшування фільтруючих елементів* може бути механічним, аеродинамічним і акустичним.

При *механічному струшуванні* фільтри включають необхідні конструктивні елементи, що забезпечують періодичне різке зміщення фільтрувальних рукавів (поздовжнє, вертикальне або комбіноване). Наприклад, підняттям штанги підвісу рукавів на 7-10 см і наступним скиданням штанги разом з рукавами. Підйом і скидання рукавів повторюється 5÷15 разів залежно від властивостей пилу, виду і ступеня запиленості тканини.

При *аеродинамічному струшуванні* імпульс стисненого повітря почергово подається всередину кожного фільтруючого елемента через сопла (див. рис.1.8). Надмірний тиск стисненого повітря становить 0,4÷0,8 МПа, тривалість імпульсу - 0,1–0,2 с, частота - 5÷10 імпульсів за хвилину на кожен рукав.

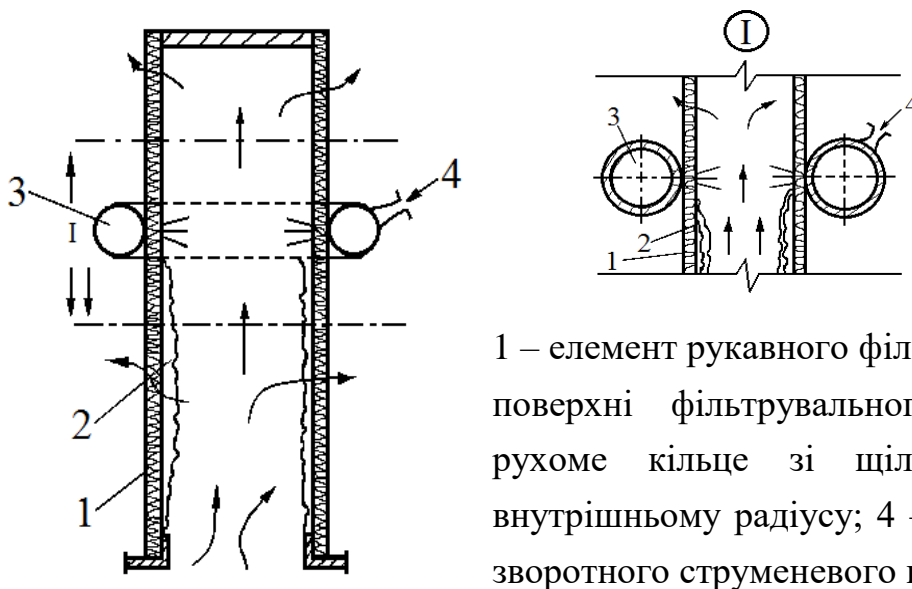
Акустичне струшування полягає у впливі на фільтрувальні елементи звуковим полем. Для цього фільтри обладнують генераторами звуку.

2. *Зворотне продування рукавних фільтрів* може бути струменевим і посекаційним.

При *зворотному струменевому продуванні* вздовж рукава вгору і вниз рухається порожнисте кільце зі щілиною, яка обернена до незапиленої поверхні тканини (див. рис. 1.9).

Через кільцеву щілину шириною 0,2–2,0 мм відбувається витікання кільцевого струменя стиснутого повітря тиском 0,5–0,6 МПа зі швидкістю 10–30 м/с. Струмінь стисненого повітря видуває пил з тканини всередину рукава.

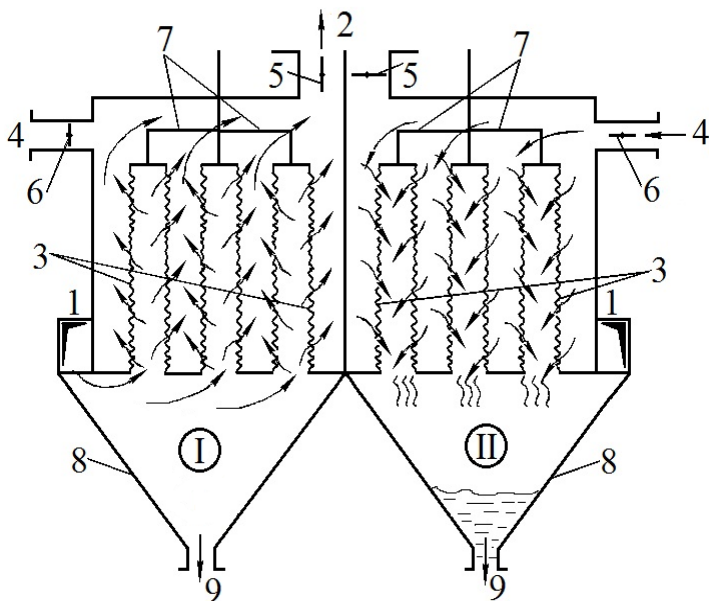
Зворотне струменеве продування застосовується при малих концентраціях пилу. Методичне та ретельне очищення фільтрувального матеріалу кільцевими соплами дозволяє застосовувати швидкість фільтрації до 3–5 м/хв. Регенерація зворотним струменевим продуванням не вимагає відключення фільтра.



1 – елемент рукавного фільтра; 2 – шар пилу на поверхні фільтрувального матеріалу; 3 – рухоме кільце зі щілинним соплом по внутрішньому радіусу; 4 – подача повітря для зворотного струменевого продування.

Рисунок 1.9 – Схема зворотного струменевого продування

При *посекційному зворотному продуванні* фільтр включає кілька секцій, одна з яких знаходиться в режимі зворотного продування (див. рис. 1.10).



I – секція в режимі очищення газу; II – секція в режимі регенерації; 1 – подача запиленого газу; 2 – відведення очищеного газу; 3 – рукава фільтра; 4 – патрубок для подачі повітря зворотного продування; 5, 6 – клапани, які керують потоками очищеного газу і продувального повітря; 7 – штанги для підвісу рукавів

фільтра; 8 – бункер уловленої пилу; 9 – патрубок для відведення пилу.

Рисунок 1.10 – Схема посекційного зворотного продування

При роботі секції в режимі очищення (I) запилений газ надходить всередину рукавів знизу. Частинки пилу, що містяться в газі, осідають на внутрішній поверхні рукавів, що збільшує газодинамічний опір секції. При

досягненні граничного газодинамічного опору секція переводиться в режим регенерації (II). Клапан 5 на виході очищеного газу закривається, а клапан 6 на вході продувального повітря відкривається. Продувальне повітря, яке фільтрується через рукава в зворотному напрямку, руйнує шар пилу, що утворився на внутрішній поверхні рукавів. Пил скидається в бункер і видаляється за допомогою шнека або іншого пристрою. Відпрацьоване продувальне повітря надходить в газопровід брудного газу.

Для підвищення ефективності регенерації одночасно із зворотним продуванням здійснюють струшування шляхом підйому і скидання штанги для підвісу рукавів фільтра. Для цього штанги підвісу обладнані спеціальним механізмом.

Після регенерації знижується не тільки опір фільтра, але і ефективність уловлювання пилу, так як удаляється шар пилу на поверхні тканини. Пізніше ефективність уловлювання пилу відновлюється. Для швидкого відновлення ефективності уловлювання не слід при регенерації видаляти пил, що проник всередину тканини і осів у порах. Для цього зворотне продування слід вести при невисоких швидкостях, порівнянних зі швидкістю фільтрації.

Секції фільтра переводять на регенерацію по черзі, що забезпечує безперервну роботу фільтра.

У цілому по всьому фільтру кількість газу, що проходить через фільтруючі рукави в режимі очищення, становить:

$$V_{\Gamma} = V'_{\Gamma} + f \cdot V_{\text{пр}}, \quad (1.1)$$

де V'_{Γ} – об'ємна витрата запиленого газу, що підводиться до фільтра; f – площа поверхні фільтрувальних рукавів однієї секції; $V_{\text{пр}}$ – швидкість повітря при зворотному продуванні.

Друга складова в правій частині рівняння (1.1) враховує витрату відпрацьованого продувального повітря, який приєднується до очищеного газу на вході у фільтр через газопровід брудного газу.

Необхідна загальна поверхня рукавів усіх секцій становить:

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{v_{\Phi}} + f, \quad (1.2)$$

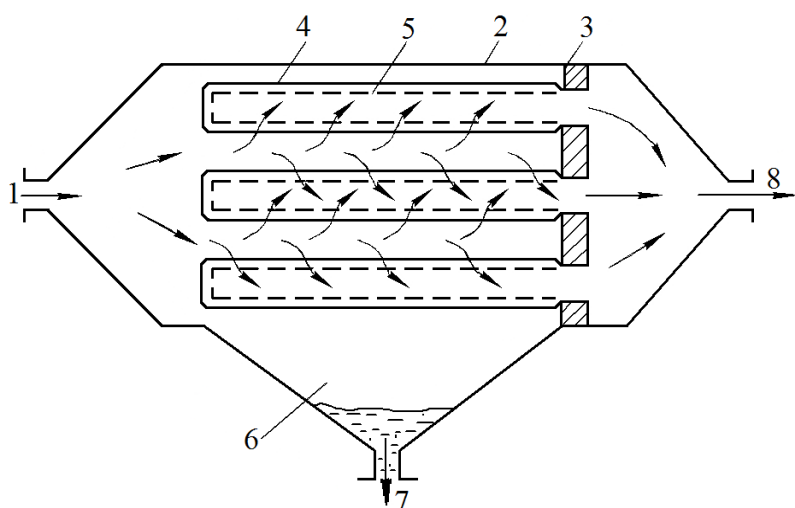
де v_{Φ} – швидкість фільтрації газу, який очищається від пилу.

Кількість секцій у фільтрі визначається відношенням:

$$n = F/f. \quad (1.3)$$

Діаметр рукава тканинного фільтра становить від 0,135–0,220 м до 0,5–0,6 м. Довжина рукава складає від 2,4–3,4 м до 9 м. Термін служби рукавів з досить міцних синтетичних тканин (нітрон, лавсан) до 12 місяців.

Термостійкість тканинних фільтрів залежить від виду волокна і становить до 250–300 °С (скловолокно). Крім рукавних фільтрів застосовують фільтри з плоскими фільтруючими елементами (див. рис. 1.11).



1 – підведення газу на очищення; 2 – корпус фільтра; 3 – перегородка; 4 – фільтруючий матеріал; 5 – каркас (сітковий або дротяний); 6 – бункер для уловленої пилу; 7 – патрубок для видалення пилу; 8 – відведення очищеного газу.

Рисунок 1.11 – Тканинний фільтр з плоскими фільтруючими елементами

Фільтруюча тканина розміщується на дротяному або сітковому каркасі. Фільтр може працювати у безперервному і періодичному режимах. Регенерація може здійснюватися вібрацією або імпульсним продуванням.

Плоскі фільтри значно компактніше рукавних, проте менш зручні при експлуатації: швидке стирання тканин на каркасі, складна заміна фільтрувального матеріалу, що обмежує застосування плоских фільтрів.

1.4 Розрахунок тканинного рукавного фільтра

1.4.1 Методика розрахунку

Необхідна площа фільтрувальної тканини у рукавному фільтрі визначається втратою тиску газу, яка залежить від швидкості фільтрації, частоти регенерації і ряду інших чинників.

Швидкість фільтрації приймають, як правило, на основі дослідних даних в залежності від виду застосовуваної тканини, методу регенерації і властивостей пилу.

Рекомендовані швидкості фільтрації в залежності від виду пилю і способу регенерації фільтра наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані швидкості фільтрації в рукавних фільтрах, м/с

Клас пилю	Вид пилю	Спосіб регенерації фільтра		
		струшуванням і продуванням	імпульсним продуванням	зворотним продуванням
1	Сажа, кремнезем, перегони свинцю і цинку, активоване вугілля, цемент.	0,0075-0,0100	0,0133-0,0333	0,0055-0,0075
2	Перегони заліза і феросплавів, ливарний пил, вапно, глинозем.	0,0100-0,0125	0,0250-0,0417	0,0075-0,0092
3	Кам'яне вугілля, вапняк, рудний пил, фрита емалей.	0,0117-0,0133	0,0333-0,0583	0,0100-0,0150
4	Азбест, волокнистий пил, солі, пил шліфувальних процесів.	0,0133-0,0258	0,0417-0,0750	–
5	Деревний пил, грубі рослинні волокна (пенька, джут та інші).	0,0150-0,0333	0,0417-0,1000	–

У фільтрі, що складається з n секцій, площа фільтрувальної поверхні однієї секції складе:

$$F_c = \frac{V}{v_\phi \cdot (n - n_p) - n_p \cdot v_p}, \text{ м}^2, \quad (1.4)$$

де V – об'єм газу, що надходить на очищення, за робочих умов у розрахунку на одну секцію, $\text{м}^3 / \text{с}$; v_ϕ – швидкість фільтрації, м/с ; n_p – кількість секцій фільтра, що одночасно знаходяться у режимі регенерації; v_p – швидкість газу в процесі регенерації, м/с .

Загальна площа фільтрувальної поверхні складе:

$$F = n \cdot F_c, \text{ м}^2. \quad (1.5)$$

Зазвичай питома навантаження на фільтрувальну тканину в процесі регенерації зворотним продуванням в 1,5–2,0 рази перевищує навантаження при фільтрації в процесі очищення газу, тобто $v_p / v_\phi = 1,5–2,0$. Для синтетичних і скляних тканин це відношення приймається дещо меншим, щоб уникнути руйнування тканин від інтенсивного зворотного продування.

При регенерації фільтра струшуванням або імпульсним продуванням у

формулі (1.4) n_p і v_p дорівнюють нулю. Витрата газу на імпульсне продування, зазвичай не перевищує 0,1–0,2% від кількості газу, що надходить на очищення і враховується відповідним збільшенням витрати газу у формулі (1.4), яка при регенерації імпульсним продуванням приймає вигляд:

$$F_c = \frac{V + V_p}{v_\phi \cdot n}, \quad (1.6)$$

де V_p – витрата повітря на регенерацію імпульсним продуванням.

Після обчислення площі фільтрувальної поверхні за формулами (1.4) і (1.5) вибирають (за каталогами) відповідний фільтр або групу фільтрів і визначають фактичну швидкість фільтрації:

$$v'_\phi = \frac{V + n_p \cdot F_c \cdot v_p}{F_c \cdot (n - n_p)}, \text{ м/с.} \quad (1.7)$$

Втрата тиску у фільтрі (фільтрувальному елементі) визначається виразом:

$$\Delta p = \frac{817\mu v'_\phi (1 - m_\Pi)}{d_\Pi^2 m_\Pi^3} \left[0,82 \cdot 10^{-6} d_\Pi^{0,25} m_\Pi^3 (1 - m_\Pi) h^{0,67} + \frac{z_1 v'_\phi \tau_p}{\rho_\Pi} \right], \text{ Па,} \quad (1.8)$$

де μ – динамічна в'язкість газу за робочих умов, Па·с; m_Π – пористість шару пилу, частки; d_Π – середній розмір частинок пилу, визначений методом повітропроникності, м; m_τ – пористість фільтрувальної тканини, частки; h – питомий гідравлічний опір чистої тканини, віднесений до товщини тканини 1 м при швидкості фільтрації повітря 1 м/с, Па; z_1 – початкова запиленість газу, що очищається, кг/м³; τ_p – час між регенераціями, с; ρ_Π – щільність пилу, кг/м³.

Значення m_τ і h для деяких фільтрувальних тканин наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика фільтрувальних тканин

Тканина	Термостійкість, °С	Стійкість до впливу		Пористість (m_τ), частки	Питомий гідравлічний опір (h), 10 ⁵ Па
		кислот	лугів		
Бавовна	65-80	низька	висока	0,60	-
Шерсть	80-100	невисока	низька	0,86-0,91	0,84
Нітрон	120	висока	невисока	0,83	1,80
Лавсан	140	висока	невисока	0,75	3,50
Оксалон	250	висока	-	-	7,20
Скло	250-300	висока	невисока	0,55	8,40

Пористість шару пилу m_{π} залежить від крупності пилу, режиму фільтрації, вологості газу, температури газу та інших. Для металургійного пилу величина m_{π} становить $0,80 \div 0,95$.

При заданому значенні втрати тиску у фільтрі залежність (1.8) дозволяє визначити час між регенераціями фільтра τ_p або швидкість фільтрації v'_{ϕ} .

Режим роботи фільтра (швидкість фільтрації і припустиме значення втрати тиску) також може бути вибраний на основі експериментальних даних, які отримані на дослідних установках у промислових умовах. Наприклад, на рисунку 1.12 показано результати промислових випробувань фільтрувального рукава з металеві сітки С-120 при очищенні від пилу газів мартенівської печі в період продування ванни киснем. Температура очищуваного газу становила 600°C . Графік на рисунку 1.12 дозволяє встановити поєднання v'_{ϕ} і Δp , що забезпечує вміст пилу в очищеному газі в межах санітарних норм.

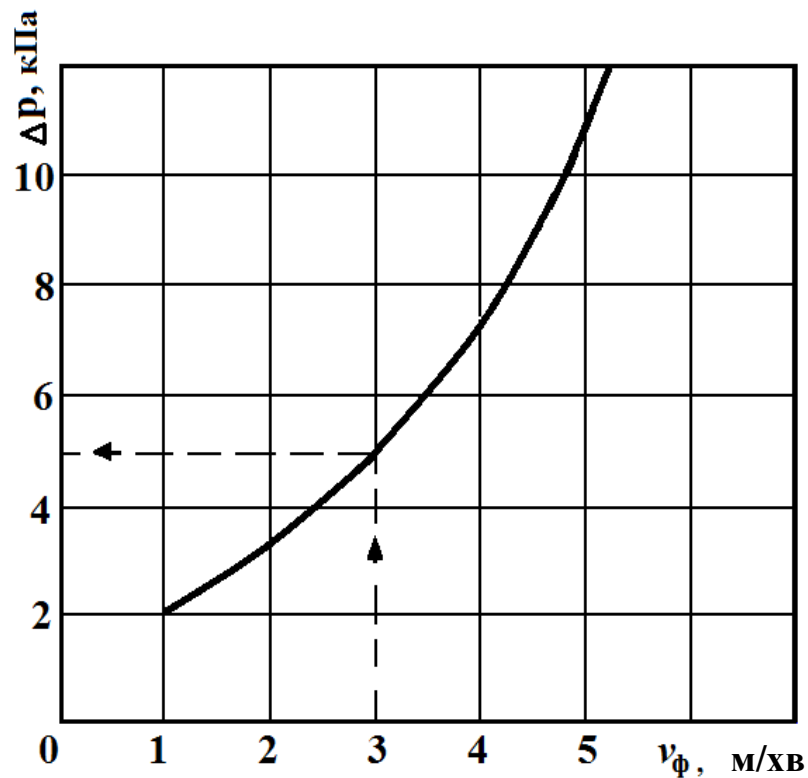


Рисунок 1.12 – Мінімальні опори Δp металотканини С-120 перед регенерацією, що забезпечують очищення газу мартенівських печей до санітарної норми при різних швидкостях фільтрації v_{ϕ}

1.4.2 Приклади розрахунку

Приклад 1. Розрахувати рукавний фільтр при наступних вихідних даних:

- об'ємна витрата очищеного газу за робочих умов (на одну секцію фільтра) – $V_c=48 \text{ м}^3/\text{с}$;
- запиленість газу, що надходить на очищення – $z_1=4 \text{ г}/\text{м}^3$;
- щільність пилу – $\rho_p=3500 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- середній розмір частинок пилу – $d_p=1 \text{ мкм}$;
- пористість шару пилу – $m_p=0,85$;
- температура газу – $t=100 \text{ }^\circ\text{C}$;
- динамічна в'язкість газу за робочих умов – $\mu=22 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- припустимий опір фільтра – $\Delta p=1 \text{ кПа}$.

Згідно з завданням доцільно вибрати фільтр з тканини нітрон, термостійкість якої $120 \text{ }^\circ\text{C}$, пористість $m_p=0,83$, питомий опір $h=1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (див. табл.1.2).

Для вловлювання перегонного пилу в чорній і кольоровій металургії рекомендується застосовувати фільтри ФРГ, УРФМ і деякі інші.

Наприклад, вибираємо фільтр УРФМ (укрупнений рукавний фільтр, модернізований), який складається з 20 секцій, які мають загальну площу фільтрувальної поверхні 2300 м^2 . Регенерація фільтра здійснюється струшуванням і зворотним продуванням.

Згідно таблиці 1.1 для перегонного пилу ($d_p=1\text{мкм}$) і способу регенерації обраного фільтра (струшуванням і продуванням) слід прийняти швидкість фільтрації $v_\phi=0,0125 \text{ м}/\text{с}$. У цьому випадку необхідна загальна площа фільтрувальної поверхні відповідно (1.4) і (1.5) складе:

$$F_c = \frac{V}{v_\phi \cdot (n - n_p) - n_p \cdot v_p}, \text{ м}^2.$$

$$F = n \cdot F_c, \text{ м}^2,$$

$$F = \frac{n \cdot F_c}{v_\phi \cdot (n - n_p) - n_p \cdot v_p}, \text{ м}^2, \quad (1.9)$$

$$F = \frac{20 \cdot 48}{0,0125 \cdot (20 - 1) - 1 \cdot 2 \cdot 0,0125} = 4518 \text{ м}^2,$$

де $n = 20$, $n_p = 1$ і $v_p = 2 \cdot v_\phi$.

Приймаємо до установки два фільтри УРФМ, так як $4518/2300=1,96$.

У двох фільтрах в режимі регенерації одночасно перебуватимуть дві секції ($n_p=2$) і фактична швидкість фільтрації за формулою (1.7) складе:

$$v'_\phi = [V + n_p \cdot (2300/20) \cdot v_p] / [2300/20 \cdot (2 \cdot n - n_p)], \text{ м/с,}$$

$$v'_\phi = [48 + 2 \cdot 115 \cdot 0,025] / [115 \cdot (40 - 2)] = 0,0123 \text{ м/с,}$$

де $2300/20$ – площа фільтрувальної поверхні однієї секції F_c обраного фільтра.

Отримана швидкість знаходиться в рекомендованих межах швидкостей фільтрації (див. табл. 1.1).

При припустимому опорі фільтра $\Delta p=1$ кПа і фактичній швидкості фільтрації $v'_\phi=0,0123$ м/с час між регенераціями фільтра відповідно до формули (1.8) складе:

$$\tau_p = \frac{\rho_n \cdot (\Delta p - A \cdot B)}{A \cdot z_1 \cdot v'_\phi}, \quad (1.10)$$

де $A = (817 \cdot \mu \cdot v'_\phi \cdot (1 - m_n)) / (d_n^2 \cdot m_n^3),$

$$B = 0,82 \cdot 10^{-6} \cdot d_n^{0,25} \cdot m_n^3 \cdot (1 - m_n) \cdot h^{\frac{2}{3}},$$

$$A = \frac{817 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0123 \cdot (1 - 0,85)}{(1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,85^3} = 54 \cdot 10^6;$$

$$B = 0,82 \cdot 10^{-6} \cdot (1 \cdot 10^{-6})^{0,25} \cdot 0,83^3 \cdot (1 - 0,85) \cdot (1,8 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} = 7,09 \cdot 10^{-6};$$

$$\tau_p = \frac{3500 \cdot (1000 - 54 \cdot 10^6 \cdot 7,09 \cdot 10^{-6})}{54 \cdot 10^6 \cdot 0,004 \cdot 0,0123} = 813 \text{ с} \approx 14 \text{ хв.}$$

Приклад 2. Розрахувати фільтр з металотканини для очищення газів мартенівської печі перед котлом-утилізатором при наступних вихідних даних:

- об'єм газу за робочих умов – $V=400000$ м³/год;
- запиленість газу – $z_1=5$ г/м³;
- температура газу – $t=600$ °С;
- пил перегонний – $d_n=1$ мкм;
- швидкість фільтрації – $v_\phi=3$ м/хв.

У даному випадку доцільно використовувати експериментальні дані, які представлені на рисунку 1.12.

Відповідно до графіка на рисунку 1.12 фільтр з металотканини С-120 при

швидкості фільтрації $v_{\phi}=3$ м/хв (0,05 м/с) забезпечує очищення газів мартенівської печі до санітарної норми при опорі перед регенерацією $\Delta p=5$ кПа.

Приймається каркасний фільтр з імпульсною регенерацією стисненим повітрям. Витрата повітря на регенерацію V_p приймається 0,2% від обсягу газу, що надходить на очищення V :

$$V_p = 0,002 \cdot 400000 = 800 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Необхідна площа фільтрувальних елементів фільтра складе:

$$F = \frac{V + V_p}{3600 \cdot v_{\phi}}, \text{ м}^2,$$
$$F = \frac{400000 + 800}{3600 \cdot 0,05} = 2227 \text{ м}^2.$$

При діаметрі фільтрувальних рукавів $D=0,34$ м і довжині $L=10$ м площа поверхні одного рукава складе:

$$F_{\text{фр}} = 3,14 \cdot 0,34 \cdot 10 = 10,68 \text{ м}^2.$$

Необхідне число фільтрувальних рукавів складе:

$$n_{\text{фр}} = \frac{F}{F_{\text{фр}}} = \frac{2227}{10,68} = 208,5.$$

Число фільтрувальних рукавів приймається $n_{\text{фр}}=210$, що дозволить розмістити рукава в 15 рядах по 14 рукавів у кожному. При цьому фактична швидкість фільтрації складе:

$$v'_{\phi} = \frac{V + V_p}{3600 \cdot F_{\text{фр}} \cdot n_{\text{фр}}}, \text{ м/с,}$$
$$v'_{\phi} = \frac{400000 + 800}{3600 \cdot 10,68 \cdot 210} = 0,05 \text{ м/с.}$$

Час між регенераціями фільтра при прийнятому режимі ($v_{\text{фр}}=0,05$ м/с та $\Delta p=5$ кПа) за дослідними даними становить приблизно 10 хв.

2 АПАРАТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ (ЕЛЕКТРОФІЛЬТРИ)

Апарати для очищення газу в електричному полі називають *електрофільтрами*. Осадження частинок пилу в електрофільтрах відбувається під впливом електричних сил. Для можливості впливу на частинки пилу електричними силами необхідні такі перетворення:

- іонізація запиленого газу, що супроводжується утворенням позитивних іонів у газі;
- адсорбція позитивних іонів газу на поверхні частинок пилу;
- зарядка частинок пилу від іонів, що супроводжується набуттям частинками негативного заряду;
- зміна напрямку руху частинок під впливом електричного поля у бік осаджувального електрода, що призводить до виділення частинок пилу з потоку газу;
- фіксація частинок на поверхні осаджувального електрода.

Залежно від форми осаджувальних електродів електрофільтри поділяються на *пластинчасті* і *трубчасті*.

В *пластинчастих* електрофільтрах осаджувальні електроди виконані у вигляді вертикальних металевих пластин (див. рис. 2.1), між якими розміщені коронуючі електроди, тобто електроди здатні під дією електричного струму високої напруги (25÷100 кВ) створювати коронний електричний розряд.

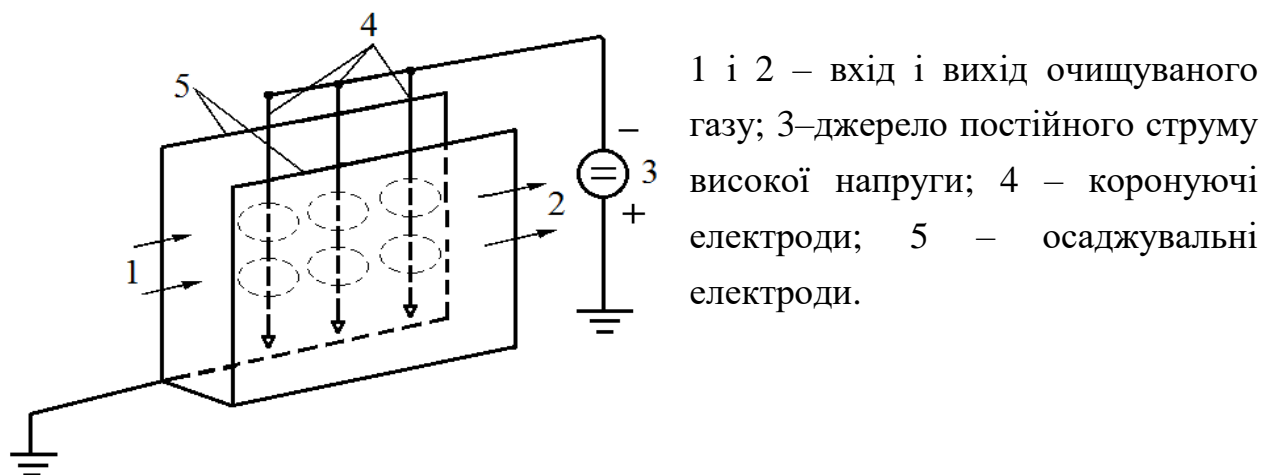


Рисунок 2.1 – Схема пластинчастого електрофільтра

Коронний розряд являє собою незавершений електричний розряд, який створює електричне поле з різко змінною напруженістю. Максимальна напруженість створюється поблизу електрода, а до периферії корони напруженість поля різко знижується. Висока напруженість близько електродного простору призводить до іонізації газу і його світінню, що зумовило назву розряду - "коронний".

Запилений газ, що надходить в область коронного розряду, іонізується. Іони газу заряджають частинки пилу, які під дією електричного поля рухаються

до осаджувального електрода, тобто виділяються з напрямку руху газу і в результаті фіксуються на осаджувальному електроді.

В *трубчастих* електрофільтрах осаджувальні електроди виконані у вигляді труб різних перерізів (круглого, квадратного, шестигранного та інших). Коронуючі електроди розташовуються по осі труб в порожнині вертикально розташованих осаджувальних електродів (див. рис. 2.2).

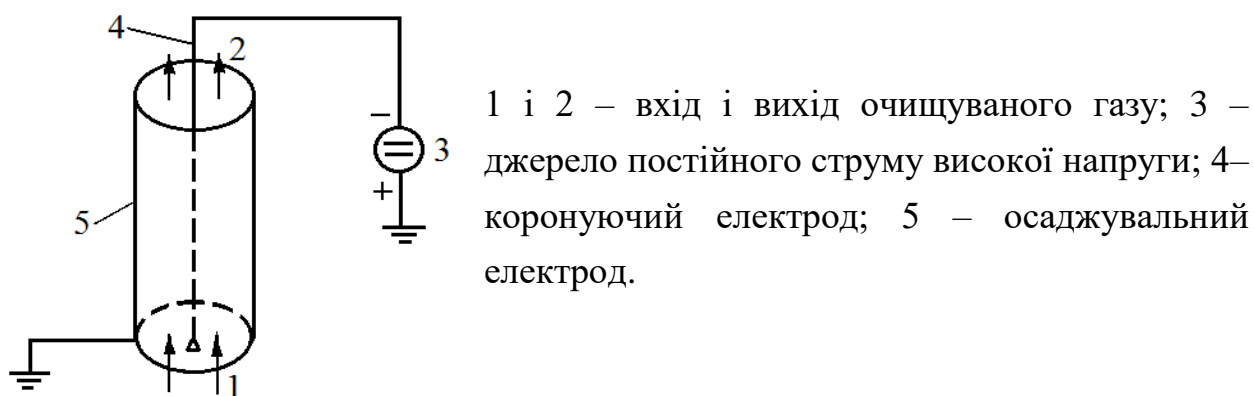


Рисунок 2.2 – Схема трубчастого електрофільтра

2.1 Класифікація електрофільтрів

Основними варіантами класифікації є:

I. За формою осаджувальних електродів електрофільтри поділяються на *пластинчасті* і *трубчасті* (див. рис. 2.1 і 2.2).

В трубчастих електрофільтрах порівняно з пластинчастими забезпечуються:

- більш якісні характеристики електричного поля за рахунок симетричної зміни напруженості поля;
- більш рівномірний розподіл запиленого потоку газу в порожнині електрофільтра.

Обидва чинники створюють умови для підвищення ефективності уловлювання пилу в трубчастому електрофільтрі порівняно з пластинчастим.

Недоліком трубчастих електрофільтрів в порівнянні з пластинчастими є більш складне видалення уловленого пилу з осаджувальних електродів.

II. Залежно від взаємного розташування зони зарядки і зони осадження частинок пилу електрофільтри поділяються на *однозонні* і *двозонні*.

В однозонних фільтрах зарядка і осадження частинок пилу відбувається в одній зоні. В двозонних електрофільтрах зона зарядки і зона осадження виконані окремо. Ці зони в двозонних електрофільтрах називають, відповідно, *іонізатором* і *осаджувачем*.

Для очищення промислових газів переважно використовують однозонні електрофільтри. Двозонні електрофільтри застосовують для тонкого очищення повітря в системах припливної вентиляції та кондиціонування повітря.

III. По числу послідовно розташованих електричних полів електрофільтри поділяються на *однопільні* і *багатопільні*.

Наявність декількох послідовно розташованих електричних полів дозволяє більш ретельно очистити газ від пилу внаслідок багатоступеневого очищення. Напруженість електричного поля на окремих ступенях очищення може бути різною і підтримуватися на рівнях, що забезпечують найбільш ефективне очищення газу в цілому. Підвищення ефективності очищення газу від пилу в багатопільних електрофільтрах досягається також за рахунок більш раціонального режиму очищення електродів від пилу (послідовність очищення електродів, інтенсивність, частота очищення та інші).

IV. Залежно від напрямку руху газу електрофільтри поділяються на *вертикальні* і *горизонтальні*.

V. Залежно від способу очищення осаджувальних електродів від уловленого пилу електрофільтри поділяються на *сухі* і *мокрі*.

В сухих електрофільтрах пил видаляється шляхом струшування електродів, в мокрих – шляхом змиву пилу водою.

2.2 Конструктивні елементи електрофільтрів

До основних конструктивних елементів електрофільтрів відносяться: електроживлення, коронуючі електроди, осаджувальні електроди і газорозподільні пристрої.

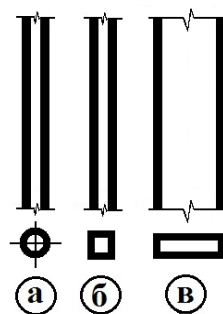
Електроживлення фільтрів здійснюється від електроагрегатів потужністю 20÷150 кВт, що забезпечують постійний струм високої напруги (25÷100 кВ). Постійний струм отримують шляхом перетворення змінного струму (380 В, 50 Гц).

Електроагрегат включає підвищуючий трансформатор, випрямляч і регулятор напруги.

Коронуючі електроди можуть бути двох типів:

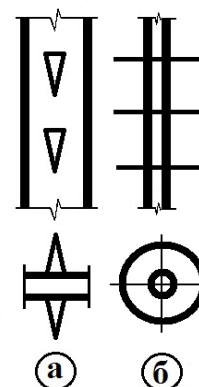
1) гладкі коронуючі електроди

- круглого (а),
 - квадратного (б),
 - прямокутного (в),
- та інших перерізів.



2) електроди з фіксованими точками розряду, які залежно від форми фіксованих точок розряду можуть бути:

- голчасті (а),
 - дискові (б),
- та інших форм.

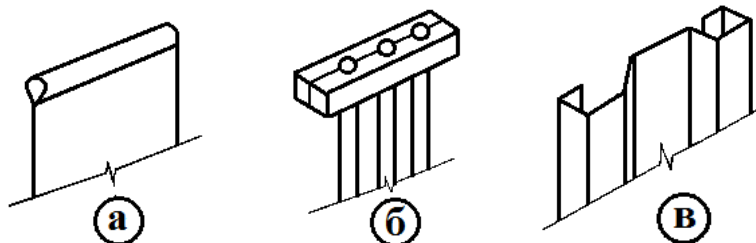


Коронні розряди виникають у фіксованих точках (голках, дисках та інших). При цьому за рахунок зміни кроку розміщення фіксованих точок можна отримувати корони з певними характеристиками, що дозволяє створювати оптимальні електричні поля для уловлювання різних видів пилу.

Осаджувальні електроди повинні мати форму, яка забезпечує видалення пилу з поверхні електродів шляхом механічного струшування або змиву водою.

У числі найбільш поширених форм осаджувальних електродів слід відзначити:

- листові (а),
- пруткові (б),
- профільовані (в).

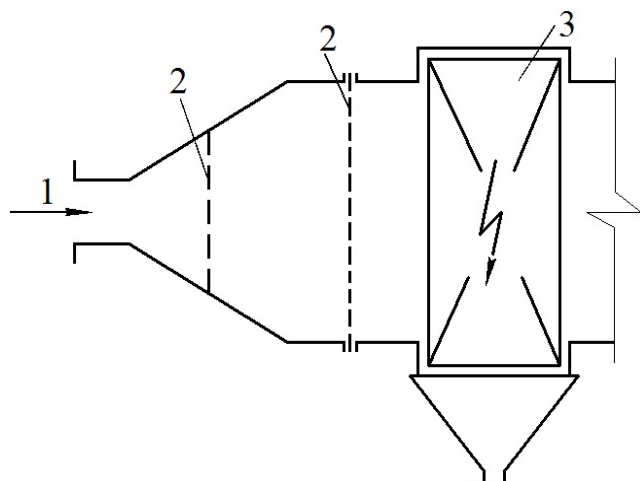


Газорозподільні пристрої необхідні для рівномірного розподілу газу в активній зоні електрофільтра, тобто в зоні, яка забезпечує зарядку частинок пилу.

Ефективність уловлювання пилу в електрофільтрах становить до 99,5%, тому проскакування навіть кількох відсотків неочищеного газу значно впливає на загальну ефективність роботи електрофільтра. Нерівномірність газорозподілу в активній зоні електрофільтра не повинна перевищувати 0,5%.

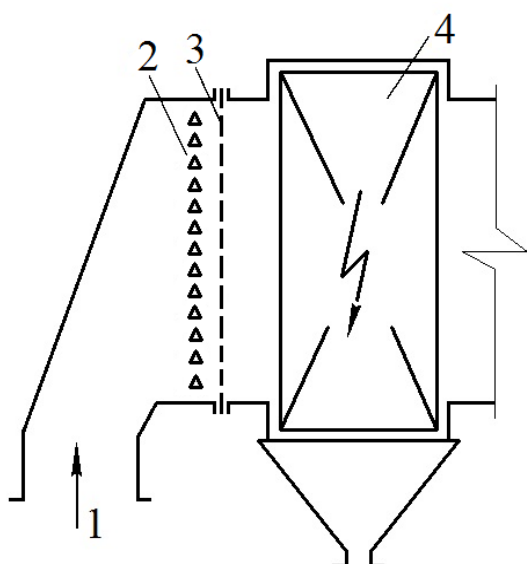
Газорозподільні пристрої являють собою решітки або направляючі лопатки, які розміщені на вході газу в активну зону фільтра. При цьому розрізняють:

а) центральне підведення газу (в горизонтальний електрофільтр)



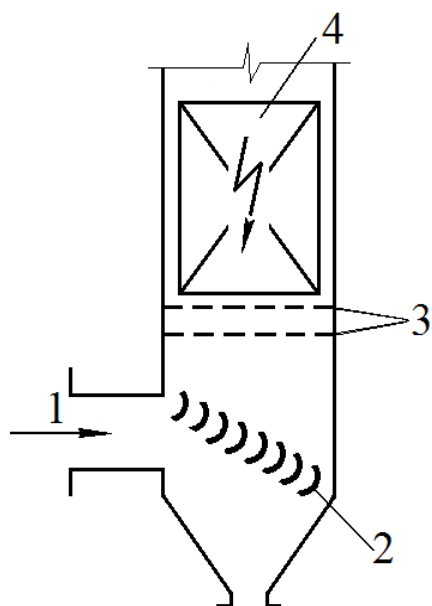
- 1 – підведення газу;
- 2 – газорозподільні решітки;
- 3 – активна зона електрофільтра.

б) нижнє підведення (в горизонтальний електрофільтр)



- 1 – підведення газу;
- 2 – направляючі лопатки;
- 3 – газорозподільна решітка;
- 4 – активна зона електрофільтра.

в) бічне підведення (в вертикальний електрофільтр)

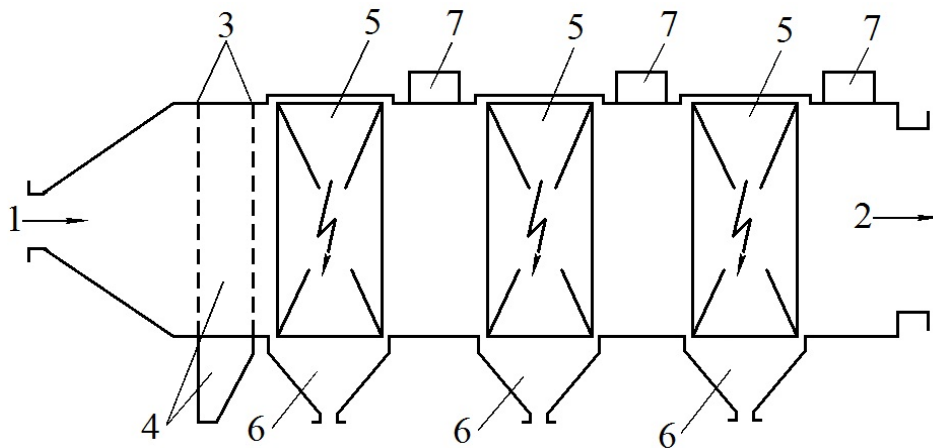


- 1 – підведення газу;
- 2 – направляючі лопатки;
- 3 – газорозподільні решітки;
- 4 – активна зона електрофільтра.

2.3 Сухі електрофільтри

Найбільш поширеним типом сухих електрофільтрів є багатопільні горизонтальні електрофільтри. Такі електрофільтри широко застосовуються на теплових електростанціях для очищення від золи газів, що йдуть з парових котлів.

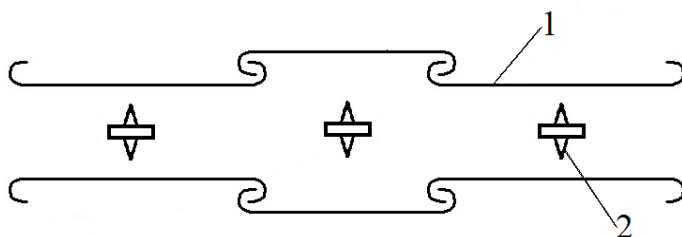
Схема горизонтального пластинчастого електрофільтра типу УГ (уніфікований, горизонтальний) представлена на рисунку 2.3.



1 і 2 – вхід і вихід газу; 3 – газорозподільні решітки; 4 – форкамера для уловлювання великих частинок пилу шляхом різкого зниження швидкості газу на вході в електрофільтр; 5 – камери для розміщення електродів; 6 – бункери для уловленого пилу; 7 – ізоляторні коробки фільтра.

Рисунок 2.3 – Горизонтальний багатопільний електрофільтр типу УГ

Коронуючі електроди виконані голчастими (∇), осаджувальні електроди – С-образними (C):



1 – осаджувальний електрод;
2 – коронуючий електрод.

Максимальна висота електродів 7,5 м. Температура газу, що надходить на очищення становить до 250 °С, ступінь очищення близько 96% при швидкості газу 2,0–2,5 м/с.

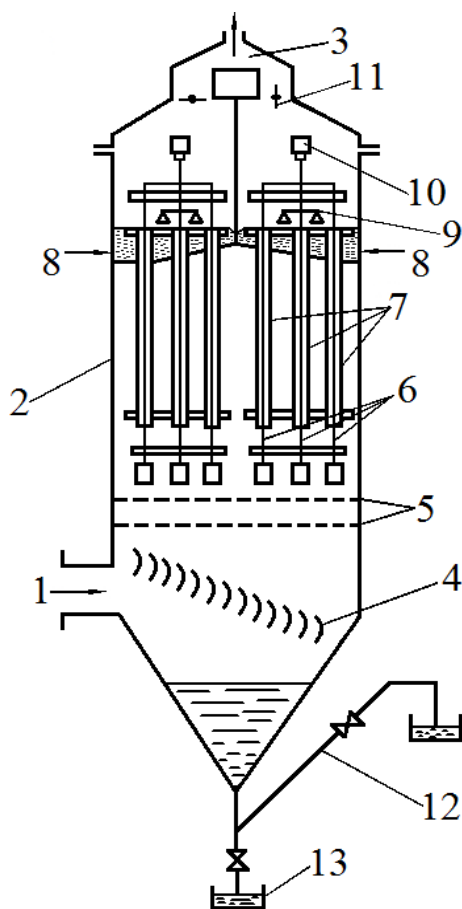
На коронуючі електроди подається електричний струм (випрямлений, пульсуючий) напругою до 80 кВ. Для очищення від пилу осаджувальні електроди обладнані механізмом струшування.

Електрофільтри типу "УГ" відрізняються економною витратою електроенергії на очищення і невеликим газодинамічним опором.

До недоліків електрофільтрів типу "УГ" слід віднести громіздкість конструкції, великі капітальні витрати, зниження ступеня очищення газу в разі незадовільного очищення осаджувальних електродів від пилу і внаслідок нерівномірності розподілу газу в активній зоні електрофільтра.

2.4 Мокрі електрофільтри

У числі мокрих електрофільтрів найбільш поширеними є вертикальні і однопільні. На рисунку 2.4 представлена схема мокрого трубчастого електрофільтра типу ДМ (доменний, мокрий).



1 – підведення запиленого газу; 2 – корпус електрофільтра; 3 – відведення очищеного газу; 4 – направляючі лопатки; 5 – розподільні решітки; 6 – коронуючі електроди, що зафіксовані в рамах на верхньому і нижньому рівнях; 7 – осаджувальні електроди, що розміщені між верхньою і нижньою трубчастими решітками; 8 – подача води в жолоб для безперервного промивання осаджувальних електродів; 9 – колектор з бризгалами для періодичного промивання електрофільтра; 10 – ізолятор для вертикальної підвіски коронуючих електродів; 11 – дросельний клапан; 12 – гідрозасув; 13 – лоток для відводу шламу.

Рисунок 2.4 – Вертикальний однопільний електрофільтр типу ДМ

Застосовують два типорозміри електрофільтрів ДМ: ДМ - 316 (316 електродів) і ДМ - 600 (600 електродів). Активна довжина електричного поля в обох електрофільтрах 4,5 м. Електрофільтри типу ДМ компонують у вигляді секцій.

Безперервне обмивання осаджувальних електродів здійснюється в плівковому режимі, періодичне обмивання бризгалами виконується кожні 8 годин протягом 10–20 хвилин. При періодичному промиванні секцію, яка перебуває у стані промивання, відключають дросельним клапаном і знімають напругу.

Мокрі електрофільтри порівняно з сухими забезпечують більш ретельне очищення газів, так як практично виключається вторинне винесення пилу.

2.5 Розрахунок сухого пластинчастого електрофільтра

2.5.1 Методика розрахунку електрофільтра

При проектуванні електрофільтрів очікувану ступінь очищення газів розраховують по напівемпіричним формулами. Після вибору типу електрофільтра (наприклад ЕГА - електрофільтр, горизонтальний, модифікації А), що задовольняє вимогам проекту, на підставі наявних вихідних даних обчислюють такі величини.

- *Відносну щільність очищуваного газу:*

$$\beta = \frac{p \cdot (273 + t_{ст})}{p_{ст} \cdot (273 + t)}, \quad (2.1)$$

де p і t – тиск і температура очищуваного газу, кПа і °С; $p_{ст}$ і $t_{ст}$ – тиск і температура газу за стандартних умов, кПа і °С.

- *Критичну напруженість електричного поля:*

$$E_{кр} = 3,04 \cdot \left(\beta + 0,0311 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6, \text{ В/м}, \quad (2.2)$$

де R_1 – радіус вістря коронуючого електрода ($R_1 = 1$ мм).

- *Критичну напругу корони:*

$$U_{кр} = E_{кр} \cdot R_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S_1} - \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S_1} \right), \text{ В}, \quad (2.3)$$

де H – відстань між площинами коронуючих та осаджувальних електродів, м; S_1 – крок коронуючих електродів, м.

Для електрофільтрів типу ЕГА:

$$H = \frac{0,300}{2} \text{ м}; \quad S_1 = 0,18 \text{ м.}$$

• *Напруженість електричного поля:*

$$E = \left[\frac{8 \cdot \pi \cdot f \cdot H \cdot U \cdot (U - U_{кр})}{9 \cdot 10^9 \cdot \epsilon_0 \cdot S_1^3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S_1} - \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S_1} \right)} \right]^{0,5}, \text{ В/м,} \quad (2.4)$$

де f – коефіцієнт, що залежить від відношення H/S_1 (при $H/S_1 = 0,300/(2 \cdot 0,18) = 0,833$ значення $f = 0,0423$); U – середнє значення робочої напруги (60...100 кВ), В; ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м).

• *Швидкість дрейфу частинок пилу в електричному полі:*

$$w = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \cdot r}{\mu}, \text{ м/с,} \quad (2.5)$$

де r – еквівалентний радіус частинки пилу, м; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості очищуваного газу за робочих умов, Па·с;

• *Фракційну ступінь уловлювання пилу:*

$$\eta_i = 1 - \exp\left(-\frac{w \cdot T}{2 \cdot u}\right), \quad (2.6)$$

де T – відношення загальної площі осадження до площі активного перерізу електрофільтра (див. додаток А); u – швидкість газу в електрофільтрі, м/с.

• *Загальну ступінь уловлювання пилу:*

$$\eta = \sum_1^n \eta_i \cdot \phi_i, \%, \quad (2.7)$$

де ϕ_i – вміст i -ї фракції в уловлюваному пилу, %.

• *Необхідну ефективність очищення газу від пилу:*

$$\eta_{тр} = \frac{z_1 - z_2}{z_1} \cdot 100, \%, \quad (2.8)$$

де z_1 і z_2 – задані початкова і кінцева запиленість газу, г/м³.

• *Необхідну площу активного перерізу електрофільтра:*

$$S = \frac{V}{3600 \cdot u}, \text{ м}^2, \quad (2.9)$$

де V – продуктивність електрофільтра, м³/год.

На основі завдання, довідкових матеріалів та обчислень за формулами (2.1) - (2.5) готуються наступні вихідні дані:

- 1) швидкості дрейфу частинок пилу крупністю 1, 3, 5, 7, 9 і 10 мкм (середній радіус частинок – 0,5, 1,5, 2,5; 3,5; 4,5 і 5 мкм);
- 2) масова частка вказаних фракцій уловлюваного пилу, %;
- 3) значення T – відношення загальної площі осадження до площі активного перерізу для розглянутого типорозміру електрофільтра (значення T приведено в додатку А).

Приймається ряд значень швидкості газу в електрофільтрі і обчислюється за формулами (2.6) і (2.7) фракційний і загальний ступінь уловлювання пилу для прийнятих типорозмірів електрофільтрів. За отриманими даними для кожного з розглянутих типорозмірів електрофільтра будують криві залежностей $\eta=f(u)$.

За формулою (2.8) обчислюють необхідну ефективність очищення газу від пилу $\eta_{тр}$.

Поєднуючи на графіку отримані залежності $\eta=f(u)$ і значення необхідної ефективності очищення газу, визначають типорозміри електрофільтрів, що забезпечують при прийнятних швидкостях газу u необхідну ефективність його очищення.

За формулою (2.9) визначають необхідну площу активного перерізу електрофільтра і по таблиці конструктивних характеристик (додаток А) вибирають оптимальний типорозмір електрофільтра.

2.5.2 Приклад розрахунку

Розрахувати і вибрати електрофільтр типу ЕГА, призначений для очищення газів електросталеплавильної печі й аспіраційних установок цеху при наступних вихідних даних:

- об'єм очищуваних газів за робочих умов – $V=10^6$ м³/год;
- температура газу – $t = 30$ °С;
- розрідження на вході в електрофільтр – $p_1=1$ кПа;
- коефіцієнт динамічної в'язкості газу – $\mu=18,65 \cdot 10^{-6}$ Па·с;
- початкова запиленість газу – $z_1=1,4$ г/м³;
- необхідна запиленість очищеного газу – $z_2=0,05$ г/м³.
- дисперсний (фракційний) склад уловлюваного пилу:

Крупність, мкм	0÷2	2÷4	4÷6	6÷8	8÷10	10÷20
Масова частка, %	52,0	22,0	6,4	7,6	2,7	9,3

Відповідно до заданого фракційного складу характеристики частинок пилу по фракціям наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики частинок пилу

Крупність, мкм	0÷2	2÷4	4÷6	6÷8	8÷10	10÷20
Середній розмір частинок, мкм	1	3	5	7	9	10
Середній еквівалентний радіус частинок r, мкм	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5

Розрахунок виконується в наступній послідовності.

1. За формулою (2.1) визначається відносна щільність очищуваного газу, (тиск очищуваного газу $p=p_{ст}-p_1$):

$$\beta = \frac{p \cdot (273 + t_{ст})}{p_{ст} \cdot (273 + t)}$$

де $p_{ст}=101,3$ кПа, $t_{ст}=20$ °С.

$$\beta = \frac{(101,3 - 1) \cdot 293}{101,3 \cdot (273 + 30)} = 0,957.$$

2. Визначається критична напруженість електричного поля (формула 2.2):

$$E_{кр} = 3,04 \cdot \left(\beta + 0,0311 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6, \text{ В/м,}$$

$$E_{кр} = 3,04 \cdot \left(0,957 + 0,0311 \cdot \sqrt{\frac{0,957}{0,001}} \right) \cdot 10^6 = 5,83 \cdot 10^6 \text{ В/м.}$$

3. Визначається критична напруга корони (формула 2.3):

$$U_{кр} = E_{кр} \cdot R_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S_1} - \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S_1} \right), \text{ В,}$$

$$U_{кр} = 5,83 \cdot 10^6 \cdot 0,001 \left(\frac{3,14 \cdot 0,15}{0,18} - \ln \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,001}{0,18} \right) = 34,84 \cdot 10^3 \text{ В.}$$

4. Визначається напруженість електричного поля при робочій напрузі $U =$

= 85 кВ (формула 2.4):

$$E = \left[\frac{8 \cdot \pi \cdot f \cdot H \cdot U \cdot (U - U_{кр})}{9 \cdot 10^9 \cdot \epsilon_0 \cdot S_1^3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S_1} - \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S_1} \right)} \right]^{0,5}, \text{ В/м,}$$

$$E = \left[\frac{8 \cdot 3,14 \cdot 0,0423 \cdot 0,15 \cdot 85 \cdot (85 - 34,84) \cdot 10^6}{9 \cdot 10^9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,18^3 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 0,15}{0,18} - \ln \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,001}{0,18} \right)} \right]^{0,5} =$$

$$= 4,9 \cdot 10^5 \text{ В/м.}$$

5. Визначається швидкість дрейфу частинок пилу крупністю 1 мкм (формула 2.5):

$$w = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \cdot r}{\mu}, \text{ м/с,}$$

$$w_1 = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot (4,9 \cdot 10^5)^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{18,65 \cdot 10^{-6}} = 0,076 \text{ м/с.}$$

Аналогічно обчислюють швидкості дрейфу частинок крупністю 3, 5, 7, 9 і 10 мкм при відповідних середніх еквівалентних радіусах (див. табл. 2.1). Результати розрахунку швидкості дрейфу частинок представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Фракційний склад і швидкість дрейфу частинок пилу в електрофільтрі

Показники	Розмір частинок пилу, мкм					
	0÷2	2÷4	4÷6	6÷8	2÷10	10÷20
Середній розмір частинок, мкм	1	3	5	7	9	10
Середній еквівалентний радіус r, мкм	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5
Масова частка фракцій Φ_i , %	52,0	22,0	6,4	7,6	2,7	9,3
Швидкість дрейфу частинок, w, м/с	0,076	0,228	0,380	0,532	0,684	0,761

Приймають позначення $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ типорозмірів електрофільтрів ЕГА за значенням $T = S_0/S$ (див. додаток А): $T_1 = 38,2, T_2 = 57,7, T_3 = 77,0, T_4 = 86,6, T_5 = 88,0, T_6 = 115,5$.

Електрофільтри відповідно до прийнятого позначення типорозмірів представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Прийняті позначення типорозмірів електрофільтрів і значення відношень загальної площі осаджувальних електродів до площі активного перерізу електрофільтрів ЕГА

Прийняте позначення типорозміру електрофільтра	Типорозмір електрофільтра	Відношення загальної площі осаджувальних електродів до площі активного перерізу електрофільтра
T ₁	ЕГА 1-10-6-4-2	38,2
T ₂	ЕГА 1-10-6-4-3; ЕГА 1-10-6-6-2; ЕГА 1-14-7,5-4-3; ЕГА 1-14-7,5-6-2; ЕГА 1-20-7,5-4-3; ЕГА 1-20-7,5-6-2; ЕГА 1-20-9-6-2; ЕГА 1-30-7,5-4-3; ЕГА 1-30-7,5-6-2; ЕГА 1-30-9-6-2; ЕГА 1-40-7,5-4-3; ЕГА 1-40-7,5-6-2; ЕГА 1-40-9-6-2.	57,7
T ₃	ЕГА 1-14-7,5-4-4; ЕГА 1-20-7,5-4-4; ЕГА 1-30-7,5-4-4; ЕГА 1-40-7,5-4-4.	77,0
T ₄	ЕГА 1-10-6-6-3; ЕГА 1-14-7,5-6-3; ЕГА 1-20-7,5-6-3; ЕГА 1-20-9-6-3; ЕГА 1-30-7,5-6-3; ЕГА 1-30-12-6-3; ЕГА 1-40-7,5-6-3; ЕГА 1-40-9-6-3; ЕГА 1-40-12-6-2; ЕГА 2-48-12-6-3; ЕГА 2-56-12-6-3; ЕГА 2-76-12-6-3; ЕГА 2-88-12-6-3.	86,6
T ₅	ЕГА 1-30-9-6-3	88,0
T ₆	ЕГА 1-20-9-6-4; ЕГА 1-30-9-6-4; ЕГА 1-30-12-6-4; ЕГА 1-40-9-6-4; ЕГА 1-40-12-6-4; ЕГА 2-48-12-6-4; ЕГА 2-56-12-6-4; ЕГА 2-76-12-6-4; ЕГА 2-88-12-6-4.	115,5

Приймають значення швидкостей очищуваного газу u : 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 м/с і обчислюють за формулами (2.6) і (2.7) фракційні і загальні ступені

уловлювання пилу для зазначених швидкостей газу і наведених у таблиці 2.2 та 2.3 значень w і T . Результати розрахунку представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку фракційного (частки) і загального (%) ступеня уловлювання пилу

T	u	η_1	η_3	η_5	η_7	η_9	η_{10}	η
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T ₁ =38,2	0,6	0,9111	0,9993	1	1	1	1	95,36
	0,8	0,8371	0,9957	0,9999	1	1	1	91,43
	1,0	0,7659	0,9872	0,9993	1	1	1	87,54
	1,2	0,7018	0,9735	0,9977	0,9998	1	1	83,89
	1,4	0,6455	0,9555	0,9944	0,9993	1	1	80,54
T ₂ =57,7	0,6	0,9742	1	1	1	1	1	98,65
	0,8	0,9355	0,9998	1	1	1	1	96,64
	1,0	0,8884	0,9987	1	1	1	1	94,16
	1,2	0,8392	0,9959	0,9999	1	1	1	91,54
	1,4	0,7912	0,9909	0,9997	1	1	1	88,94
T ₃ =77,0	0,6	0,9924	1	1	1	1	1	99,60
	0,8	0,9743	1	1	1	1	1	98,66
	1,0	0,9464	0,9999	1	1	1	1	97,21
	1,2	0,9127	0,9994	1	1	1	1	95,44
	1,4	0,8764	0,9982	1	1	1	1	93,53
T ₄ =86,6	0,6	0,9959	1	1	1	1	1	99,78
	0,8	0,9837	1	1	1	1	1	99,15
	1,0	0,9628	1	1	1	1	1	98,06
	1,2	0,9356	0,9998	1	1	1	1	96,64
	1,4	0,9047	0,9992	1	1	1	1	95,02
T ₅ =88,0	0,6	0,9963	1	1	1	1	1	99,80
	0,8	0,9848	1	1	1	1	1	99,20
	1,0	0,9648	1	1	1	1	1	98,16
	1,2	0,9384	0,9998	1	1	1	1	96,79
	1,4	0,9083	0,9993	1	1	1	1	95,21

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
T ₆ =115,5	0,6	0,9994	1	1	1	1	1	99,96
	0,8	0,9959	1	1	1	1	1	99,78
	1,0	0,9876	1	1	1	1	1	99,35
	1,2	0,9743	1	1	1	1	1	98,66
	1,4	0,9566	1	1	1	1	1	97,74

За результатами розрахунку будують графіки залежності ефективності електрофільтра від його типорозміру при різних швидкостях газу (див. рис.2.5).

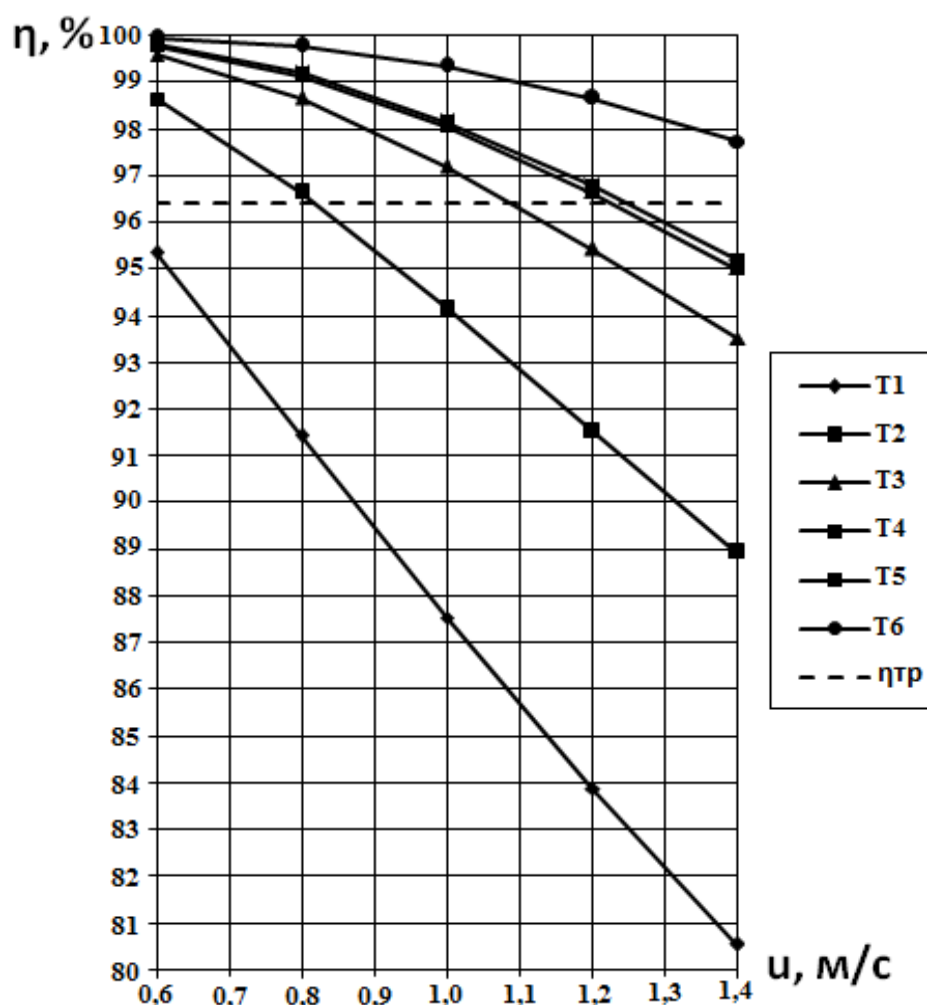


Рисунок 2.5 – Залежність ефективності очищення газу від швидкості газу і типорозміру електрофільтра T

Необхідна ступінь уловлювання пилу при початковій запыленості газу $z_1=1,4 \text{ г/м}^3$ і кінцевій $z_2=0,05 \text{ г/м}^3$ складе:

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{1,4 - 0,05}{1,4} \cdot 100 = 96,4 \%$$

Значення необхідної запиленості наносять на графік (рис. 2.5). Порівняння необхідної запиленості та розрахункової ефективності електрофільтра при різних типорозмірах показує можливість застосування для задовільного очищення газу типорозмір T_2 – при швидкості газу до 0,8 м/с, T_3 – при швидкості газу до 1,1 м/с, T_4 і T_5 – при швидкості газу до 1,2 м/с і T_6 – у всьому діапазоні прийнятих у розрахунку швидкостей газу.

Досвід експлуатації електрофільтрів показує в якості найбільш кращої швидкості газу інтервал 1,0÷1,2 м/с. Зокрема, при швидкості 1,2 м/с і $\eta_{\text{тр}}=96,4\%$ приймаються до розгляду електрофільтри типорозмірів, які на графіку лежать вище лінії необхідного ступеня очищення (криві T_4 , T_5 , T_6), оскільки електрофільтри з типорозмірами, які лежать під цією лінією, не забезпечують необхідний ступінь уловлювання пилу.

У розглянутому випадку доцільно встановити електрофільтр типорозміру T_4 , який має менші габаритні розміри і металоємність конструкції в порівнянні з типорозмірами T_5 і T_6 .

При очищенні в електрофільтрі 10^6 м³/год газу і швидкості газу 1,2 м/с необхідна площа активного перерізу електрофільтра складе:

$$S = \frac{1000000}{3600 \cdot 1,2} = 231,5 \text{ м}^2.$$

Найбільш близьким за площею активного перерізу являється електрофільтр ЕГА 2-76-12-6-3, у якого $S=246,6$ м² (див. додаток А). Швидкість очищуваного газу в цьому електрофільтрі складе:

$$U = \frac{1000000}{3600 \cdot 246,6} = 1,13 \text{ м/с}.$$

При такій швидкості газу в електрофільтрі ступінь уловлювання пилу складе понад 97%, що відповідає умовам розрахунку.

3 ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗІВ ВІД ШКІДЛИВИХ ГАЗОПОДІБНИХ ВИКИДІВ

У числі шкідливих газоподібних викидів слід виділити оксиди вуглецю, сірки та азоту, на частку яких припадає основна маса шкідливих речовин, що надходять в атмосферу повітря від промислових підприємств. При цьому мова

йде про промислові гази, концентрація в яких оксидів вуглецю, сірки та азоту знаходиться в межах від десятих часток відсотків до декількох відсотків, що виключає можливість їх утилізації в процесі очищення і відповідно подальше використання.

Внаслідок великих обсягів промислових газів і високої запиленості, що обмежує застосування цілого ряду методів очищення, спеціальне очищення промислових газів від оксидів вуглецю, сірки та азоту практично не проводиться. Реальне скорочення викидів цих газів здійснюється в основному на стадії промислових технологій, наприклад, шляхом зниження недопалу палива, що зменшує викиди CO, зниження вмісту сірки в паливі та сировині, що зменшує викиди оксидів сірки і зниження температури топкових процесів, що зменшує викиди оксидів азоту.

Проте, відомий ряд промислових і дослідно-промислових установок, науково-дослідних і проектно-конструкторських розробок в напрямку зниження шкідливих газоподібних викидів з промисловими газами.

Апарати, що серійно випускаються для очищення промислових газів від невеликого вмісту оксидів вуглецю, сірки та азоту відсутні. Нижче наведено короткий виклад стану питання з очищення промислових газів від цих викидів.

3.1 Очищення газів від оксидів вуглецю

Слід виділити три способи очищення газів від CO, які можна застосувати в промислових масштабах:

- *допалювання CO в промислових газах;*
- *сорбція CO рідкими і твердими поглиначами;*
- *каталітичне окислення CO.*

Допалювання CO до CO₂ можливе при дотриманні двох умов: концентрація CO в газах повинна бути вище нижньої межі займання CO (більше 12,5%), а температура газів в процесі допалювання повинна бути вище температури займання CO (~ 800 °C). Виконання обох умов стосовно до відхідних промислових газів вельми проблематичне, так як гази, що відходять зазвичай залишають технологічні печі, агрегати, енергетичні та інші установки при невеликій концентрації CO (до 1% або максимум кілька відсотків) з температурою значно нижчою температури займання.

При поглинанні CO певну складність представляє вибір сорбенту для CO, так як для його поглинання необхідно використовувати тільки ті сорбенти, які не вступають в реакцію з CO. В числі таких сорбентів можливе застосування мідноаміачних солей. Процес йде при високих тисках (до 30 МПа), що практично виключає його застосування для очищення газів в промислових масштабах. Застосування інших сорбентів, наприклад цеолітів, малоперспективне внаслідок невеликої поглинальної здатності сорбентів і необхідності глибокого попереднього очищення газів від пилу і надмірної вологи.

Реалізація каталітичного окислення CO промислових газів в CO₂ внаслідок запиленості газів і наявності в промислових газах ряду небажаних з'єднань, наприклад, оксидів сірки, стримується вибором каталізатора.

3.2 Очищення газів від оксидів сірки

Для вилучення оксидів сірки з промислових газів можливе застосування абсорбції (рідкими поглиначами), адсорбції (твердими поглиначами) і каталітичних методів, які полягають в окисленні сірчистого ангідриду SO₂ в присутності каталізатора до сірчистого ангідриду SO₃ з поглинанням останнього водою і утворенням сірчаної кислоти.

Для очищення промислових газів від SO₂ розроблено ряд методів: вапняно-вапняковий, аміачний, содовий, магнезитовий та інші. Ці методи крім очищення дозволяють отримати цінні попутні продукти (сірчану кислоту, добриво та інші). Рентабельні ці методи тільки при відносно високих концентраціях сірчистого ангідриду в очищуваних газах. Концентрація SO₂ у відхідних промислових газах зазвичай не перевищує десятих часток відсотка.

У промислових масштабах найбільш прийнятним є вапняно-вапняковий метод видалення оксидів сірки, який базується на здатності сірчистого ангідриду утворювати з водою кислоту, яка легко вступає в реакції з лугами. При цьому можливі три варіанти реалізації методу.

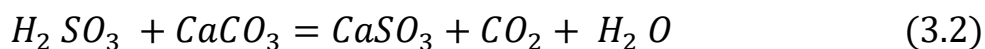
1. *Промивання газу в скруберах вапняним молоком, що вимагає застосування вапна (CaO), яке одержується з вапняку (CaCO₃) в обпалювальних агрегатах. При великих обсягах промислових газів це призводить до значних капітальних і енергетичних витрат.*

2. Промивання газу в скруберах суспензією тонкоподрібненого вапняку.

Недолік цього методу обумовлений малою реакційною здатністю вапняку в порівнянні з вапном, що вимагає надлишкових витрат і високу ступінь подрібнення вапняку, скрубєрів великих розмірів і рясного зрошення, на яке витрачається велика кількість води.

3. Введення подрібненого вапняку безпосередньо в топку технологічних печей або котлів. Це призводить до випалу вапняку і утворення вапна. Вапно відноситься в скрубєр газоочищення разом з продуктами згоряння, де відбувається нейтралізація оксидів сірки. Недоліком цього методу є забруднення поверхонь робочих об'ємів технологічних агрегатів і поверхонь нагріву котлів. Можливі також перепалення й дезактивація вапна, що робить його застосування практично марним.

При вмісті сірчистого ангідриду в газах до 0,5% доцільне застосування вапнякового методу, який полягає в обробці очищеного газу суспензією вапняку (CaCO_3) в порожнистих або насадних форсункових скрубєрах. Виведення сірчистого ангідриду з газів відбувається внаслідок реакцій:



Сульфід кальцію (CaSO_3) погано розчинний у воді і випадає з розчину у вигляді дрібних кристалів.

Ступінь очищення газів вапняковим методом становить до 70%.

3.3 Очищення газів від оксидів азоту

До основних методів очищення газу від оксидів азоту відноситься:

- очистка рідкими лужними і селективними сорбентами;
- очищення із застосуванням кислот і окислювачів;
- очистка адсорбентами (селикогелем, алюмогелем, активованим вугіллям та іншими);
- каталітичне розкладання оксидів азоту у присутності газів-відновників;
- термічне розкладання оксидів азоту у присутності відновників (метану, рідкого вуглеводню, коксу).

Застосування перерахованих методів вимагає досить складного апаратурного оформлення, а при великих об'ємах промислових газів значних витрат реактивів і енерговитрат. Все це робить доцільним зниження викидів

оксидів азоту в атмосферу безпосереднім впливом на процес їх утворення в топках технологічних печей і котельних агрегатів.

Утворення оксидів азоту в процесі згоряння палива зменшується при зниженні температури горіння, зменшенні надлишку кисню і часу перебування продуктів згоряння в зоні високих температур. Відповідно, в якості основних заходів щодо зниження утворення оксидів азоту можна відзначити: рециркуляцію продуктів згоряння в зону підвищених температур і двоступеневе спалювання, що знижує температуру в топці, зменшення надлишку повітря та інші.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теверовский Б.З. Очистка промышленных газов в черной металлургии. Справочное пособие. – К.: Техника, 1993. – 151 с.
2. Теверовский Б.З. Розрахунки пристроїв для очищення промислових газів від пилу: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1991. – 89 с.
3. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: Учебник для вузов. 2-е изд.: М.: Металлургия. 1990. – 400 с.
4. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов от пыли: Справ. изд. М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
5. Очистка технологических и неорганизованных выбросов от пыли в черной металлургии / А.И. Толочко, О.В. Филиппев, В.И. Славин и др. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.
6. Пылеулавливание в металлургии: Справ. изд. / В.М. Алешина, А.Ю. Вальдберг, Г.М. Гордон и др. – М.: Металлургия, 1984. – 336 с.
7. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. – М.: Энергоавтомиздат, 1983. – 312 с.
8. Ганз С.Н. Очистка промышленных газов. Справочное пособие. – Днепропетровск: Промінь, 1977. – 114 с.

ДОДАТОК А

Конструктивні характеристики електрофільтрів ЕГА

Типорозмір електрофільтра	Активна висота електродів, м	Число полів	Площа активного перерізу S, м ²	Загальна площа осаджування S ₀ , м ²	Габаритні розміри електрофільтра, м			T = $\frac{S_0}{S}$
					Довжина	Ширина (по осях опор)	Висота	
ЕГА 1-10-6-4-2	6,0	2	16,5	630	9,26	3,2	12,4	38,2
ЕГА 1-10-6-4-3	6,0	3	16,5	950	13,44	3,2	12,4	57,6
ЕГА 1-10-6-6-2	6,0	2	16,5	950	11,82	3,2	12,4	57,6
ЕГА 1-10-6-6-3	6,0	3	16,5	1430	17,28	3,2	12,4	86,7
ЕГА 1-14-7,5-4-3	7,5	3	28,7	1660	13,44	4,4	13,9	57,8
ЕГА 1-14-7,5-4-4	7,5	4	28,7	2210	17,62	4,4	13,9	77,0
ЕГА 1-14-7,5-6-2	7,5	2	28,7	1660	11,82	4,4	14,9	57,8
ЕГА 1-14-7,5-6-3	7,5	3	28,7	2480	17,28	4,4	14,9	86,4
ЕГА 1-20-7,5-4-3	7,5	3	41,0	2360	13,44	6,2	15,4	57,6
ЕГА 1-20-7,5-4-4	7,5	4	41,0	3160	17,62	6,2	15,4	77,0
ЕГА 1-20-7,5-6-2	7,5	2	41,0	2360	11,82	6,2	15,4	57,6
ЕГА 1-20-7,5-6-3	7,5	3	41,0	3550	17,28	6,2	15,4	86,6
ЕГА 1-20-9-6-2	9,0	2	49,0	2830	11,82	6,2	16,9	57,7
ЕГА 1-20-9-6-3	9,0	3	49,0	4240	17,28	6,2	16,9	86,5
ЕГА 1-20-9-6-4	9,0	4	49,0	5660	22,74	6,2	16,9	115,5
ЕГА 1-30-7,5-4-3	7,5	3	61,4	3550	13,44	9,2	14,9	57,8
ЕГА 1-30-7,5-4-4	7,5	4	61,4	4730	17,62	9,2	14,9	77,0
ЕГА 1-30-7,5-6-2	7,5	2	61,4	3550	11,82	9,2	14,9	57,8
ЕГА 1-30-7,5-6-3	7,5	3	61,4	5320	17,28	9,2	14,9	86,7
ЕГА 1-30-9-6-2	9,0	2	73,4	4240	11,82	9,2	16,4	57,8
ЕГА 1-30-9-6-3	9,0	3	73,4	6460	17,28	9,2	16,4	88,0
ЕГА 1-30-9-6-4	9,0	4	73,4	8480	22,74	9,2	16,4	115,5
ЕГА 1-30-12-6-3	12,0	3	97,4	8430	17,28	9,2	19,4	86,5
ЕГА 1-30-12-6-4	12,0	4	97,4	11240	22,74	9,2	19,4	115,4
ЕГА 1-40-7,5-4-3	7,5	3	81,9	4730	13,44	12,2	15,4	57,7
ЕГА 1-49-7,5-4-4	7,5	4	81,9	6310	17,62	12,2	15,4	77,0
ЕГА 1-40-7,5-6-2	7,5	2	81,9	4730	11,82	12,2	15,4	57,5
ЕГА 1-40-7,5-6-3	7,5	3	81,9	7100	17,28	12,2	15,4	86,7
ЕГА 1-40-9-6-2	9,0	2	97,9	5650	11,82	12,2	16,9	57,7
ЕГА 1-40-9-6-3	9,0	3	97,9	8480	17,28	12,2	16,9	86,6
ЕГА 1-40-9-6-4	9,0	4	97,9	11300	22,74	12,2	16,9	115,4
ЕГА 1-40-12-6-2	12,0	3	129,8	11240	17,28	12,2	19,9	86,5
ЕГА 1-40-12-6-3	12,0	4	129,8	15000	22,74	12,2	19,9	115,6
ЕГА 2-48-12-6-3	12,0	3	155,8	13500	17,28	15,2	19,9	86,6
ЕГА 2-48-12-6-4	12,0	4	155,8	18000	22,74	15,2	19,9	115,3
ЕГА 2-56-12-6-3	12,0	3	181,7	15750	17,28	17,6	19,9	86,7
ЕГА 2-56-12-6-4	12,0	4	181,7	21000	22,74	17,6	19,9	115,6

Продовження додатка А

Типорозмір електрофільтра	Активна висота електродів, м	Число полів	Площа активного перерізу S, м ²	Загальна площа осаджування S ₀ , м ²	Габаритні розміри електрофільтра, м			T = $\frac{S_0}{S}$
					Довжина	Ширина (по осях опор)	Висота	
ЕГА 2-76-12-6-3	12,0	3	246,6	21400	17,28	23,6	19,9	86,8
ЕГА 2-76-12-6-4	12,0	4	246,6	28500	22,74	23,6	19,9	115,6
ЕГА 2-88-12-6-3	12,0	3	285,6	24750	17,28	27,2	19,9	86,7
ЕГА 2-88-12-6-4	12,0	4	285,6	33000	22,74	27,2	19,9	115,5

Умовні позначення типорозміру електрофільтра: Е – електрофільтр; Г – горизонтальний; А – модифікація; числа після букв позначають: перше – кількість секцій, друге – кількість газових проходів, третє – номінальна висота електродів (м), четверте – кількість елементів в осаджувальному електроді, п'яте – кількість електричних полів по довжині електрофільтра.

Навчальне видання

Гічов Юрій Олександрович

ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

Частина II

Конспект лекцій

Тем. план. , поз.

Підписано до друку . Формат 60×84 1/16. Папір друк. Друк плоский.
Облік.-вид. арк. . Умов. друк. арк. . Тираж 50 пр. Замовлення №

Національна металургійна академія України
49600, м. Дніпропетровськ-5, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ