

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЧЕРНЯКОВА О. І.

МЕТОДИ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2020

УДК 504
Ч - 49

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол № 10 від 4.07.2019 р.)

Чернякова О.І.

Методи захисту атмосфери : конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2019. 89 с.

В конспекті лекцій дана загальна характеристика сучасних методів захисту атмосфери від забруднення викидами підприємств. Розглянуті основні методи та апарати, які дозволяють істотно зменшити кількість аерозолів та газоподібних шкідливих речовин, що зможе зменшити забруднення повітря.

ISBN 978-966-186-055-0

© Чернякова О. І., 2019

© Одеський державний екологічний університет, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ.....	5
2 ВИЛУЧЕННЯ АЕРОЗОЛІВ З ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	21
2.1 Основні фізико-хімічні властивості пилу.....	21
2.2 Очищення промислових газів у сухих механічних пиловловлювачах.....	26
2.2.1 Гравітаційні пиловловлювачі.....	27
2.2.2 Інерційні пиловловлювачі.....	27
2.2.3 Відцентрові пиловловлювачі.....	28
2.2.4 Очищення промислових газів у фільтрах	33
3 ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗІВ У МОКРИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧАХ	40
4 ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ В ЕЛЕКТРОФІЛЬТРАХ.....	50
5 УЛОВЛЮВАННЯ ТУМАНІВ.....	52
6 РЕКУПЕРАЦІЯ УЛОВЛЕНОГО ПИЛУ.....	55
7 СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ ВІД ГАЗОПОДІБНИХ ДОМШОК.....	59
7.1 Основні напрямки захисту повітряного басейну	59
7.2 Очищення промислових газів від сполук сірки.....	63
7.2.1 Очищення від сірчистого ангідриду.....	63
7.2.2. Аміачні методи очищення газів від сірчистого ангідриду.....	64
7.2.3 Методи очищення газів, основані на нейтралізації сірчистого ангідриду.....	65
7.2.4 Каталітичні методи очищення газів від сірчистого ангідриду.....	67
7.2.5 Очищення промислових газів від сірководню.....	70
7.3 Санітарне очищення промислових газів від оксидів азоту.....	72
7.3.1 Окислювальні методи очищення газів від оксидів азоту...	74
7.3.2 Відновні методи очищення газів від оксидів азоту.....	77
7.3.3 Очищення газів від оксидів азоту методами сорбції.....	80
7.4 Санітарне очищення газів від оксиду вуглецю.....	82
7.5 Санітарне очищення газів від парів розчинників.....	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	88

ВСТУП

Дисципліна "Методи захисту атмосфери" належить до професійно-практичного (професійно-орієнтованого) циклу підготовки за напрямом підготовки – 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Викладається дисципліна «Методи захисту атмосфери» на 4 курсі у 8 семестрі.

Метою даного курсу є вивчення сучасних методів захисту атмосферного повітря. Захист повітряного басейну від викидів промислових підприємств і енергетичних об'єктів є однією з найважливіших проблем сучасного виробництва. Забруднення повітряного середовища викликає порушення в екологічних системах, погіршує санітарно-гігієнічний стан атмосферного повітря і завдає величезної шкоди. Тому вкрай важливо вживати необхідних заходів щодо запобігання викидів в атмосферу, будівництво очисних споруджень, розробку та освоєння серійного виробництва нових видів газоочисного і пилоочисного устаткування.

Очищення промислових газів від твердих і рідких завислих частинок застосовують не тільки для захисту навколишнього середовища, це також дуже необхідна в цілому ряді технологічних процесів процедура:

- для вилучення з газів корисних продуктів;
- для вловлювання домішок, що утрудняють проведення технологічного процесу;
- для зменшення зносу устаткування;
- для поліпшення умов праці.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати основні методи очищення повітря, способи уловлювання різних шкідливих речовин, види споруд для очищення газів, параметри очищення, правила і умови експлуатації цих споруд.

Найбільш тісно дисципліна пов'язана з такими дисциплінами як «Управління та поведження з відходами», «Екологічна безпека», «Техноекологія». Знання, що здобудуть студенти після вивчення цієї дисципліни, потрібні при написанні бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Головною формою організації вивчення дисципліни "Методи захисту атмосфери" є самостійна робота над програмою курсу, лекції та практичні заняття. Основною формою контролю засвоєння знань є опит студентів під час практичних занять та контрольні роботи, які дозволяють визначити рейтинг студента.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря є :

- промислові підприємства;
- транспорт;
- теплові електростанції.

Кожне з цих джерел пов'язане з виділенням великої кількості специфічних токсичних речовин, що іноді не піддаються відразу ідентифікації.

Наприклад, підприємства чорної металургії викидають гази, що містять пил, оксиди сірки й металів. На 1 т чавуну викидається 4,5 кг пилу, 2,7 кг SO_2 , 0,1—0,5 кг Mn, а також сполуки миш'яку, фосфору, сурми, свинцю, ртуті, рідкісних металів, смолисті речовини.

Агломераційні фабрики викидають пил і двооксид сірки (190 кг SO_2 на 1 т руди).

Мартенівські та конверторні цехи виділяють значні маси пилу. На 1 т мартенівської сталі виділяється 3000—4000 м³ газів з концентрацією пилу в середньому 0,5 г/м³, 60 кг CO та 3 кг SO_2 .

Коксохімічні цехи забруднюють атмосферу пилом і сумішшю летких сполук.

Підприємства кольорової металургії викидають запилені гази, що містять двооксид сірки, фтористі гази і метали. З тонни пилу, що надходить в атмосферу при плавлі мідних руд, можна вилучити до 100 кг міді та ненабагато менше свинцю й цинку. Викиди металургійних підприємств характеризуються високою температурою, що досягає 800 °C та більше.

Підприємства хімічної промисловості, викидають пил, що містить неорганічні й органічні речовини і гази: CO_2 , CO, NH_3 , SO_2 , NO_x , HCl, HF, SF_4 , H_2S й ін.

Повітряні викиди нафтовидобувної і нафтопереробної промисловості містять вуглеводні, сірководень і гази, які мають неприємний запах.

Заводи промисловості будівельних матеріалів викидають пил, фториди, діоксиди сірки й азоту.

Вихлопні гази автомобілів містять приблизно 200 речовин, у тому числі канцерогенні вуглеводні й тетраетилсвинець.

Теплові електростанції виділяють в атмосферу гази, що містять оксиди сірки, азоту й вуглецю, золу, метали [1].

Забруднюючі речовини з джерел викидів а атмосферне повітря можуть надходити:

- безупинно або періодично;
- залпами або миттєво.

У випадку залпових викидів за короткий проміжок часу в повітря виділяється велика кількість шкідливих речовин. Залпові викиди можливі:

- при аваріях,
- при спалюванні відходів виробництва на спеціальних площадках знищення.

При миттєвих викидах небезпечні домішки викидаються в частинки секунди іноді на значну висоту. Таке відбувається при підричних роботах й аваріях.

Таким чином, із газами, що викидаються в атмосферу надходять тверді, рідкі, паро- і газоподібні неорганічні й органічні речовини. Тому за агрегатним станом забруднювальні речовини підрозділяють на:

- тверді;
- рідкі;
- газоподібні;
- і змішані.

Промислові гази, що надходять в атмосферу, містять завислі тверді або рідкі частинки та являють собою двофазні системи. Причому суцільною фазою в системі є гази, а дисперсною - тверді частинки або крапельки рідини. Такі системи називають аерозолями, які розділяють на пил, дим та тумани.

Аерозолі, що містять тверді частинки с розмірами більш 10 мкм називаються грубим пилом, від 1 до 10 мкм — дрібним пилом, а менше ніж 1 мкм - димом. Аерозолі з рідкими частинками розмірами менше ніж 1 мкм називаються туманом.

Дисперсна фаза може складатися:

- з частинок однакової величини (монодисперсна система);
- чи з частинок різної величини (полідисперсна система).

Промислові газові викиди можна класифікувати також і за такими критеріями :

- по організації відводу й контролю - на організовані й неорганізовані;
- по температурі - на нагріті (температура суміші вище температури повітря) і холодні;
- за ознаками наявності очищення - на ті, що викидають без очищення (організовані та неорганізовані) і після очищення (організовані).

Для зниження забруднення атмосфери від промислових викидів:

- удосконалюють технологічні процеси,
- здійснюють герметизацію технологічного встаткування,
- застосовують пневмотранспорт,
- будують різні очисні споруди.

Загалом усі методи запобігання забрудненню атмосфери промисловими викидами можна поділити на дві великі групи :

- пасивні
- активні.

Пасивні пов'язані зі зменшенням концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі без зміни їх абсолютних кількостей, що надходять в атмосферу. До таких методів відноситься розведення викиду атмосферним повітрям, що здійснюється , наприклад, шляхом будівництва більш високих труб, які відводять викиди. Існують труби, висота яких досягає 250 метрів. Також до цієї групи методів різні автори відносять і організацію санітарно-захисних зон підприємств , раціональне розміщення джерел викидів на території та вживання заходів, які дозволяють неорганізовані викиди зробити організованими [2, 3].

Активні методи зниження забруднення атмосфери зменшують абсолютну кількість забруднювальних речовин, які надходять в атмосферу. До них відносять технологічні і інструментальні методи.

Технологічні методи зниження забруднення атмосфери це:

- перехід виробництва на нову технологію, пов'язану з утворенням меншої кількості домішок, що попадають в атмосферу;
- перехід на менш ресурсо- і енергоємні технології;
- внесення змін у технологічний процес, які дозволяють зв'язувати забруднюючі речовини, що утворюються, чи перешкоджають їхньому утворенню.

До інструментальних методів зниження забруднення атмосфери відноситься обробка викиду в очисних спорудах.

Величезне значення у вирішенні проблеми захисту атмосферного повітря в Україні надається заходам науково-технічного характеру, зокрема, розробці нових мало- і безвідхідних технологій. З метою цього захисту робота промислових підприємств повинна організовуватись таким чином, щоб відходи, які утворюються, перетворювалися на нові продукти. Формула сучасного виробництва «Продукти та відходи» повинна поступово перетворюватися на формулу «Цільові продукти й побічні (вторинні) продукти», що характеризує безвідхідну технологію. Процес наближення виробництва до безвідхідної технології варто характеризувати відношенням кількості використаної сировини та енергії до загальних витрат сировини і енергії [4].

Відповідно до законів [5, 6] в промисловості розпочались серйозні заходи щодо вдосконалювання різних виробництв й рекуперації відходів, по створенню процесів на основі маловідходної і безвідходної технології. У загальному вигляді ці заходи спрямовані на створення таких схем і режимів виробництва:

- комплексних схем, що дозволяють максимально використати всі інгредієнти сировини та шкідливих речовин і забезпечують дотримання нормативів у потоках, що відходять;
- енерготехнологічних схем з утилізацією тепла реакцій в результаті чого деякі виробництва, наприклад аміаку, перетворюються з енергоспоживаючих на ті, які виробляють енергію;
- технологічних режимів, що забезпечують випуск продукції високої якості, яку можна використати більш ефективно у більш тривалий строк.

При розробці маловідходних і безвідходних виробництв використовують системний аналіз, що дозволяє здійснювати синтез технологічної системи з обліком оптимальних економічних критеріїв окремих підсистем - елементів системи:

- вузла видобутку та кондиціонування сировини;
- переробки сировини в цільовий продукт;
- виділення цільового продукту;
- утилізації уловлених у викидах забруднюючих речовин.

При цьому враховується взаємодія всіх елементів системи з навколишнім середовищем.

Дослідження вчених багатьох країн показують, що застосування маловідходної і безвідходної технології дозволить не тільки вирішити проблему захисту навколишнього середовища, але одночасно забезпечить високу економічну ефективність виробництва.

Дамо одне з багатьох визначень безвідходної технології. Безвідходна технологія - це такий спосіб здійснення виробництва продукції, при якому найбільш раціонально й комплексно використовуються сировина й енергія в циклі "сировинні ресурси - виробництво - споживання - вторинні ресурси" таким чином, що будь-які впливи на навколишнє середовище не порушують його нормального функціонування» [1].

Власне кажучи, як видно з наведеного визначення, безвідходна технологія повинна зводитися до розумного планування й керування виробничою діяльністю людини з метою забезпечення мінімальних втрат сировини й енергії й максимального захисту навколишнього середовища.

У багатьох країнах поряд із розглядом технічних й економічних питань, пов'язаних зі створенням маловідходної і безвідходної технологій,

ведуться широкі дослідження із прогнозування впливу розвитку економіки на стан навколишнього середовища.

Від хімічної промисловості багато в чому залежить ефективність здійснення мер по охороні навколишнього середовища, тому що вона робить різні реагенти, коагулянти, флокулянти, сорбенти, іонообмінні матеріали, каталізатори, які використовуються в системах очищення газів, що відходять. У науково-дослідних організаціях цієї галузі розробляються безвідхідні та маловідходні процеси й ефективні методи очищення газів, що відходять.

Таким чином, основним напрямком охорони атмосферного повітря повинна бути розробка безвідхідних і маловідходних технологічних виробництв. Однак - це завдання стратегічне й розраховане на тривалий період. В теперішній час найпоширенішим методом рішення цієї проблеми є розробка ефективних очисних установок для вловлювання й переробки газоподібних, рідких і твердих забруднюючих речовин.

Однак згідно з прийнятою Україною концепцією сталого розвитку країни пріоритет необхідно віддавати все ж таки активним методам захисту повітря від забруднення. Тому більш детально розглянемо технологічні методи запобігання забрудненню атмосфери.

Перевагою технологічних методів є:

- їхня надійність;
- незалежність від стану газоочисного устаткування, режимів його експлуатації та інших факторів;
- можливість утилізації відходів;
- більш повне використання вихідної сировини.

Зниження викидів за допомогою технологічних методів особливо ефективно, коли очищенню повинні піддаватися великі обсяги газів. Це вимагає створення громіздких і дорогих очисних споруд, що впливає на економічні показники виробництва. Тому особливу увагу технологічним методам приділяють у теплоенергетиці.

Працюючи на твердому паливі ТЕС викидає в атмосферу газоподібних відходів у десятки разів більше, ніж маса вихідного палива. У цілому газоподібні викиди ТЕС потужністю 2400 МВт складають близько 10^7 м³ за годину і містять близько 20 % CO₂, 0,34% SO₂ і 0,09% NO_x. Тому зниження викидів в атмосферу оксидів азоту і сірки на об'єктах теплоенергетики забезпечується, в першу чергу, удосконалюванням технології:

- переходом на більш чисті палива;
- заміною твердого і рідкого палива газом;
- зв'язуванням сполук сірки в процесі спалювання твердих і рідких видів палива;
- застосуванням режимно-конструктивних заходів.

Найбільш економічним і доступним рішенням є перехід на чисті палива, що приводить до зниження викидів SO_2 . При спалюванні твердого чи рідкого палива цього ефекту можна досягнути за рахунок попередньої обробки палива з метою зниження вмісту в ньому сполук сірки.

Вугілля містять сірку в піриті й в органічних сполуках. Піритна сірка віддаляється з вугілля фізичними методами при збагаченні палива, а органічна сірка – термічно чи хімічно.

Фізичні методи видалення піриту включають:

- гравітаційну сепарацію, засновану на різниці щільності піриту і вугілля (5 і 1,25 г/см³, відповідно);
- розподіл у важких рідинах;
- магнітну сепарацію.

Фізичні методи дозволяють знизити вміст сірки на 10 - 15%, особливо, якщо пірит присутній у вугіллях у вигляді великих включень. Для бурих вугілля характерна наявність дрібнодисперсних включень піриту.

Нафтові палива містять сірку у вигляді аліфатичних та циклічних органічних сполук.

Знизити вміст сірки у рідкому паливі можливо прямим чи непрямим способом.

У першому випадку (прямим способом) весь продукт переробки нафти в суміші з воднем піддають каталітичній гідро-обробці при підвищених температурах (350-420°C) і тиску (10-15 МПа) у реакторі в присутності нанесеного на оксидно-алюмінієву основу каталізатора - сульфиду кобальту, чи нікелю молібдену. У присутності каталізатора водень вступає в реакцію із сірчистими органічними сполуками, утворюючи сірководень і вуглеводні. Подальша сепарація суміші, яка пройшла через реактор, дозволяє одержати частково паливо, у якому менший вміст сірки. Цей метод прямого видалення сірки з рідкого палива зв'язаний із проблемою "отруєння" каталізатора домішками, які є у нафті (ванадій, нікель, залізо), а також у результаті закоксування поверхні каталізатора асфальтенами нафти.

Цих недоліків частково позбавлений метод непрямого зменшення сірки. При цьому в результаті вакуумної перегонки чи селективної екстракції від основної маси палива відокремлюють найбільш важку частину, що містить асфальтени. Отримані більш легкі компоненти палива обробляються з метою зниження вмісту сірки шляхом каталітичної гідро обробки, а потім змішуються з більш важкими компонентами.

Непрямий метод дозволяє довести вміст сірки в паливі до 1 процента, а прямий - до 0,5 процентів, що пов'язано з тим, що в першому випадку сірка відділяється тільки з легких компонентів палива.

Для очищення рідкого і твердого палива від сірки використовують їхню газифікацію з наступним спалюванням отриманих газів у топках котлів. Газифікацією називається процес перетворення твердого і рідкого палив у

газоподібне. Процес проводиться у спеціальних печах - газогенераторах, що завантажують паливом і продувають повітрям. Реакція протікає з великим виділенням тепла, паливо розжарюється. Утворюється CO_2 , який реагує з розпеченим вугіллям, утворюючи оксид вуглецю:



Оксид вуглецю є основною пальною частиною газу, що утворився. Такий газ називається генераторним. Крім оксиду вуглецю до складу генераторного газу входить азот повітря і деяка кількість вуглекислого газу. Щоб уникнути перегріву парогенератора, у повітря вводять невелику кількість водяної пари. При продувці через розігрітий парогенератор, утворюється газ, що складається з водню і CO :



Такий газ називається водяним, його склад: CO , H_2 , CO_2 і N_2 .

При заляганні вугілля тонкими шарами газифікацію проводять під землею. Ідея підземної газифікації була запропонована ще Д.І.Менделєєвим. Газифікація палив (підземна) особливо актуальна в зв'язку з виснаженням запасів нафти і газу [6].

Наступним технологічним прийомом зниження вмісту оксидів сірки в продуктах згоряння палив є зв'язування сірки в сполуках, що видаляються потім з золою, шляхом введення речовин, здатних зв'язати двооксид сірки. Такими речовинами є:

- вапняк;
- вапно;
- вапнякові шлами.

Розрізняють метод добавок і метод спалювання в киплячому шарі.

При використанні методу добавок у пальну суміш додається речовина, здатна зв'язати SO_2 , наприклад, тонко подрібнений вапняк, гідроксид кальцію чи доломіт. При високих температурах відбувається кальцинація вапняку. Оксид кальцію, зв'язує SO_2 . Потім утворюються сульфат, сульфід та не прореагований сорбент і зола відокремлюються від газового потоку. При такій процедурі добавка зв'язує і 10-40 % оксидів азоту. Недоліком методу добавок є низька ефективність, тому що уловлюється лише 20–40% діоксиду сірки.

Метод спалювання в киплячому шарі полягає в тому, що в топковій камері на ґратах створюють шар дробленого вапняку визначеної фракції, висотою до 1 м. Під ґрати подають повітря, що йде на горіння, а в киплячий шар частинок - паливо. У киплячому шарі розміщується також частина

тепловідводящих поверхонь, що дозволяє підтримувати в шарі температуру близько 850° С. При такій температурі відбувається термічна дисоціація вапняку. Потім оксид кальцію взаємодіє із сіркою, яка є в паливі, утворюючи поетапно сульфід і сульфат кальцію. Після взаємодії з сіркою палива частинки киплячого шару віддаляються з топки. На їхнє місце для збереження рівня шару в топці подається регенований оксид кальцію з деякою кількістю свіжого вапняку.

При спалюванні палива в киплячому шарі спостерігається зв'язування до 90% сірки, що знаходилась в паливі. Крім того, інтенсивний теплообмін сприяє зниженню температури в зоні горіння в порівнянні з камерним способом спалювання (метод добавок), що приводить до зменшення утворення також і оксидів азоту в продуктах згорання.

Тепер розглянемо методи, які дозволяють зменшити вміст оксидів азоту у промислових викидах, що теж є досить актуальною проблемою захисту атмосферного повітря від забруднення. При цьому слід враховувати, що вміст оксидів азоту в продуктах згорання палив в першу чергу залежить від режиму горіння і у меншому ступені залежить від виду самого палива.

Утворення оксидів азоту відбувається за рахунок окислювання азоту повітря та сполук палива, які містять азот. На вміст оксидів азоту в продуктах згорання органічних палив, відповідно до сучасних уявлень про кінетику окислювання газоподібного азоту, впливає:

- рівень температур у топці;
- концентрація кисню в зоні реакції;
- час перебування газів у зоні високих температур.

Тому для зниження вмісту оксидів азоту в продуктах згорання застосовують наступні методи:

- рециркуляцію димових газів;
- двоступінчасте окислювання;
- зниження підігріву повітря, яке подається в топку;
- розосередження зони горіння в обсязі всієї топки;
- підвищення швидкості охолодження промислового викиду і т.д.

Суть методу рециркуляції димових газів полягає в наступному. Частково охолоджені димові гази, які відходять з топки, подаються знов в пальник в суміші з атмосферним повітрям у топку. Застосування рециркуляції сприяє зниженню температури в зоні горіння, зменшенню концентрації кисню, що і призводить до зниження концентрації оксидів азоту в 2—3 рази.

Метод двоступінчастого спалювання полягає в тім, що на першому ступені спалювання проводиться при недостатці повітря. Недостача у цій зоні кисню зменшує інтенсивність утворення оксидів азоту. На другому ступені подається інша частина повітря, яка необхідна для згорання палива відповідно до прийнятого режиму. При спалюванні газу така організація топкового процесу

приводить до дворазового зниження викидів оксидів азоту, а при спалюванні мазуту - на 30–40 %.

Слід зазначити, що застосування двоступінчастого спалювання для твердого палива не завжди виправдано, тому що відбувається частковий винос палива, що не догоріло [2] .

Якщо на сучасному рівні розвитку промислових технологій за рахунок технологічних методів усунути чи знизити до припустимих значень викиди шкідливих речовин неможливо, тільки тоді удаються до інструментальних методів газоочистки. При чому методи очищення можна підрозділити на:

- регенеративні (відокремлюваний компонент не змінює своїх фізичних і хімічних властивостей і може бути або повернутий в основний технологічний процес, або використаний у первісному вигляді);
- деструкційні (відокремлюваний компонент у процесі очищення змінює свої фізичні і хімічні властивості).

Дуже важливо щоб економічна характеристика будь-якого виду діяльності вимагала розгляду зроблених витрат і отриманих доходів для досягнення необхідного балансу екологічних та економічних чинників.

Розглянемо принципову технологічну схему очищення промислових викидів (рис.1.1). Повна технологічна схема очищення складається з етапів, на яких відбувається видалення кожного виду домішок:

- відділення твердих чи рідких (гетерогенних) домішок,
- уловлювання газоподібних (гомогенних) домішок за допомогою відповідних методів.

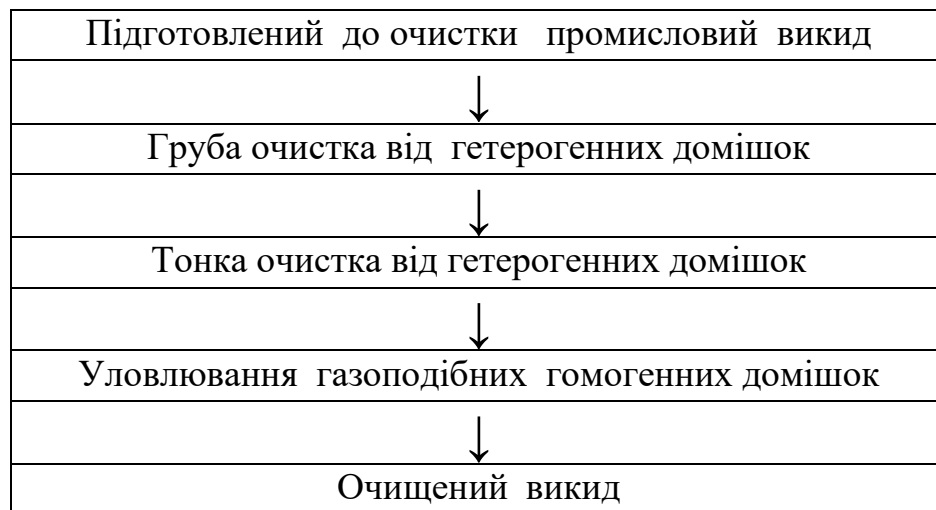


Рисунок 1.1 - Технологічна схема очищення промислових викидів

Технологія пиловловлення з урахуванням її задач і цілей включає наступні п'ять стадій:

- відведення викиду від джерела виділення;
- підготовка викиду до очищення;
- осадження зважених частинок (власне пиловловлення);
- вивантаження і транспортування уловленого пилю і шламів;
- утилізація чи поховання уловленого пилю і шламів.

Перша стадія (відведення викиду) у більшості випадків визначає кількість домішки, що викидається в атмосферу тому впливає на витрати по очищенню викиду. Якщо відведення викиду організоване ефективно, тобто вдалося локалізувати викид, то витрати на очищення, як правило, будуть меншими. Якщо відведення проводиться неефективно, викиди, розведені повітрям, надходять на очищення в більшій кількості, тому для їхнього очищення необхідні апарати більшого обсягу і витрати будуть вищі.

Друга стадія може включати :

- попереднє охолодження викиду;
- об'єднання викидів від групи устаткування;
- попереднє очищення в найпростіших пиловловлювачах з метою забезпечення оптимальних умов для застосування апаратів тонкого очищення.

Третя стадія визначає:

- доцільний механізм осадження частинок,
- вид газоочисного устаткування і параметри їхньої роботи для забезпечення необхідного ступеня очищення.

Від наявності і правильності прийняття рішень по четвертій і п'ятій стадіях залежать ступінь очищення і виключення вторинного забруднення середовища, що можливо як при вивантаженні сухого пилю з апаратів, так і при відсутності рішень з транспортування і використання уловленого пилю. При застосуванні мокрих методів очищення промислових викидів та відсутності рішень з транспортування і очищення стічних вод, що утворюються, може спостерігатися вторинне забруднення середовища.

Для кожного технологічного процесу важливо вибрати оптимальне рішення по застосуванню газоочисного устаткування. Тому вибір базується на досить складному та детальному аналізі конкретної ситуації. Досить корисно для остаточного прийняття рішення враховувати існуючу класифікацію систем очищення. Найбільш поширеною є класифікація систем очищення викидів, яка підрозділяє газоочисне устаткування по таких рівнях:

- складу речовин, що уловлюються;
- складу устаткування (способу очищення);
- ступені впливу на основне виробництво;
- режиму експлуатації.

У першому рівні класифікації виділяють:

- видалення гетерогенних домішок;
- видалення гомогенних домішок.

В другому рівні класифікації виділяють варіанти конструкції газоочисного устаткування. В залежності від видів ресурсів виділяють для розгляду варіанти з використанням води, лужних розчинів, органічних сполук, твердих матеріалів.

У третьому рівні класифікації газоочисне устаткування підрозділяють в залежності від :

- кількості викидів від основного виробництва (продуктивність основного устаткування);
- концентрації забруднювальних речовин у технологічних газах та наявності гетерогенних домішок у газовому потоці;
- способів транспортування, утилізації і видалення матеріалів, що утворилися в результаті очищення;
- можливості використання очищених газів в основному виробництві;
- витрат, що виникають в основному виробництві в зв'язку з використанням процесу очищення.

Четвертий рівень класифікації базується на варіантах режиму експлуатації очисного устаткування, таких як ,наприклад:

- швидкість газового потоку;
- швидкість потоку рідини;
- напрямок газового потоку;
- напрямок потоку рідини;
- розмір і тип насадки (сідла, тарілки, кільця);
- величина гідравлічного опору.

В свою чергу спосіб очищення пило-газового потоку визначається наступними групами факторів:

- необхідними ресурсами;
- параметрами вхідного потоку;
- параметрами вихідного потоку;
- впливом процедури очистки на основний виробничий процес;
- варіантом використання очищеного потоку;
- видом газоочисного устаткування.

Стислому викладенню існуючих методів очищення промислових викидів присвячена наступна глава конспекту.

Найбільш ефективним напрямком зниження викидів є створення безвідхідних технологічних процесів, що передбачають, наприклад, впровадження замкнутих газоподібних потоків, однак, дотепер основним засобом запобігання шкідливих викидів залишається розробка до впровадження ефективних систем очищення газів. При цьому під очищенням газу розуміють відділення від газу або перетворення у

нешкідливий стан забруднюючої речовини, що надходить від промислового джерела.

Класифікація методів й апаратів для знешкодження газових викидів від різних домішок наведена на рис. 2.2. Ця класифікація є досить загальною. Вона не охоплює всіх існуючих методів і тим більше апаратів для очищення промислових газів, однак дозволить розглянути основні та найбільш поширені [1].

Для уловлювання аерозолів (пилів і туманів) використовують сухі, мокрі і електричні методи. Крім того, апарати відрізняються друг від друга як за конструкцією так, і за принципом осадження завислих частинок.

Принцип роботи апаратів, які уловлюють пил в сухому вигляді, базується на використанні різних механізмів осадження:

- гравітаційний;
- інерційний;
- відцентровий;
- фільтраційний.

У мокрих пиловловлювачах здійснюється контакт запилених газів з рідиною. При цьому осадження відбувається:

- на краплі;
- на поверхню газових міхурів;
- або на плівку рідини.

В електрофільтрах відділення заряджених частинок аерозолу відбувається на осаджувальних електродах.

Вибір методу і апарату для уловлювання аерозолів у першу чергу залежить від їхнього дисперсного складу. Рекомендують вибирати газоочисні апарати враховуючи розміри частинок пилу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Рекомендований перелік газоочисного устаткування з урахуванням дисперсного складу пилу

Розмір частинок, мкм	Апарати
40 – 1000	Пилоосаджувальні камери
20 – 1000	Циклони діаметром 1 – 2 м
5 – 1000	Циклони діаметром 1 м
20 – 100	Скрубери
0,9 – 100	Тканеві фільтри
0,05 – 100	Волокнисті фільтри
0,01 - 10	Електрофільтри

Для знешкодження газів, що відходять, від газоподібних та пароподібних токсичних речовин застосовують наступні методи:

- абсорбції (фізичної чи хемосорбції);

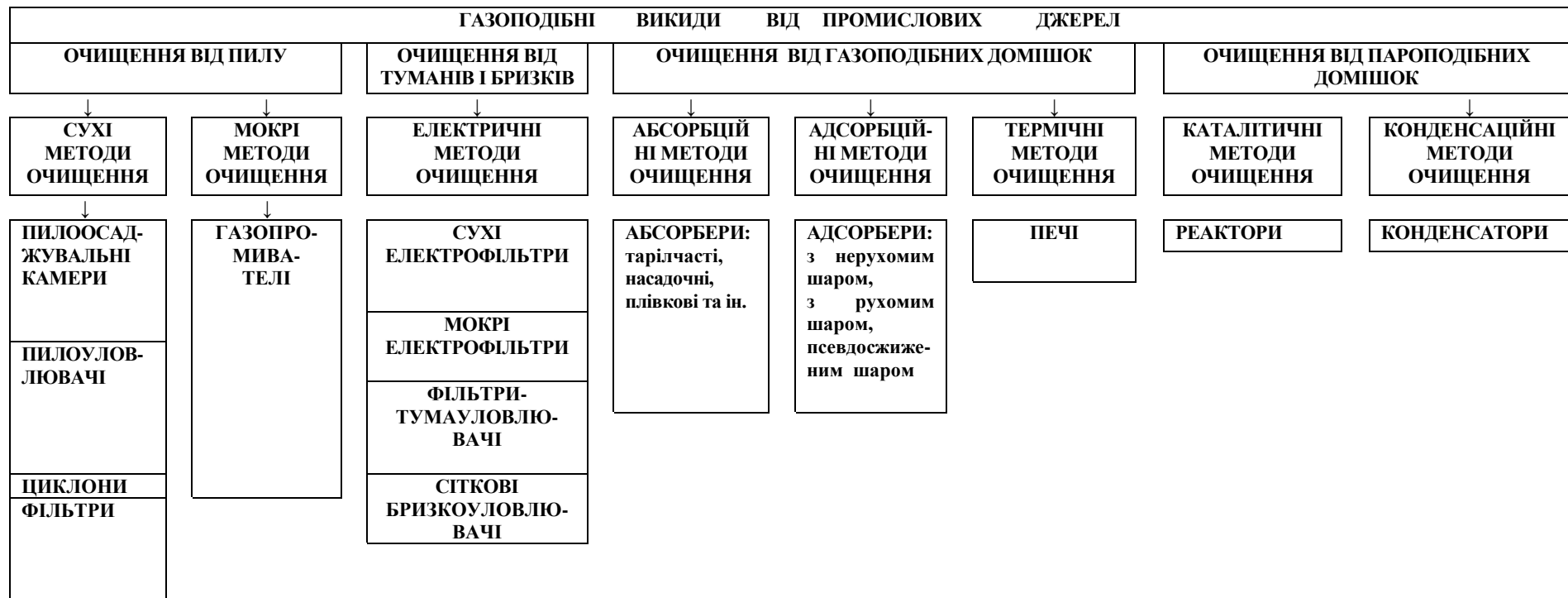


Рисунок 1.2 - Класифікація методів та устаткування очистки промислових викидів

- адсорбції;
- каталітичні;
- термічні;
- конденсації чи компримування.

Абсорбційні методи очищення газів, що відходять, підрозділяють по наступних ознаках:

- по абсорбуємому компоненту;
- по типу застосованого абсорбенту;
- по характеру процесу (с циркуляцією і без циркуляції газу);
- по способу використання абсорбенту (с регенерацією та поверненням його в цикл (циклічні) або без регенерації (не циклічні));
- по використанню компонентів, що вловлюють домішки (с рекуперацією і без рекуперації);
- по типу рекуперируемого продукту;
- по способу організації процесу очистки (періодичні чи безперервні);
- в залежності від конструктивних типів абсорбційних апаратів.

Для фізичної абсорбції на практиці застосовують воду, органічні розчинники, що не вступають у реакцію з газом і водяні розчини цих речовин.

При хемосорбції як абсорбент використовують водяні розчини солей і лугів, органічні речовини чи водні суспензії різних речовин.

Остаточний вибір методу очищення залежить від багатьох факторів:

- концентрації компонентів, які містяться у промислових газах;
- об'єму газу, який необхідно очистити;
- температури газів, що відходять;
- вмісту домішок;
- наявності хемосорбентів;
- можливості використання продуктів рекуперації;
- необхідного ступеня очищення.

Вибір роблять на підставі результатів техніко-економічних розрахунків.

Адсорбційні методи очищення газів використовують для видалення з них газоподібних і пароподібних домішок. Методи засновані на поглинанні домішок пористими тілами-адсорбентами. Процеси очищення проводять у періодичних або безперервних адсорберах. Достоїнством методів є висока ступінь очищення, а недоліком - неможливість очищення запиленних газів.

Каталітичні методи очищення базуються на хімічних перетвореннях токсичних компонентів на нетоксичні на поверхні твердих каталізаторів. Очищенню піддаються гази, що не містять пилу й каталізаторних отрут. Методи використовуються для очищення газів від оксидів азоту, сірки,

вуглецю і від органічних домішок. Їх проводять у реакторах різної конструкції.

У рекупераційній техніці поряд з іншими методами для вловлювання парів летючих розчинників використовують методи конденсації і компримірування.

В основі методу конденсації лежить явище зменшення тиску насиченої пари розчинника при зниженні температури. Суміш пару розчинника з повітрям попередньо охолоджують у теплообміннику, а потім конденсують.

Достоїнствами методу є простота апаратного оформлення і експлуатації рекупераційної установки. Однак проведення процесу очищення пароповітряних сумішей методом конденсації сильно ускладнено, оскільки вміст парів летючих розчинників у цих сумішах звичайно перевищує нижню межу їх вибуху. До недоліків методу також відносять високі витрати холодильного агента і електроенергії, а також низький відсоток конденсації пару (вихід) розчинників – він звичайно не перевищує 70-90%. Метод конденсації є рентабельним лише при вмісті парів розчинника в потоці, що підлягає очищенню, починаючи з 100 г/м^3 , а це істотно обмежує область застосування установок конденсаційного типу.

Метод компримірування базується на тім же явищі, що й метод конденсації, але стосується тільки парів розчинників, які перебувають під надлишковим тиском. Однак метод компримірування більше складний в апаратному оформленні, тому що в схемі уловлювання парів розчинників необхідний комприміруючий агрегат. Крім того, цей підхід зберігає всі недоліки, які властиві методу конденсації, і не забезпечує можливості уловлювання парів летких розчинників при їхніх низьких концентраціях у газоповітряних сумішах.

Термічні методи (методи прямого спалювання) застосовують для знешкодження газів від токсичних, а також домішок з неприємним запахом, які легко окислюються. Методи засновані на спалюванні горючих домішок у топках печей або смолоскипових пальників. Перевагою методу є простота апаратури та універсальність використання. Недоліками вважається додаткова витрата палива при спалюванні низькоконцентрованих газів, а також необхідність додаткового абсорбційного або адсорбційного очищення газів після спалювання [7].

Слід зазначити, що складний хімічний склад викидів і високі концентрації токсичних компонентів заздалегідь визначають багатоступінчасті схеми очищення, що представляють собою комбінацію різних методів.

Питання для самоконтролю

1. Дати загальну характеристику активних і пасивних методів запобігання забрудненню атмосфери промисловими викидами.
2. Дати докладну характеристику технологічних методів запобігання забрудненню атмосфери.
3. Які існують способи зниження викидів в атмосферу оксидів сірки на об'єктах теплоенергетики?
4. Які існують способи зниження викидів в атмосферу оксидів азоту на об'єктах теплоенергетики?
5. Що таке газифікація?
6. Які існують технологічні прийоми зв'язування сірки в процесі спалювання твердих і рідких палив?
7. Дати характеристику принципової технологічної схеми очищення промислових викидів.
8. Дати характеристику кожному з чотирьох рівнів класифікації систем очищення викидів.
9. Які існують методи й апарати для знешкодження промислових викидів від аерозолів (пилу та туманів)?
10. Які існують методи й апарати для знешкодження промислових викидів від газоподібних і пароподібних речовин?

2 ВИЛУЧЕННЯ АЕРОЗОЛІВ З ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1 Основні фізико-хімічні властивості пилу

На промислових підприємствах практично неможливо уникнути пилоутворення. Конкретизуємо таке досить широке поняття, як «промисловий пил». Відомо, що пил – це зважені частинки твердих речовин, що утворюються внаслідок механічного подрібнення твердих матеріалів у порошкоподібний стан, в процесі механічної обробки, обпікання, висушування, завантажування, змішування, дозування, просіювання та транспортування насипних матеріалів, а також при спалюванні твердого палива [7]. Тому досить актуальною є задача захисту атмосфери від викидів промислового пилу. Найбільш поширеним способом захисту повітря від забруднення є використання інструментальних методів, які дозволяють значно знизити кількість забруднюючих речовин, які надходять з промисловими викидами.

Надійність й ефективність роботи систем очистки від аерозолів залежать від:

- фізико-хімічних властивостей частинок, що підлягають уловлюванню;
- основних параметрів пило-газових потоків.

Для того, щоб зробити правильний вибір проводять детальний аналіз фізико-хімічних властивостей пилу за такими критеріями:

- щільність частинок;
- дисперсний склад;
- адгезивні властивості;
- абразивні властивості;
- змочуваність;
- гігроскопічність;
- електропровідність шару пилу;
- електричний заряд частинок;
- здатність частинок до самозаймання чи утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям.

Розглянемо більш детально основні властивості пилу, які обов'язково враховують при вирішенні досить складних задач вибору типу газоочисних споруд.

По-перше, аналізують щільність частинок промислового пилу. Розрізняють дійсну, уявну та насипну густину. Дійсна щільність - це відношення маси речовини до об'єму, який займає ця речовина, за

виключенням об'єму пор та газових включень, які може мати сама частинка пилу.

Уявна щільність - це відношення маси речовини до об'єму, який займає ця речовина, включаючи об'єм пор та газових включень самої частинки. Для суцільних, тобто непористих частинок (гладких частинок і крапель) значення уявної густини чисельно співпадає з дійсною густиною.

Насипна щільність (на відміну від дійсної) - це відношення маси частинок до об'єму, який займає ця речовина, з урахуванням повітряних прошарків між частинками пилу. При злежуванні насипна щільність зростає в 1,2 - 1.5 рази [8].

Що стосується характеристики дисперсного (фракційного) складу пилу, то треба враховувати, що розмір частинки є основним її параметром при виборі типу пиловловлювача. Однак частинки промислового пилу мають різну форму (кульки, палички, пластинки, голки, лусочки, волокна і т.п.). Частинки пилу також можуть поєднуватися в агломерати, тому поняття розміру частинок пилу досить умовно, тому прийнято характеризувати розмір частинки величиною, що визначає швидкість її осадження. Такою величиною служить седиментаційний діаметр – це діаметр кулі, швидкість осадження і щільність якої дорівнює швидкості осадження і щільності частинки пилу. При цьому сама частка може мати довільну форму. Пилові частинки різної форми при одній і тій же масі осідають із різною швидкістю. Чим ближче їхня форма до сферичної, тим швидше вони осідають.

Найбільший і найменший розміри частинок характеризують діапазон дисперсності для даного виду пилу. Для характеристики дисперсного складу пилу всю масу порошин розбивають на фракції, обмежені частками певного розміру із вказівкою, яку частку у відсотках по масі (або по числу частинок) вони становлять. Дисперсний склад пилу зображується у вигляді інтегральних кривих. Більшість промислових пилів узгоджується з нормально-логарифмічним законом розподілу частинок в залежності від розміру.

В залежності від дисперсності пил підрозділяють на п'ять груп, характеристика яких наведена у таблиці 2.1 [7].

Таблиця 2.1 – Класифікація промислової пилі з урахуванням дисперсності

Група	Характеристика групи	Медіанний розмір частинок d_M , мкм
I	Найбільш крупнодисперсний	$d_M > 40 - 140$
II	Крупнодисперсний	$d_M = 40 - 140$
III	Середньодисперсний	$d_M = 10 - 40$
IV	Дрібнодисперсний	$d_M = 1 - 10$
V	Найбільш дрібнодисперсний	$d_M < 10$

У таблиці 2.1 d_m – це медіанний розмір частинок, коли відсоток частинок розміром більше і менше за d_m між собою рівні.

Діапазон дисперсності пилу істотно впливає на швидкість та ступінь її уловлювання газоочисним обладнанням (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Загальна характеристика ступеня уловлювання пилу різними типами апаратів

Апарат	Ступінь уловлювання (%) в залежності від фракції , (мкм)		
	50	5	1
Циклон	95	27	8
Скрубер	99	98	58
Скрубер Вентурі	99	92	90
Тканевий фільтр	100	99	99
Електрофільтр	99	98	86

Для вирішення практичних задач з визначення (хоча б у першому наближенні) методу і типу газоочисного обладнання є досить багато різних рекомендацій у спеціальній літературі [1, 17,8,]. Наприклад, у таблиці 2.3 наведені данні, які можуть допомогти зробити необхідний вибір [1].

Таблиця 2.3 – Рекомендований тип газоочисних апаратів в залежності від дисперсного складу пилу

Розмір частинок, мкм	Апарат
40 - 1000	Пилоосаджувальні камери
20 – 1000	Циклони діаметром 1 – 2 м
5 - 1000	Циклони діаметром 1 м
20 – 100	Скрубери
0,9 – 100	Тканинні фільтри
0,05 – 100	Волокнисті фільтри
0,01 - 10	Електрофільтри

Наступною дуже важливою характеристикою є адгезивні властивості частинок пилу. Ці властивості частинок визначає їхня схильність до злипання. Підвищена здатність частинок злипатися може привести до часткового або повного забивання апаратів при очистці промислових викидів від пилу. Чим менше розмір частинок пилу, тим легше вони прилипають до поверхні апарата чи одне до одного (аутогезійні властивості). Пил, у яких 60 – 70 % частинок мають діаметр менший за 10 мкм, добре злипаються, хоча той же самий пил з розміром частинок більшим за 10 мкм має гарну сипкість.

По адгезивним властивостям промисловий пил підрозділяють на чотири групи [8]:

- не здатна до злипання (пісок, суха глина);
- має слабку здатність до злипання (коковий, доменний пил);
- має середню здатність до злипання (крохмаль, зола сланцева)
- має значну здатність до злипання (цемент, фарфор, мармур)

При визначенні виду газоочисного обладнання також враховують абразивність частинок пилу. Абразивність пилу характеризує інтенсивність зносу матеріалів при визначених швидкостях газів і концентраціях пилу. Ці властивості залежать від твердості, форми, розміру і щільності частинок. Наявність значної кількості абразивного пилу у промислових викидах зумовлює необхідність додаткового захисту обладнання (збільшують товщину стінок апаратів, обробляють спеціальними високостійкими до абразивного зносу матеріалами).

Така характеристика як змочуваність частинок пилу водою впливає, в першу чергу, на ефективність мокрих пиловловлювачів, особливо при роботі з рециркуляцією. Гладкі частинки змочуються краще, ніж частинки з нерівною поверхнею, тому що останні більшою мірою виявляються покритими абсорбованою газовою оболонкою, що утрудняє змочування.

По характеру змочування всі тверді тіла розділяють на три основні групи:

- гідрофільні матеріали, які добре змочуються (кальцій, кварц);
- гідрофобні матеріали, які погано змочуються (графіт, вугілля);
- абсолютно гідрофобні (парафін, бітуми).

Необхідно враховувати при визначенні апаратів очистки гігроскопічність частинок, тобто здатність пилу вбирати вологу. Гігроскопічність залежить від хімічного складу, розміру, форми і ступеня шорсткості поверхні частинок і сприяє їхньому вловлюванню в апаратах мокрого типу [9].

Процедурою дослідження фізико-хімічних властивостей промислового пилу обумовлено визначення електропровідності та електричного заряду частинок.

Електропровідність оцінюється за питомим електричним опором шару пилу (ρ), що залежить від властивостей окремих частинок (поверхневої і внутрішньої електропровідності, форми частинок і розмірів частинок), а також від структури шару пилу і параметрів газового потоку.

Електропровідність впливає, в першу чергу, на роботу електрофільтрів. Залежно від питомого електричного опору шару пилу їх ділять на три групи:

- низькоомний пил ($\rho < 10^4$ Ом · см), при осадженні на електроді частинки пилу миттєво розряджаються, що може призвести до вторинного зносу;

- пил з опором $\rho = 10^4 - 10^{10}$ Ом · см. , цей пил добре уловлюється у електрофільтрах тому, що розрядка частинок відбувається за достатній проміжок часу, який дозволяє накопичити достатній шар;
- пилу з опором $\rho > 10^{10} - 10^{13}$ Ом · см., уловлювати дуже складно тому, що частинки цієї групи утворюють на електроді ізолюючі шари.

Знак же заряду частинок залежить від способу їхнього утворення, хімічного складу, а також від властивостей речовин, із якими вони взаємодіють. Цей показник впливає на ефективність уловлювання у газоочисних апаратах (мокрих пиловловлювачах, фільтрах й ін.), на вибухонебезпечність та адгезійні властивості частинок пилу.

Найбільш прискіпливо вивчається здатність частинок пилу до самозаймання і утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям.

Горючий пил внаслідок сильно розвиненої поверхні контакту частинок із киснем повітря здатний до самозаймання й утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям. Інтенсивність вибуху пилу залежить від його:

- хімічних властивостей;
- термічних властивостей;
- від розмірів і форми частинок;
- від концентрації частинок у повітрі;
- від вологовмісту й складу газів;
- температури повітряної суміші;
- відносного вмісту інертного пилу.

Здатність до запалення притаманна пилу деяких органічних речовин, що утворюються при переробці барвників, пластмас, волокон, а також пилу металів (магнію, алюмінію, цинку). Для таких речовин визначають нижню та верхню межу концентрації пилу, поза якою суміші не є вибухонебезпечними.

Мінімальні вибухонебезпечні концентрації зваженого у повітрі пилу приблизно дорівнює $20-500$ г/м³, максимальні $700-800$ г/м³. Чим більше вміст кисню в газовій суміші, тим імовірніше вибух і більше його сила. При вмісті кисню менше 16 % пилова хмара не вибухає.

В залежності від здатності до самозаймання і вибуху промисловий пил підрозділяють на чотири класи:

- 1 клас (найбільш вибухонебезпечний) - речовини з нижньою межею вибуху до 15 г/м³ (цукор, торф, каніфоль, крохмаль);
- 2 клас (вибухонебезпечний) - речовини з нижньою межею вибуху від 15 г/м³ до 65 г/м³;
- 3 клас (найбільш вогненебезпечні) – речовини з температурою самозапалювання до 250^0 С (пил табачний, елеваторний);

- 4 клас (вогнебезпечні) – речовини з температурою самозапалювання більше 250⁰С.

Проведення детального аналізу фізико-хімічних властивостей промислового пилу дозволить зробити правильний вибір газоочисного устаткування з урахуванням усіх його особливостей. Важливо також відзначити, що складний хімічний состав викидів та значні концентрації токсичних компонентів заздалегідь обумовлюють багатоступінчасті схеми очистки, які можуть бути поєднанням різних методів та обладнання.

Питання для самоконтролю

1. Дати характеристику таким основним властивостям пилу як щільність, дисперсність, адгезійні і абразивні властивості частинок.
2. Дати характеристику таким основним властивостям пилу як змочуваність, гігроскопічність.
3. Дати характеристику таким основним властивостям пилу як електропровідність і електричний заряд частинок, а також здатність до самозаймання й утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям.

2.2 Очищення промислових газів у сухих механічних пиловловлювачах

До сухих механічних пиловловлювачів відносять апарати, у яких використані різні механізми осадження:

- гравітаційний (під дією сил тяжіння);
- інерційний (камери, осадження пилу в яких відбувається в результаті зміни напрямку руху газового потоку або установки на його шляху перешкоди);
- відцентровий (вилучення пилу з потоку з використанням відцентрових сил);
- фільтраційний (вилучення частинок в результаті сил дифузії, інерції та електростатичного тяжіння).

Перераховані апарати відрізняються простотою виготовлення і експлуатації, їх досить широко використовують у промисловості. Однак ефективність уловлювання в них пилу не завжди виявляється достатньою, у зв'язку з чим вони часто виконують роль апаратів попереднього очищення газів.

2.2.1 Гравітаційні пиловловлювачі

Такі пиловловлювачі є найбільш простими і дешевими пристроями. (рис. 2.1). Основні типи пило-осаджувальних камер наведено на рис.2.1. Їх виготовляють пустотілими, а також з горизонтальними полицями (камера Говарда) чи вертикальними перегородками (рис.2.1, б). Найефективнішими є гравітаційні пиловловлювачі з вертикальними перегородками.

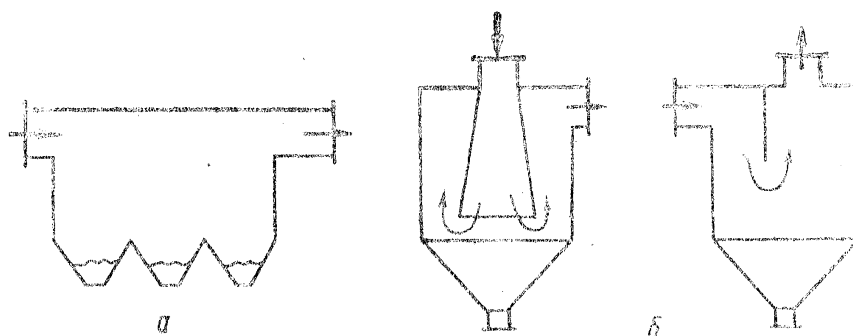


Рисунок 2.1 - Основні типи пилоосаджувальних камер

Опишемо принцип роботи пиловловлювачів з вертикальними перегородками. Запилене повітря подається через вхідний патрубок, і, наштовхуючись на перепони, зменшує швидкість. Частинки пилу внаслідок зменшення швидкості і під дією власної ваги осідають у бункері, а очищене повітря виходить через спеціальний патрубок в атмосферу.

Гравітаційні камери використовують для осадження лише крупного пилу. Частинки пилу менше 10 мкм практично не осідають у камерах, а в межах 10 – 100 мкм ефективність осідання практично не перевищує 40 %.

Для досягнення прийнятної ефективності очищення газів необхідно щоб частинки перебували в камері можливо більше тривалий час.

2.2.2 Інерційні пиловловлювачі

У апаратах цього типу осадження пилу відбувається в результаті зміни напрямку руху газового потоку або встановлення на його шляху перешкод. При різкій зміні напрямку руху газового потоку частинки пилу під

впливом інерційної сили будуть прагнути рухатися в колишньому напрямку й після повороту потоку газів випадають у бункер.

Ефективність цих апаратів невелика і складає 65 – 85 % для частинок з розмірами 25 –35 мкм. Такі камери застосовують на заводах чорної й кольорової металургії.

Більш широке застосування для очистки промислових газів та димових газів електростанцій і котелень набули жалюзійні пиловловлювачі. Ці апарати мають жалюзійні ґрати, що складаються з рядів пластин або кілець. Газ, який потребує очистки, проходячи через ґрати, робить різкі повороти. Пилові частинки внаслідок інерції прагнуть зберегти первісний напрямок, що приводить до відділення великих частинок із газового потоку, тому ж сприяють їхні удари об нахилені площини ґрат, від яких вони відбиваються й відскакують убік від щілин між лопатками жалюзі. Призначення жалюзійної решітки – поділити газ на два потоки – перший, який складає 80 – 90 % всієї кількості газу, і другий - 10 - 20 %. Перший потік, який пройшов крізь ґрати, містить невелику кількість пилу, а в другому вміщена основна маса пилу, тому його відсмоктують і направляють у циклон, де його очищають від пилу й знову зливають з першою частиною потоку, що пройшла через ґрати [8]. Швидкість газу перед жалюзійними ґратами повинна бути досить висока (до 15 м/с), щоб досягти ефекту інерційного відділення пилу. На ступінь очищення впливає також швидкість руху газів, що відсмоктують у циклон.

Зазвичай жалюзійні пиловловлювачі застосовують для видалення пилу з розміром частинок більшим ніж 20 мкм. Основний недолік - зношування пластин при високій концентрації пилу. Ефективність уловлювання частинок залежить від ефективності самих ґрат, ефективності циклона, а також від частинки газу, що відсмоктується в нього.

2.2.3 Відцентрові пиловловлювачі

Циклони, які належать до цієї групи апаратів, найпоширеніші в промисловості. Вони мають наступні достоїнства:

- відсутність в апараті частин, що рухаються ;
- надійність роботи при температурах газів аж до 500⁰С (для роботи при більше високих температурах циклони виготовляють зі спеціальних матеріалів);
- можливість уловлювання абразивних частинок пилу (проводять захист внутрішніх поверхонь циклонів спеціальними покриттями);
- уловлювання пилу в сухому вигляді;

- успішна робота при високих тисках газів;
- простота виготовлення;
- збереження високої фракційної ефективності очищення, при збільшенні концентрацій пилу у газах.

Однак циклони мають і недоліки :

- погане вловлювання частинок розміром менше 5 мкм;
- неможливість їх використання для очищення газів від липких забруднень.

Схематична конструкція циклону наведена на рис. 2.2. Розглянемо принцип роботи циклону. Газ обертається усередині циклона, рухаючись зверху вниз, а потім рухається нагору. Частинки пилу відкидаються відцентровою силою до стінки. Звичайно в циклонах відцентрове прискорення в кілька сотень, а те й тисячу разів більше прискорення сили ваги, тому навіть досить маленькі частинки пилу не в змозі утримуватись газовим потоком, а під впливом відцентрової сили рухаються до стінки [9].

В залежності від способу підведення газів в апарат циклони підрозділяють на такі види :

- зі спіральними підведенням;
- тангенціальним підведенням;
- гвинтоподібним підведенням;
- а також осьовим чи розеточним підведенням.

Циклони з осьовим (розеточним) підведенням газів працюють як з поверненням газів у верхню частину апарата, так і без нього. Цей вид є прямоточним і відрізняється низьким гідравлічним опором і меншою в порівнянні з іншими циклонами ефективністю. Найбільш кращим за формою з погляду аеродинаміки є підведення газів по спіралі. Однак на практиці всі способи підведення газу можуть використатися рівною мірою.

Також у промисловості прийнято розділяти циклони на високоефективні та високопродуктивні. Високоефективні мають більш високу ступінь уловлювання пилу, але вимагають більших витрат на здійснення процесу очищення. Високопродуктивні циклони мають невеликий гідравлічний опір, але гірше вловлюють дрібні частинки. На практиці широко використовують циклони, які бувають циліндричні (із подовженою циліндричною частиною) і конічні (із подовженою конічною частиною). Циліндричні відносяться до високопродуктивних апаратів, а конічні - до високоефективних. Діаметр циліндричних циклонів не більше 2000 мм, а конічних - не більше 3000 мм.

Ефективність уловлювання частинок пилу в циклоні прямо пропорційна швидкості газів у ступені $1/2$ й обернено пропорційна діаметру апарата також у ступені $1/2$. Тобто процес доцільно вести при більших швидкостях газів і невеликих діаметрах апарату. Однак збільшення швидкостей може привести до винесення пилу з циклона і

різкому збільшенню гідравлічного опору. Тому доцільно збільшувати ефективність циклона за рахунок зменшення діаметра апарата, а не за рахунок зростання швидкості газів.

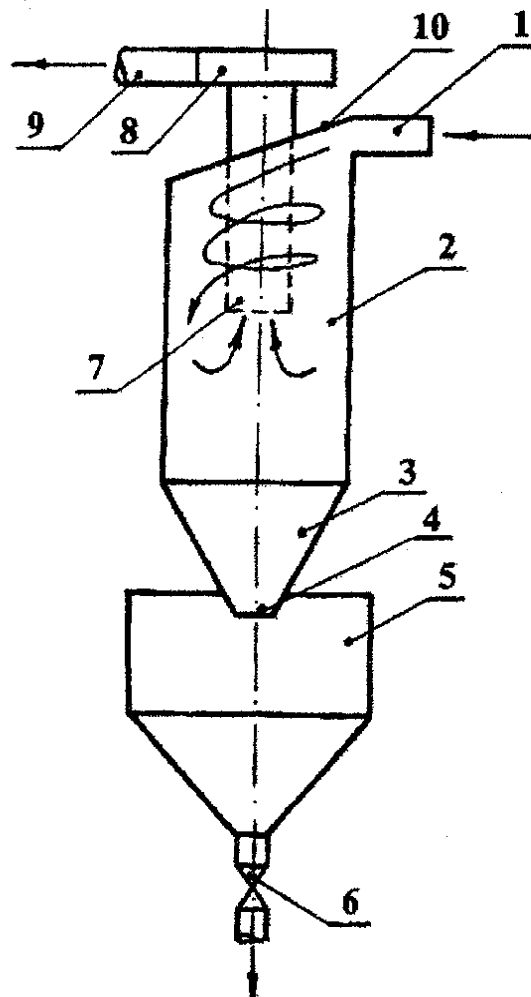


Рис. 2.2 – Циклон (1- вхідний патрубок ,
 2 – циліндрична частина корпусу,
 3 – конічна частина корпусу,
 4 – пило випускний отвір,
 5 – бункер для пилу,
 6 – пиловий затвор,
 7 – вихлопна труба,
 8 – равлик, що розкручує повітря,
 9 – вихідний патрубок,
 10 – кришка під нахилом)

Враховуючи вищенаведені закономірності, стає зрозуміло чому при значних витратах очищуваних газів, , застосовують групову компоновку

апаратів. Це дозволяє не збільшувати діаметр циклона, що позитивно позначається на ефективності очищення. Групові циклони досить поширені. Запилений газ входить через загальний колектор, а потім розподіляється між циклонними елементами.

Наступний вид циклонів - батарейні циклони. У цьому випадку об'єднують велику кількості малих циклонів (мультициклонів) у групу. Зниження діаметра циклонного елемента має на меті збільшення ефективності очищення. Елементи батарейних циклонів мають діаметр 100, 150 або 250 мм. Оптимальна швидкість газів в елементі лежить у межах від 3,5 до 4,8 м/с, а для прямоточних циклонних елементів від 11 до 13 м/с.

До класу відцентрових апаратів відносяться вихрові пиловловлювачі.

Основною відмінністю вихрових пиловловлювачів від циклонів є наявність допоміжного закручуючого газового потоку.

Вихрові пиловловлювачі бувають соплового та лопаточного типу. В апаратах соплового типу запилений газовий потік закручується лопатковим завихрителем і рухається нагору, піддаючись при цьому впливу трьох струменів вторинного газу, що надходить із тангенціально розташованих сопел. Під дією відцентрових сил частинки відкидаються до периферії, де спіральний потік вторинного газу направляє їх униз, у кільцевий міжтрубний простір. Вторинний газ у ході спірального обтікання основного потоку поступово повністю проникає в нього. Кільцевий простір навколо вхідного патрубку оснащено підпірною шайбою, що забезпечує безповоротний спуск пилу в бункер.

Вихровий пиловловлювач лопаткового типу відрізняється тим, що вторинний газ відбирається з периферії очищеного газу й подається кільцевим апаратом з похилими лопатками. У якості вторинного газу у вихрових пиловловлювачах може бути використано свіже атмосферне повітря, частина очищеного газу або запилені гази. Найбільш вигідними є використання запиленних газів у якості вторинного потоку. У цьому випадку продуктивність апарату підвищується на 40-65 % без помітного зниження ефективності очищення.

Як й у циклонів, ефективність вихрових апаратів із збільшенням діаметра падає. Оптимальна витрата вторинного газу становить 30 - 35% від первинного. Можуть бути батарейні установки, що складаються з окремих мультиелементів діаметром 40 мм.

У порівнянні з циклонами вихрові пиловловлювачі мають наступні достоїнства :

- більш висока ефективність уловлювання високодисперсного пилу;
- відсутність абразивного зношування внутрішніх поверхонь апарату;
- можливість очищення газів з більше високою температурою за рахунок використання холодного вторинного повітря;

- можливість регулювання процесу сепарації пилу за рахунок зміни кількості вторинного газу.

Недоліки:

- необхідність додаткового пристрою для подачі вторинного газу;
- підвищення за рахунок вторинного газу загального обсягу газів, що проходять через апарат (у випадку використання атмосферного повітря);
- більша складність апарата в експлуатації.

Останній вид відцентрових апаратів, які будуть розглянуті у рамках дисципліни – це динамічні пиловловлювачі. Очищення газів від пилу здійснюється за рахунок відцентрових сил і сил Кориолісу, які виникають при обертанні робочого колеса тягодутьового пристрою.

Динамічний пиловловлювач споживає більше енергії, чим звичайний вентилятор з ідентичними параметрами по продуктивності й напору.

Найбільше поширення одержав димосос-пиловловлювач. Він призначений для вловлювання частинок пилу розміром більше 15 мкм. За рахунок різниці тисків, створюваних робочим колесом, запилений потік надходить в «равлик» і здобуває криволінійний рух. Частинки пилу відкидаються до периферії під дією відцентрових сил і разом з 8 - 10 % газу відводяться в циклон, з'єднаний з равликом. Очищений газовий потік із циклона повертається в центральну частину равлика. Очищені гази через спеціальний апарат надходять у робоче колесо димососа-пиловловлювача, а потім через кожух викидаються у димар.

Характеристики сухих механічних пиловловлювачів, які дозволять в основному зорієнтуватися наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Характерні параметри сухих механічних пиловловлювачів

Тип пиловловлювача	Максимальна продуктивність, м ³ /годину	Ефективність пиловловлення частинок різних розмірів, %	Верхня межа температури газів, °С
Осаджувальна камера	V_r	80 - 90 (50 мкм)	350 – 550
Циклон	85 000	50 - 80 (10 мкм)	350 – 550
Вихровий пиловловлювач	30 000	90 (2 мкм)	до 250
Батарейний циклон	170 000	90 (5 мкм)	350 – 550
Інерційний пиловловлювач	127 000	90 (2 мкм)	до 400
Динамічний пиловловлювач	42 500	90 (2 мкм)	до 400

2.2.4 Очищення промислових газів у фільтрах

В основі роботи пористих фільтрів усіх видів лежить процес фільтрації газу через пористу перегородку, у ході якого тверді частинки затримуються, а газ повністю проходить крізь неї.

Фільтруючі перегородки досить різноманітні по своїй структурі, але в основному вони складаються з волокнистих або зернистих елементів і умовно підрозділяються на три типи:

- гнучкі пористі перегородки :
 - тканинні матеріали із природних, синтетичних або мінеральних волокон;
 - неткані волокнисті матеріали (повсті, клесні чи іглопробивні матеріали, папір, картон, волокнисті мати);
 - аркуші з ячеек (губчата гума, пінополіуретан, мембранні фільтри);
- напівтверді пористі перегородки - шари волокон, стружка, в'язані сітки, які розташовані на опорних пристроях або затиснуті між ними;
- тверді пористі перегородки :
 - зернисті матеріали (пориста кераміка або пластмаса, спечені або спресовані порошки металів, пористе скло, вуглеграфітові матеріали й ін.);
 - волокнисті матеріали (сформовані шари зі скляних і металевих волокон);
 - металеві сітки й перфоровані аркуші.

У процесі очищення запиленого газу частинки наближаються до волокон або до поверхні зерен фільтруючого матеріалу, зіштовхуються з ними і осаджуються у результаті дії трьох головних сил - дифузії, інерції і електростатичного тяжіння.

Проходячи через фільтруючу перегородку, потік розділяється на тонкі потоки. Частинки, маючи інерцію, прагнуть переміщатися прямолінійно, зіштовхуються з волокнами чи зернами фільтру і утримуються ним. Такий механізм характерний для захоплення великих частинок і проявляється сильніше при збільшенні швидкості фільтрування.

Електростатичний механізм захоплення частинок проявляється в тому випадку, коли волокна несуть заряди або поляризовані зовнішнім електричним полем.

У фільтрах уловлені частинки накопичуються в порах або утворюють пиловий шар на поверхні перегородки, і в такий спосіб самі стають для інших домішок частиною фільтруючого середовища. В процесі фільтрації

накопичений пил зменшує пористість перегородки, а її опір зростає. Тому виникає необхідність видалення пилу і регенерації фільтра.

Залежно від призначення й величини вхідної й вихідної концентрації фільтри умовно розділяють на три класи.

Перший клас - це фільтри тонкого очищення (високоєфективні або абсолютні фільтри) - призначені для уловлювання з дуже високою ефективністю (більше 99%) субмікронних частинок із промислових газів з низькою вхідною концентрацією (менше 1 мг/м^3) та швидкістю фільтрування менше 10 сантиметрів за секунду. Такі фільтри застосовують для уловлювання особливо токсичних частинок, а також для ультратонкого очищення повітря при проведенні деяких технологічних процесів. Вони не піддаються регенерації.

Другий клас - повітряні фільтри - використовують у системах приточної вентиляції і кондиціонування повітря. Працюють при концентрації пилу менш 50 мг/м^3 та при високій швидкості фільтрації - до 2,5-3 м/с. Ці фільтри можуть бути як ті, що піддаються регенерації, так і ті, для яких це неможливо чи недоцільно.

Третій клас - промислові фільтри, які застосовуються для очищення промислових газів з концентрацією до 60 г/м^3 . Вони бувають тканинні, зернисті та волокнисті. Фільтри регенеруються. Розгляду цього класу фільтрів необхідно приділити більшу увагу.

Тканинні фільтри мають найбільше поширення. Бувають рукавні та рамочні. Можливості їхнього використання розширюються у зв'язку зі створенням нових температуростійких і стійких до впливу агресивних газів тканин.

Найбільше поширення мають рукавні фільтри. Корпус фільтрів являє собою металеву шафу, яка розділена вертикальними перегородками на секції, у кожній з яких розміщена група фільтруючих рукавів. Верхні кінці рукавів заглушені й підвішені до рами, з'єднаної зі струшуючим механізмом. Унизу є бункер для пилу зі шнеком для її вивантаження. Струшування рукавів у кожній із секцій виробляється по черзі.

У тканинних фільтрах застосовують фільтруючі матеріали двох типів - звичайні тканини, що виготовляють на ткацьких верстатах і повсті, які одержують шляхом збивання або механічного переплутування волокон різними методами. У типових фільтрувальних тканинах розмір наскрізних пор між нитками досягає 100-200 мкм.

До тканин ставляться такі вимоги:

- висока пилоємність при фільтрації й здатність утримувати після регенерації таку кількість пилу, що досить для забезпечення високої ефективності очищення газів від тонкодисперсних твердих частинок;

- збереження, оптимально високої повітропроникності в запиленому стані;
- висока механічна міцність і стійкість до стирання при багаторазових вигинах,
- стабільність розмірів і властивостей при підвищеній температурі і агресивному впливі хімічних домішок, що перебувають у сухих і насичених вологою газах;
- здатність до легкого видалення накопиченого пилу;
- низька вартість.

Існуючі матеріали мають не всі зазначені властивості і їх вибирають залежно від конкретних умов очищення. Наприклад, бавовняні тканини мають гарні фільтруючі властивості і низьку вартість, але їм притаманна недостатня хімічна та термічна стійкість, висока горючість і вологоємність. Вовняні тканини характеризуються великою повітропроникністю, забезпечують надійне очищення й регенерацію, але стійкість до кислих газів, особливо до SO₂ і туману сірчаної кислоти, низька. Вартість їх вище, ніж бавовняних. При тривалому впливі високої температури волокна стають тендітними, тому добре ці матеріали при температурі газів до 90⁰ С. Синтетичні тканини витісняють матеріали з бавовни й вовни завдяки більше високої міцності, стійкості до підвищених температур та агресивних впливів, більш низької вартості. Серед них нітронові тканини, які використовують при температурі 120—130⁰С у хімічній промисловості й кольорової металургії. Лавсанові тканини використовуються для очищення гарячих сухих газів у цементній, металургійній і хімічній промисловості. У кислих середовищах стійкість їх висока, у лужних - різко знижується. Склояні тканини стійкі при 150—350⁰С.

У міру запилення аеродинамічний опір тканини зростає, а витрата газу через фільтр зменшується, тому виникає необхідність регенерувати тканину шляхом продувки у зворотному напрямку, механічного струшування або іншими методами.

Після декількох циклів фільтрації-регенерації залишкова кількість пилу в тканині стабілізується й вона відповідає так званому рівноважному вмісту пилу в тканині q (у кг/м²), яка залежить від типу фільтруючого матеріалу, розмірів і властивостей пилових частинок, відносної вологості газів, методу регенерації й інших факторів.

Стисло розглянемо волокнисті фільтри (рис. 2.3). Фільтруючий елемент цих фільтрів складається з одного або декількох шарів, у яких рівномірно розподілені волокна. Це фільтри об'ємної дії, тому що вони розраховані на вловлювання та накопичення частинок пилу переважно по всій глибині шару. Суцільний шар пилу утвориться тільки на поверхні найбільш щільних матеріалів.

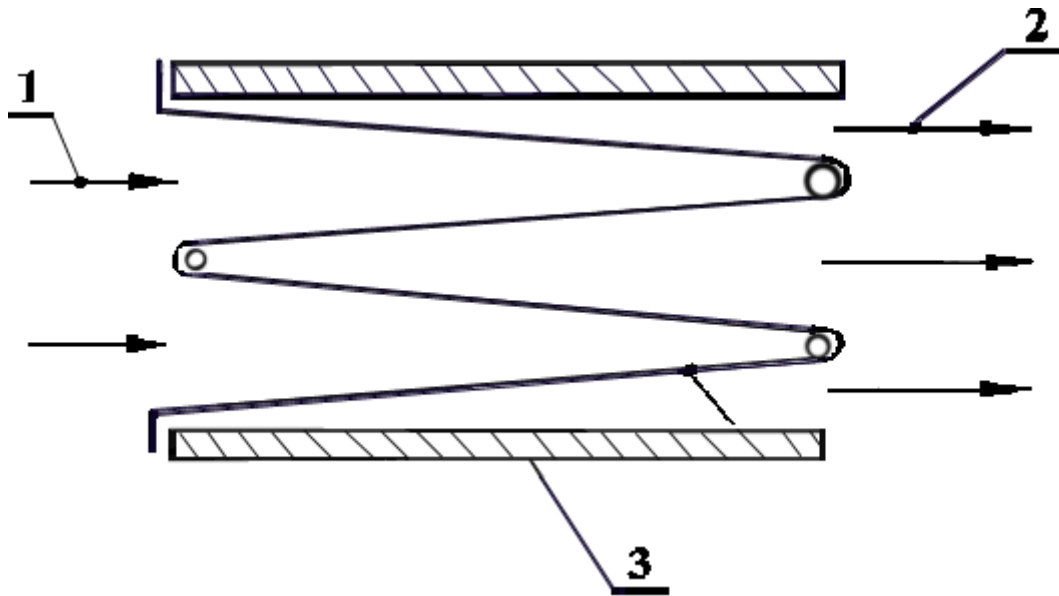


Рис. 2.3 - Волокнистий фільтр (1- вхід газу , 2 – вихід газу, 3 - бокова стінка, 4 – фільтруючий матеріал)

Для цього типу фільтрів використовують природні або спеціально виготовлені волокна товщиною від 0,01 до 100 мкм. Товщина фільтруючих середовищ становить від десятих частинок міліметра (папір) до 2 метрів (багатошарові глибокі насадочні фільтри довгострокового використання). Такі фільтри використовують при концентрації дисперсної твердої фази 0,5 - 5 мг/м³ і тільки деякі грубоволокнисті фільтри застосовують при концентрації 5 - 50 мг/м³. При таких концентраціях основний відсоток частинок має розміри менш 5 - 10 мкм.

Розрізняють два виду промислових волокнистих фільтрів – сухі та мокрі. Сухі волокнисті фільтри бувають тонковолокнисті, електростатичні, глибокі та фільтри попереднього очищення. До мокрих волокнистих фільтрів відносять сіткові, самоочисні, с періодичним або безперервним зрошенням.

Процес фільтрації у волокнистих фільтрах складається із двох стадій. На першій стадії (стаціонарна фільтрація) уловлені частинки практично не змінюють структури фільтра в часі. На другій стадії процесу (нестационарна фільтрація) у фільтрі відбуваються безперервні структурні зміни внаслідок накопичення вловлених частинок у значних кількостях. Відповідно до цього увесь час змінюються ефективність очищення й опір фільтра. Теорія фільтрування в таких фільтрах ще недостатньо розроблена.

У деяких галузях промисловості (атомній енергетиці, радіоелектроніці, точному приладобудуванні, промислової мікробіології,

хіміко-фармацевтичній) використовують волокнисті фільтри тонкого очищення. Фільтри дозволяють очищати великі обсяги газів від твердих частинок усіх розмірів, включаючи субмікронні. Їх широко застосовують для очищення радіоактивних аерозолів. Для очищення на 99 % (для частинок 0,05 - 0,5 мкм) застосовують матеріали у вигляді тонких аркушів або об'ємних шарів із тонких або ультратонких волокон (діаметр менш 2 мкм). Швидкість фільтрації у них становить 0,01 - 0,15 м/с.

Уловлювання частинок у фільтрах тонкого очищення відбувається за рахунок броунівської дифузії й ефекту торкання. Регенерація відпрацьованих фільтрів неефективна або неможлива. Вони призначені для роботи на тривалий строк (0,5 - 3 роки). Після цього фільтр замінюють на новий. Зі збільшенням концентрації пилу на вході (понад 0,5 мг/м³) термін їх служби значно скорочується.

Оптимальна конструкція фільтрів тонкого очищення повинна відповідати наступним основним вимогам:

- найбільша поверхня фільтрації при найменших габаритах;
- мінімальний опір;
- можливість більш зручної й швидкої установки;
- надійна герметичність групової зборки окремих фільтрів.

Цим вимогам відповідають рамні фільтри. Фільтруючий матеріал у вигляді стрічки укладають між П-образними рамками, які чергуються при зборці пакета відкритими й закритими сторонами в протилежних напрямках. Між сусідніми шарами матеріалу встановлюють гофровані роздільники, щоб не допустити примикання їх друг до друга. Матеріал для рамок: фанера, вініпласт, алюміній, нержавіюча сталь. Забруднені гази надходять в одну з відкритих сторін фільтра, проходять через матеріал і виходять із протилежної сторони.

Зернисті фільтри застосовуються для очищення газів рідше, ніж волокнисті фільтри. Достоїнства зернистих фільтрів:

- доступність матеріалу;
- можливість працювати при високих температурах та при умовах агресивного середовища;
- витримують більші механічні навантаження й перепади тисків, а також різкі зміни температури.

Розрізняють насадочні й тверді зернисті фільтри.

У насадочних (насіпних) фільтрах уловлювальні елементи (гранули, шматки й т.д.) не зв'язані один з одним. До них відносять :

- статичні (нерухомі) шарові фільтри;
- динамічні (рухливі) шарові фільтри із гравітаційним переміщенням сипучого середовища;
- псевдо зріджені шари фільтру.

У насипних фільтрах як насадка використовується пісок, галька, шлаки, дроблені гірські породи, кокс, крихти гуми, пластмаси, графіт та ін. Вибір матеріалу залежить від необхідної термічної й хімічної стійкості, механічної міцності та доступності.

В процесі накопичення пилу в порах насадки ефективність уловлювання зростає. При збільшенні опору до межі роблять розпушування шару. Після декількох циклів розпушування насадку промивають або заміняють. Є зернисті фільтри, які регенерують шляхом ворошіння або вібраційного струсу зернистого шару в середині апарата, а також фільтри із середовищем, що рухається, тоді матеріал переміщається між сітками або жалюзійними ґратами. Регенерацію матеріалу від пилу проводять в окремому апараті - шляхом просівання або промивання. Якщо фільтруюче середовище складається з того ж матеріалу, що й пил, то забруднені гранули виводять із системи й використовують у технологічному процесі.

У зернистих твердих фільтрах зерна міцно зв'язані один з одним у результаті спікання, пресування або склеювання й утворюють міцну нерухому систему. До них відносять пористу кераміку, метали, пластмаси.

Достоїнством таких фільтрів є стійкість до високої температури, корозії й механічним навантаженням, тому застосовуються для фільтрування стиснених газів.

Недоліком таких фільтрів є їх висока вартість, великий гідравлічний опір і труднощі регенерації. Регенерацію таких фільтрів проводять чотирма способами:

- продуванням повітрям у зворотному напрямку;
- пропусканням рідких розчинів у зворотному напрямку;
- пропусканням гарячої пари;
- простукуванням або вібрацією трубних ґрат з елементами.

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати очищення газів у гравітаційних пиловловлювачах .
2. Яка процедура очищення газів в інерційних пиловловлювачах ?
3. Дати характеристику очищення газів у одиночних циклонах (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, класифікація циклонів, достоїнства і недоліки).
4. Як очищають гази у групових та батарейних циклонах (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, достоїнства і недоліки)?
5. Описати процес очищення газів у вихрових і динамічних пиловловлювачах (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, достоїнства і недоліки).

6. Як відбувається очищення газів у фільтрах (принцип роботи, класифікації фільтрів і їхній відповідна характеристика).
7. Дати опис процедури очищення промислових газів у тканинних фільтрах (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, вимоги до тканин, достоїнства і недоліки).
8. Як промислові газів очищують у волокнистих фільтрах (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, характеристика видів волокнистих фільтрів, достоїнства і недоліки)?
9. Описати докладно процедуру очищення промислових газів у зернистих фільтрах (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, характеристика різних видів зернистих фільтрів, достоїнства і недоліки).

3 ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗІВ У МОКРИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧАХ

Значного поширення на промислових підприємствах набули пиловловлювачі мокрого очищення повітря від пилу, особливо дрібнодисперсного (діаметром більше 0,3 – 1,0 мкм) у гарячих і вибухонебезпечних повітряних сумішах.

Пиловловлювачі мокрого очищення працюють за принципом осідання частинок пилу на поверхню крапель рідини або на плівку рідини під впливом сил інерції і броунівського руху молекул. Крім того на процес осідання частинок впливають:

- турбулентна дифузія;
- взаємодія електрично заряджених частинок пилу;
- процеси конденсації чи випаровування та ін.

У віх випадках очищення повітря у мокрих пиловловлювачах важливим фактором є змочуваність частинок пилу рідиною. У мокрих пиловловлювачах у якості рідини, найчастіше використовується вода. Чим більша змочуваність, тим ефективніших процес очищення [10].

Пиловловлювачі такого виду характеризуються наявністю ємності, заповненою водою. Облаштування та експлуатація систем мокрого очищення повітря значно полегшується , якщо підведення води до зон контакту здійснюється внаслідок її циркуляції в середині самого пиловловлювача. Накопичений у ньому шлам може відводитися безперервно або періодично, за допомогою механічних транспортерів або гідравлічним способом.

Мокрі пиловловлювачі мають ряд достоїнств і недоліків у порівнянні з апаратами інших типів. Достоїнства мокрого способу уловлювання пилу:

- невелика вартість;
- більш висока ефективність уловлювання зважених частинок;
- можливість використання для очищення газів від частинок розміром до 0,1 мкм;
- можливість очищення газу при високій температурі й підвищеній вологості;
- можливість очистки газів при небезпеці загоряння й вибухів уловленого пилу;
- можливість поряд із пилом одночасно вловлювати пароподібні й газоподібні компоненти.

Однак, слід відзначити низку недоліків мокрих пиловловлювачів:

- виділення вловленого пилу у вигляді шламу, що пов'язане з необхідністю обробки стічних вод, тобто з подорожчанням процесу;

- можливість віднесення краплі рідини й осадження їх із пилом у газоходах і димососах;
- необхідність створення зворотних систем водопостачання.
- у випадку очищення агресивних газів необхідність захищати апаратуру й комунікації антикорозійними матеріалами.

Водночас необхідно зазначити, що вказані недоліки незначно звужують сферу застосування мокрих пиловловлювачів. Ці апарати часто можна побачити на машинобудівних, ливарних, металургійних, нафтодобувних, деревообробних та інших підприємствах.

Залежно від поверхні контакту та способу дії мокрі пиловловлювачі підрозділяють на : порожні, насадочні скрубери, тарілчасті (барботажные та пінні), с рухливою насадкою, ударно-інерційної дії (ротоклоны), відцентрової дії, механічні та швидкісні газопромивачі (скрубери Вентурі та ежекторні).

Іноді мокрі пиловловлювачі також підрозділяють по витратах енергії на:

- низьконапірні (форсуночні скрубери, барботери, мокрі відцентрові апарати й ін);
- середньонапірні (динамічні скрубери, газопромивачі ударно-інерційної дії, ежекторні скрубери);
- виськонапірні (із рухливою насадкою та скрубери Вентурі).

У результаті контакту запиленого газового потоку з рідиною утвориться межфазна поверхня контакту. Ця поверхня складається з:

- газових пухирців;
- газових струменів;
- рідких струменів;
- краплин;
- плівок рідини.

У більшості мокрих пиловловлювачів спостерігаються різні види поверхонь, тому пил уловлюється в них різними механізмами.

Першими розглянемо порожні газопромивачі. Найбільше поширення з апаратів цього класу набули порожні форсуночні скрубери (рис. 3.1). Вони являють собою колону круглого або прямокутного перетину, у якій здійснюється контакт між газом і краплями рідини. Форсунок встановлюють у колоні в одному або декількох перетинах: іноді рядами до 14-16 у кожному перетині, іноді тільки по осі апарата. По напрямку руху газу й рідини порожні скрубери ділять на поперекові, прямокові і з поперековим підведенням рідини. При роботі без краплиноуловлювачів частіше використовують поперекові скрубери. Швидкість газу в них змінюється від 0,6 до 1,2 м/с. Скрубери з каплеуловителями працюють при швидкості газу 5 - 8 м/с [14].

Скрубери забезпечують високий ступінь очищення тільки при вловлюванні частинок пилю розміром 10 мкм і малоефективні при вловлюванні частинок розміром менше 5 мкм. Висота скрубера становить приблизно 2,5 діаметру. Діаметр апарата визначається по рівнянню витрати, питому витрату рідини вибирають у межах 0,5 - 8 л/м³ газу.

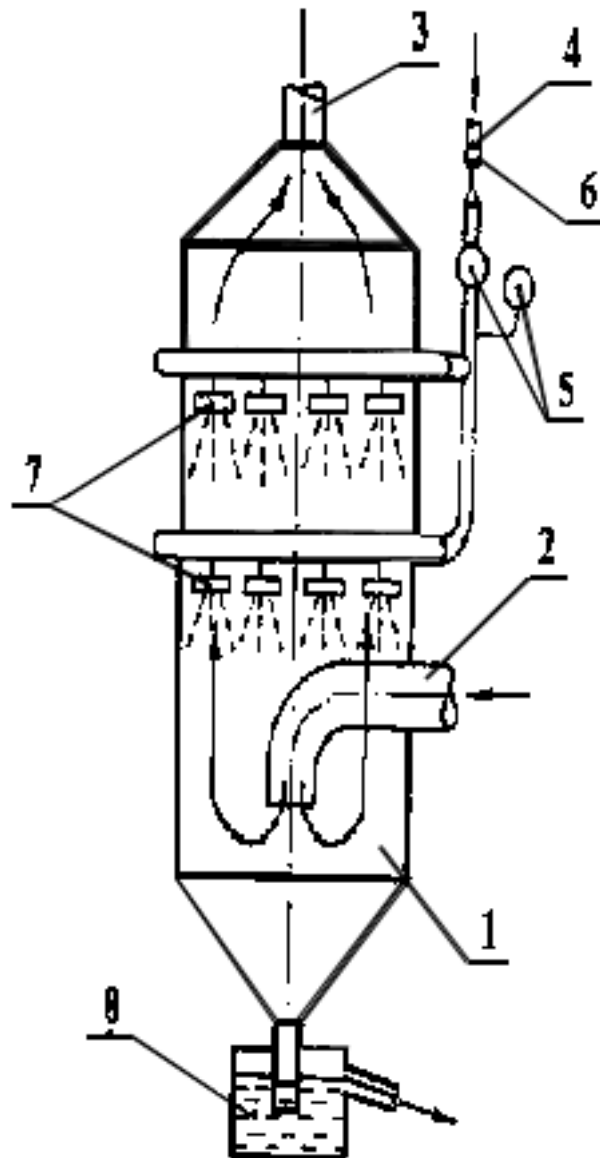


Рисунок 3 .1 – Скрубер з форсунками (1- циліндричний корпус, 2- вхідний патрубок, 3 - патрубок для відводу газу, який очищено, 4 – підвід води для зрошення , 5 – контрольні-вимірні прилади параметрів води, 6- регульована засувка, 7 – форсунки верхнього та нижнього ярусів зрошення, 8 – гідрозатор)

Наступний вид мокрих пиловловлювачів - насадочні газопромивачі. Вони являють собою колони з насадкою навалом або регулярною. Їх використовують для вловлювання пилу, що добре змочується, але при невисоких концентраціях. Через часте забивання насадки такі газопромивачі використовують мало.

Крім поперепопоточних колон на практиці застосовують насадочні скрубери з поперечним зрошенням. У них для забезпечення кращого змочування поверхні насадки шар її звичайно нахилений на $7\text{--}10^\circ$ у напрямку газового потоку. Витрата рідини $0,15 - 0,5 \text{ л/м}^3$. Ефективність при вловлюванні частинок розміром більше або дорівнює 2 мкм перевищує 90% .

З всіх апаратів цього виду найбільш велике поширення в пиловловленні мають газопромивачі з рухливою насадкою. В якості насадки використовують кулі з полімерних матеріалів, скла або пористої гуми. Насадкою також можуть бути кільця, сідла й т.д. Основна вимога - щільність куль насадки не повинна перевищувати щільності рідини. Колона з рухливою насадкою може працювати при різних режимах, але оптимальний режим для пиловловлення - режим повного (розвиненого) псевдосжиження. Для забезпечення високого ступеня пиловловлення рекомендуються наступні параметри процесу:

- швидкість газу - $5 - 6 \text{ м/с}$;
- питоме зрошення $0,5\text{--}0,7 \text{ л/м}^3$;
- вільний перетин тарілки $S_0 = 0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ при $v = 4 - 6 \text{ мм}$.

При очищенні газів, що містять смолисті речовини, а також пил, схильний до утворення відкладень, застосовують щілинні тарілки з більшою часткою вільного перетину. При виборі діаметра куль необхідно дотримувати співвідношення $D/d_{\text{щ}} \geq 10$. Оптимальними є кулі діаметром $20\text{--}40 \text{ мм}$ і насипною щільністю $200\text{--}300 \text{ кг/м}^3$. Мінімальна статистична висота шаруючи насадки $H_{\text{ст}}$ становить $5 - 8$ діаметрів куль, а максимальна визначається зі співвідношення $H_{\text{ст}}/D \leq 1$.

Скрубери з рухливою кульовою насадкою конічної форми (КСШ) запропоновані для забезпечення стабільності роботи в широкому діапазоні швидкостей газу, поліпшення розподілу рідини і зменшення віднесення бризів. Розроблено два типи апаратів – форсуночний та ежекційний. В ежекційному скрубери зрошення куль здійснюється рідиною, що всмоктується з посудини з постійним рівнем газами, які підлягають очищенню. Зазор між нижньою підставою конуса й рівнем рідини залежить від продуктивності апарата (чим більше зазор, тим більше продуктивність). В апаратах застосовують поліетиленові кулі діаметром $34 - 40 \text{ мм}$ із насипною щільністю $110 - 120 \text{ кг/м}^3$. Висота шару куль $H_{\text{ст}}$ становить 650 мм . Швидкість газу на вході в шар коливається в межах $6 - 10 \text{ м/с}$ і зменшується на виході до $1 - 2 \text{ м/с}$. Висота конічної частини в обох

варіантах прийнята 1 метр. Кут розкриття конічної частини залежить від продуктивності апаратів і може становити від 10 до 60°. Для вловлювання бризів у циліндричній частині апаратів розміщується незрошуваний шар куль висотою 150 мм.

На промислових підприємствах часто застосовують барботажні пиловловлювачі. Вони працюють за принципом барботування суміші води і піни. На рис. 3.2 наведена схема барботажно-пінного пиловловлювача. Апарат працює таким чином. Запилене повітря надходить під решітку, а далі – через її отвори і, барботуючи через шар води і піни, очищається від частинок пилу завдяки їх осіданням на внутрішній поверхні повітряних бульбашок, які спливають на поверхню води. Ефективність процесу очищення повітря в основному залежить від швидкості барботування. Найбільша ефективність очищення повітря від дрібнодисперсного пилу досягає 95 відсотків.

Найпоширеніші різновиди цих пилоуловлювачів – це пінні апарати із провальними тарілками або тарілками з переливом. Провальні тарілки можуть бути дірчастими, щілинними, трубчастими та колосниковими. Дірчасті тарілки мають діаметр отвору 4 - 8 мм. Ширина щілин в інших конструкцій тарілок дорівнює 4 - 5 мм. Вільний перетин всіх тарілок становить 0,2 - 0,3 м²/м². Основний механізм - пил уловлюється пінним шаром, що утвориться при взаємодії газу й рідини.

Виділяють наступні стадії процесу вловлювання пилу в пінних апаратах:

- інерційне осадження частинок пилу в просторі під решіткою;
- перша стадія вловлювання частинок пилу в пінному шарі («механізм удару»);
- друга стадія вловлювання частинок пилу в пінному шарі (інерційно-турбулентне осадження частинок на поверхні піни).

Причому ефективність уловлювання пилу в просторі під решіткою значна при вловлюванні пилу розміром частинок більше 10 мкм.

Основний вклад у роботу пінних апаратів для пиловловлення вносить «механізм удару». Ефективність цього механізму набагато більше ефективності інших механізмів, а загальна ефективність процесу пиловловлення залежить від величини межфазової поверхні.

Застосовуються також пінні апарати із стабілізатором пінного шару. На провальних ґратах установлюється стабілізатор, що представляє собою сотові ґрати з вертикально розташованих пластин, які розділяють перетин апарата й пінний шар на невеликі осередки. Завдяки стабілізатору відбувається значне нагромадження рідини на тарілці, збільшення висоти піни в порівнянні із провальною тарілкою без стабілізатора. Застосування стабілізатора дозволяє істотно скоротити витрату води на зрошення

апарата. Продуктивність таких апаратів (по кількості очищеного газу) зі стабілізаторами змінюється від 3000 до 90 000 м³/год.

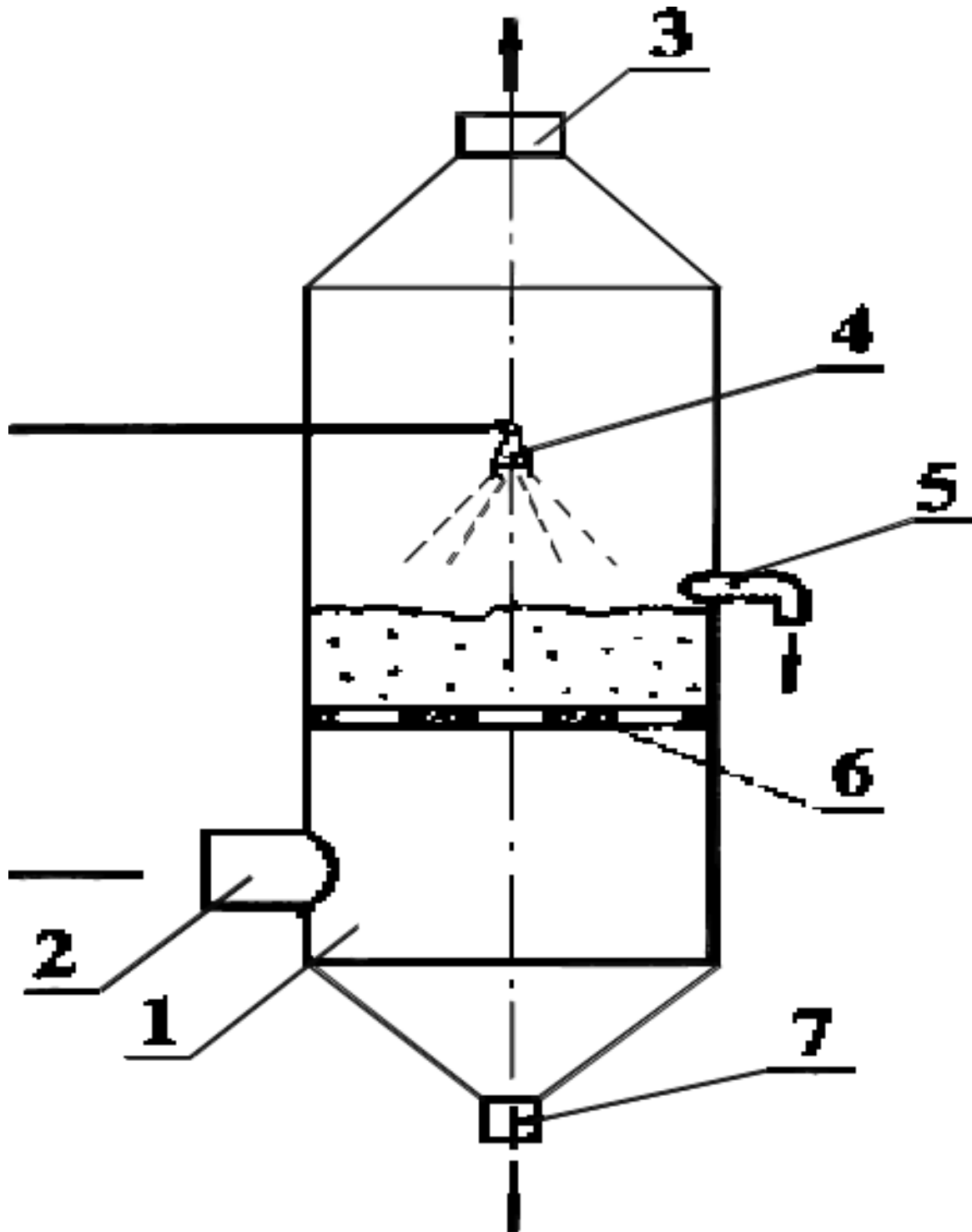


Рисунок 3.2 – Барботажний пінний апарат (1- корпус, 2- вхід повітря, 3 – вихід очищеного газу , 4 – зрошувач, 5 – відвід рідини у переливний відсік, 6 – решітка, 7 – відвід рідини, яка пройшла через решітку)

У апаратах ударно-інерційної дії контакт газів з рідиною здійснюється за рахунок удару газового потоку об поверхню рідини з наступним пропусканням газорідної суспензії через отвори різної конфігурації або безпосереднім її відводом у сепаратор рідкої фази. У результаті такої взаємодії утворюються краплі діаметром 300 - 400 мкм. Газ із великою швидкістю входить у колону. При повороті на 180° відбувається інерційне осадження частинок пилу на краплях рідини. В основі процесу осадження лежить «механізм удару». Є й інші конструкції апаратів цього типу (скрубери Дойля). У нижній частині труби встановлені конуси для збільшення швидкості виходу газу. У щілині вона дорівнює 35 - 55 м/с. Газ ударяється об поверхню рідини, створюючи завісу із крапель.

При роботі мокрих відцентрових пиловловлювачів застосовані сили інерції, які виникають при плавному викривленні потоку запиленого повітря та відцентрові сили. Загальний вигляд таких апаратів наведено на рис.3.3.

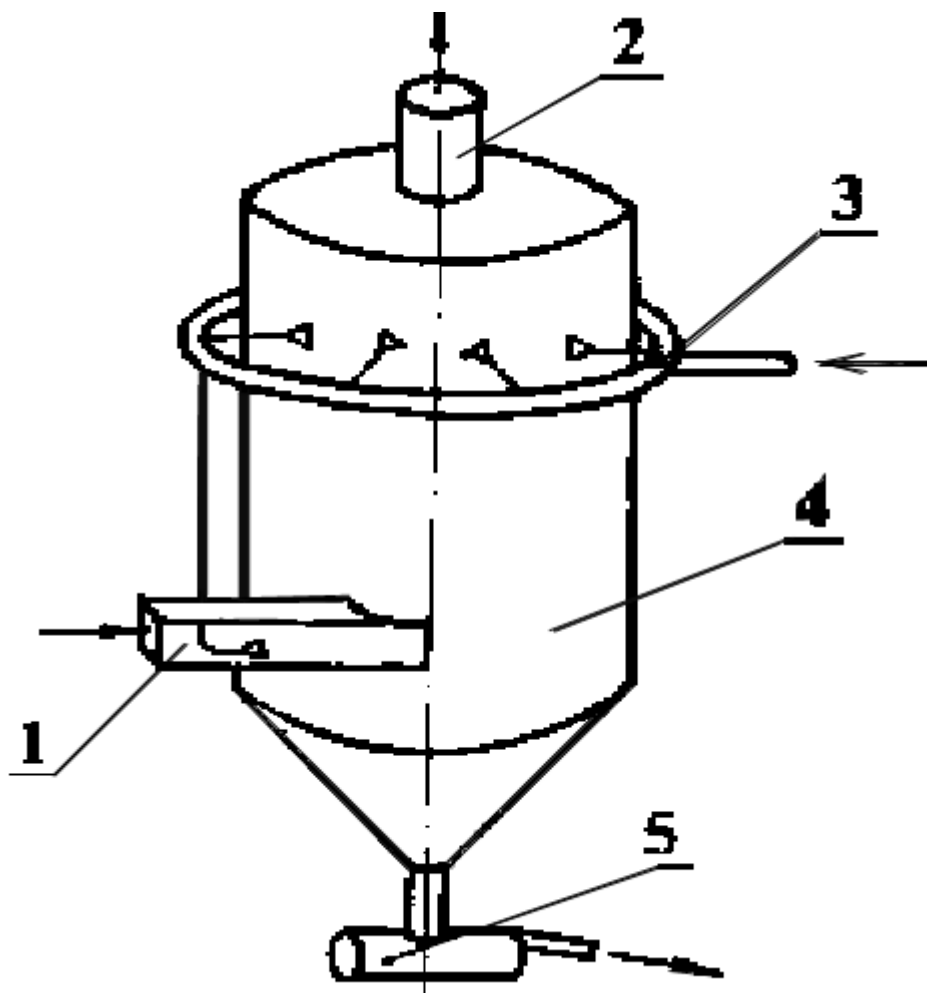


Рисунок 3.3 – Відцентровий скрубери (1 – тангенціальний патрубок для входу газу, який потрібно очистити, 2 – вихід очищеного газу, 3 – система подавання води, 4 – циліндричний корпус, 5 – гідрозатвор)

Пиловловлювач має вигляд вертикального циклона з тангенціальним підводом запиленого повітря. Зрошування апарата здійснюється водою за допомогою форсунок, які встановлені в камері для неочищеного газу. Циклонні елементи нижнім кінцем входять у шламову камеру, а очищене повітря виводиться через патрубок. Також є конструкції де нижня частина корпусу циклона заповнена водою, яка закручується повітряним потоком, змочуючи стінки апарата та створюючи середовище як в природних смерчах. Пил залишається на змочених стінках. У деяких випадках вісь обертання доцільно розташувати горизонтально.

Найбільш поширені відцентрові скрубери, які по конструктивним ознакам можна розділити на два види:

- апарати, у яких закручення газового потоку здійснюється за допомогою центрального пристрою з лопатками;
- апарати з бічним тангенціальним або равликовим підведенням газу.

Останні зрошують газову суміш через форсунки, установлені в центральній частині апарата, крім того, рідина, що стікає по внутрішній поверхні стінки апарата, утворює плівку [11]. Більшість вітчизняних відцентрових скрубєрів мають тангенціальне підведення газів і плівкове зрошення. Такі апарати використовують для очищення будь-яких видів пилу, що не цементується. Для створення на внутрішній поверхні стінки плівки води, її тангенціально вводять в апарат через ряд трубок, розташованих у верхній його частині. При вмісті пилу, що перевищує 2 г/м^3 , до очищення в циклоні з водяною плівкою рекомендується попереднє очищення газів в апараті іншого типу. При очищенні димових газів від золи також застосовують відцентровий скрубєр.

Для вловлювання пилу, який добре змочується (за винятком волокнистої та той, яка цементується) при початковій концентрації до 5 г/м^3 використовують швидкісні газопромивачі (скрубєри Вентурі). Пиловловлювачі цього типу належать до найбільш поширених очисних установок на машинобудівних, металургійних і деревообробних підприємствах. На рис. 3.4 зображена схема скрубєра Вентурі.

Основним елементом цього пиловловлювача є сопло Вентурі, в конфузорну частину якого підводиться потік запиленого повітря, а через відцентрові форсунки подається вода для зрошення. У конфузорній частині сопла повітря розганяється від вхідної швидкості ($15 - 20 \text{ м/с}$) до швидкості у вузькому перерізі сопла $30 - 200 \text{ м/с}$ і більше. Процес осідання частинок пилу на краплинах рідини зумовлений масою рідини, загальною поверхнею крапель і відносною швидкістю частинок рідини і пилу в конфузорній частині сопла. В конфузорній частині потік гальмується до швидкості $15 - 20 \text{ м/с}$ і подається в крапле вловлювач [9].

Скрубери Вентурі забезпечують високу ефективність очищення пилу - зі середнім розміром частинок 1 – 2 мкм і при початковій концентрації домішок до 100 г/м^3 . Ефективність цього пиловловлювача залежить від швидкості газу і питомого зрошення (зазвичай $0,5 - 1,5 \text{ л/м}^3$ газу).

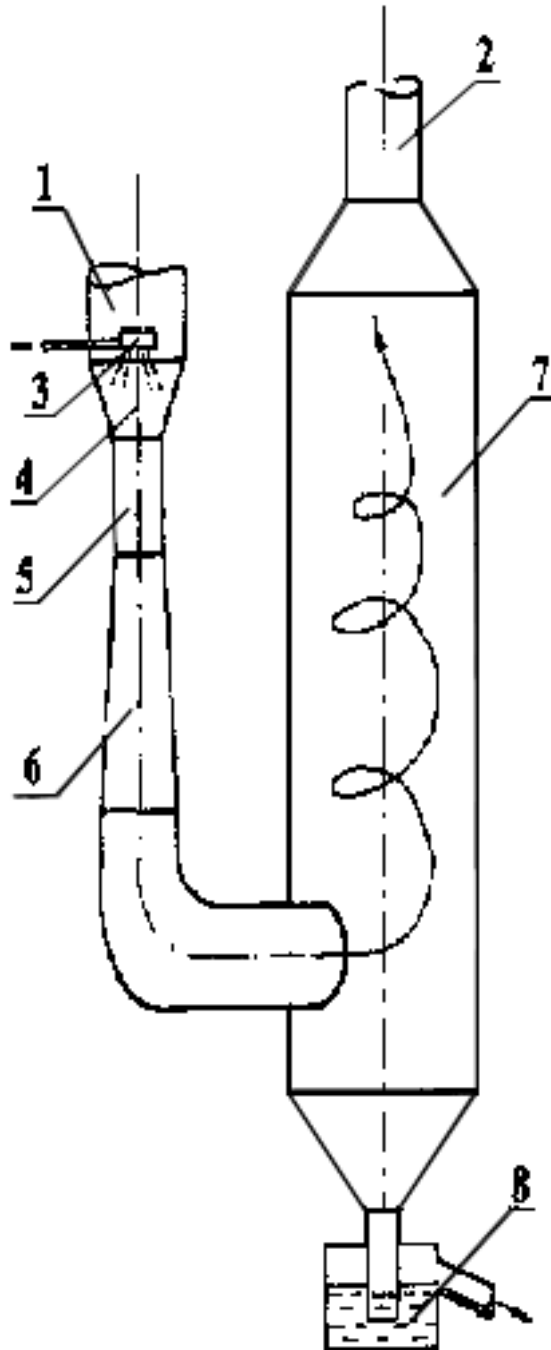


Рисунок 3.4 - Скрубер Вентурі (1 - вхід газу, який потрібно очистити, 2 - вихід очищеного газу, 3 - пристрій для зрошення, 4 - конфузори труби Вентурі, 5 - горловина, 6 - дифузори, 7 - краплиноуловлювач, 8 – гідрозатвор)

При більших обсягах газу застосовують батарейні або групові компонування скрубєрів Вентурі.

Питання для самоконтролю

1. Як відбувається очищення газів у мокрих пиловловлювачах (принцип роботи, класифікація мокрих пиловловлювачів, достоїнства і недоліки) ?
2. Охарактеризувати очищення газів у пустотілих газопромивниках (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, види порожніх скрубєрів, достоїнства і недоліки).
3. Дати опис очищення газів у насадкових газопромивниках .
4. Описати процедуру очищення газів у тарілчастих газопромивниках (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, види тарілчастих газопромивачів, достоїнства і недоліки).
5. Як очищають гази у газопромивниках ударно-інерційної дії ?
6. Яка процедура очищення газів у газопромивниках відцентрової дії (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, достоїнства і недоліки)?
7. Дати характеристику очищенню газів у швидкісних газопромивниках (механізм осадження, схема й опис принципу роботи, достоїнства і недоліки).

4 ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ В ЕЛЕКТРОФІЛЬТРАХ

В електрофільтрах очищення газів від пилу відбувається під дією електричних сил. У процесі іонізації молекул газів електричним розрядом відбувається і зарядка частинок пилу (коронуючий електрод). Іони адсорбуються на поверхні порошин, а потім під дією електричного поля вони переміщуються й осаджуються на осаджувальних електродах. Зарядка частинок у полі коронного розряду відбувається під дією двох механізмів:

- частинки пилу бомбардуються іонами, що рухаються під впливом електричного поля в напрямку силових ліній ;
- дифузії іонів.

Перший механізм переважає при розмірах частинок більше 0,5 мкм, другий - менше 0,2 мкм. Для частинок діаметром 0,2 - 0,5 мкм ефективні обидва механізми.

Максимальна величина заряду частинок пропорційна:

- квадрату діаметра частинок - для пилу розміром більше 0,5 мкм;
- діаметру частинки – для пилу розміром менше 0,2 мкм .

Таким чином, електроочищення включає наступні процеси:

- утворення іонів;
- зарядки частинок пилу;
- транспортування частинок пилу до осаджувальних електродів;
- періодичне руйнування шару пилу, що накопився на електродах;
- скидання вловленого пилу в бункер.

За конструктивними ознаками електрофільтри розрізняють :

- по напрямку ходу газів (на вертикальні і горизонтальні);
- за формою осаджувальних електродів (з пластинчастими, Z-образними, трубчастими і шестигранними електродами);
- за формою коронуючих електродів (голчастими, круглого або штикового перетину);
- по числу послідовно розташованих електричних полів на однопільні і багатопільні;
- по розташуванню зон зарядки й осадження на одно-зонні і двох зонні;
- по числу паралельно працюючих секцій на одне-секційні і багато-секційні .

Найпоширеніші електрофільтри з пластинчастими і трубчастими електродами. У пластинчастих електрофільтрах між осаджувальними пластинчастими електродами натягнуті дротові коронуючі електроди. У трубчастих електрофільтрах осаджувальні електроди являють собою циліндри (трубки), усередині яких по осі розташовані коронуючі

електроди. Принцип роботи трубчастого електрофільтра в загальних рисах можна описати так - запылений газ рухається по вертикальних трубах діаметром 200 - 250 мм, потім пил осідає на внутрішній поверхні труб і за допомогою струшуючого пристрою її видаляють у бункер.

Електрофільтри очищають великі обсяги газів від пилу із частками розміром від 0,01 до 100 мкм при температурі газів до 400 - 450 °С.

Ефективність роботи електрофільтрів залежить від властивостей пилу й газу, швидкості й рівномірності розподілу запыленого потоку в перетині апаратів і т.д. Чим вище напруженість поля й менше швидкість газу в апарату, тим краще вловлюється пил. Пил з малою електричною провідністю викликає явище зворотної корони, що супроводжується утворенням позитивно заряджених іонів, які частково нейтралізують негативний заряд порошин, внаслідок чого останні гублять здатність переміщатися до осаджувальних електродів. На провідність пилу впливає склад газу й пилу:

- з підвищенням вологості газів питомий електричний опір пилу знижується;
- наявність в очищених газах десятих і сотих частинок відсотка SO_2 й NH_3 значно поліпшує електричну провідність пилу;
- при високих температурах газу знижується електрична міцність міжелектродного простору, що приводить до погіршення вловлювання пилу;
- з підвищенням температури газів зростає їхня в'язкість й обсяг, а отже, збільшується швидкість потоку в електрофільтрі, що знижує ступінь очистки;
- зі збільшенням швидкості газу зростає так зване вторинний уніс пилу.

Для нормальної роботи електрофільтрів необхідно забезпечити чистоту осаджувальних і коронуючих електродів. Відкладення забруднень на коронуючем електроді сприяють підвищенню початкової напруги коронування, але це не завжди можливо. Якщо пил має великий електричний опір, то шар на електроді діє як ізолятор і коронний розряд припиняється.

Питання для самоконтролю

1. Описати механізм осадження, схеми і принципи роботи електрофільтрів.
2. За якими конструктивними ознаками електрофільтри розрізняють? Навести їх класифікацію.
3. Які достоїнства і недоліки має процес очищення газів у електрофільтрах?

5 УЛОВЛЮВАННЯ ТУМАНІВ

Тумани утворюються внаслідок термічної конденсації пари або в результаті хімічної взаємодії речовин, що перебувають в аеродисперсній системі. Тумани утворюються :

- при виробництві кислот (сірчаної, термічної фосфорної кислоти);
- при концентруванні різних кислот і солей;
- при випарі масел й ін.

Для вловлювання туманів застосовують волокнисті й сіткові фільтри-тумановловлювачі і мокрі електрофільтри.

Принцип дії волокнистих фільтрів-тумановловлювачів заснований на захопленні частинок рідини волокнами при пропусканні туманів через волокнистий шар. При контакті з поверхнею волокна відбувається об'єднання вловлених частинок й утворення плівки рідини, що рухається усередині шару волокон і потім розпадається на окремі краплі, які видаляються з фільтра.

Переміщення вловленої рідини у фільтрі відбувається під дією трьох сил:

- гравітаційних;
- аеродинамічних;
- капілярних .

Переміщення вловленої рідини у фільтрі залежить від :

- структури волокнистого шару (діаметра волокон, пористості й ступеня однорідності шару, розташування волокон у шарі);
- швидкості фільтрації;
- змочуваність волокон;
- фізичних властивостей рідини й газу.

При цьому, чим більше щільність упакування шару й менший діаметр волокон, тим більше рідини втримується в ньому.

Достоїнствами фільтрів-тумановловлювачів є:

- висока ефективність уловлювання (у тому числі тонкодисперсних туманів);
- надійність у роботі;
- простота конструкції, монтажу й обслуговування.

Однак ці фільтри мають і недоліки - можливість швидкого заростання фільтру при значному вмісті в тумані твердих частинок або при утворенні нерозчинних солей унаслідок взаємодії солей твердості води з газами (CO_2 , SO_2 , HF й ін.).

Волокнисті тумановловлювачі розділяють на низькошвидкісні (переважає механізм дифузійного осадження крапель) і високошвидкісні

(осадження здійснюється переважно під дією інерційних сил). Ті й інші, являють собою набір фільтруючих елементів.

Фільтруючі елементи низькошвидкісного тумановловлювача включають дві соосно розташовані циліндричні сітки із дроту діаметром 3,2 мм., приварені до дна й вхідного патрубку. Простір між сітками заповнено тонким волокном діаметром від 5 до 20 мкм із щільністю пакування 100—400 кг/м³ і товщиною шару від 0,03 до 0,10 м. Волокна виготовляють із спеціальних стекол, поліпропілену, поліефірів, полівінілхлориду, фторопласта й інших матеріалів. Фільтруючі елементи кріплять на трубних ґратах у корпусі колони (до 50-70 елементів). Ці тумановловлювачі працюють при швидкості газу менше або дорівнює 0,2 м/с, мають продуктивність до 180000 м³/годин та забезпечують високу ефективність очищення (до 0,999) газу від частинок розміром менше 3 мкм і повністю вловлюють частинки пилу більшого розміру.

Високошвидкісні тумановловлювачі виконуються у вигляді плоских елементів, заповнених пропіленовим войлоком, які випускають із волокон діаметром 20, 30, 50 й 70 мкм. Ці тумановловлювачі мають менші габаритні розміри, забезпечують ефективність очищення від туману з частинками менше 3 мкм у межах 90 – 98 %. Високошвидкісні тумановловлювачі можна використати для уловлювання туману кислот (H₂SO₄, HCl, HF, H₃PO₄) і концентрованих лугів.

При роботі швидкісних тумановловлювачів з вихідної сторони можуть виникати бризки рідини. Тому в конструкції тумановловлювачів передбачають бризковловлювачі, які виготовляють з пакетів сіток. Захоплення частинок рідини здійснюється завдяки ефекту дотику та інерційних сил. Швидкість фільтрації в бризковловлювачах не повинна перевищувати 6 м/с. У фільтрах-бризковловлювачах використовуються повсті з волокон діаметром 70 мкм. При швидкості фільтрації 1,5 - 1,7 м/с ефективність очищення для частинок більше 3 мкм близька до 100%.

Найбільше часто застосовують двоступінчасті установки (с різними по конструкції фільтрами), які можуть бути двох типів.

В установках першого типу головний фільтр призначений для вловлювання великих частинок і зниження концентрації туману. Другий фільтр служить для очищення від високодисперсних частинок.

В установках другого типу перший фільтр служить агломератом у якому осаджуються частинки всіх розмірів, а вловлена рідина виноситься потоком газів у вигляді великих крапель у другий фільтр-бризковловлювач.

Для вловлювання масла розроблені фільтри з обертовим циліндричним фільтруючим елементом, що забезпечує ефективну й безперервну регенерацію шару від уловленого масла. Продуктивність

таких фільтрів від 500 до 1500 м³/ч, ефективність очищення становить 85 - 94%.

Для очищення від грубодисперсних домішок бризків використовують краплевловлювачі з в'язаних металевих сіток, що складаються з пакетів, із легованих сталей, сплавів на основі титану й інших корозійно стійких матеріалів. Сітки можуть бути виготовлені також із фторопласта й поліпропілену. Сітки (з діаметром дроту 0,2-0,3 мм) гофрують й укладають у пакети товщиною від 50 до 300 мм і як сепаратори встановлюють у колоні. Для підвищення ефективності вловлювання тумана передбачають два шаблі сіткових сепараторів. Сепаратори ефективно працюють при концентрації пари в газах не більше 100- 120 г/м³.

Для вловлювання туману кислот застосовують мокрі електрофільтри . За принципом дії вони не відрізняються від сухих електрофільтрів (див. розділ 5). Наприклад, електрофільтр КТ-7, застосовуваний для вловлювання туману сірчаної кислоти, має по 144 коронуючих та осаджувальних електродів. Він працює при тиску 500 Па й температурі газу 160° С.

Питання для самоконтролю

1. Описати механізм осадження, схеми і принципи роботи тумановловлювачів.
2. На які види можна розділити тумановловлювачі? Чим вони відрізняються один від одного?
3. Які достоїнства і недоліки мають апарати для уловлювання туманів?

6 РЕКУПЕРАЦІЯ УЛОВЛЕНОГО ПИЛУ

Існують методи рекуперації, ліквідації та ізоляції промислових пилів.

Ці методи застосовуються в залежності від :

- способу вловлювання (сухі й мокрі);
- природи, кількості, фізико-хімічних властивостей та концентрації потенційно корисного компонента;
- токсичності, пилу;
- вартості процедур;
- перспектив наступної переробки й ряду інших показників.

Природно, що найбільш раціональним є рекуперація пилів. Можливі шляхи використання промислових пилів:

- використання у якості цільового продукту;
- повернення у виробництво, де згідно технології відбувається утворення даного виду пилу;
- переробка в іншому виробництві з метою одержання товарних продуктів;
- утилізація в будівельних цілях;
- переробка з витягом цінних компонентів;
- сільськогосподарське використання (в окремих випадках як добрива);
- утилізація в процесах, де використовуються окремі фізико-хімічні властивості (або сукупність таких властивостей) пилоподібних матеріалів.

Розглянемо деякі приклади вищенаведених варіантів рекуперації пилу [1].

У випадку використання пилу як цільового продукту, як правило, це має відношення до технології, спрямованої на спеціальне одержання продукції у вигляді тонкодисперсного матеріалу. Типовим прикладом такої технології є виробництво сажі. Сажу широко використовують у багатьох галузях промисловості - гумовій і шинній (більше 90% усієї виробленої кількості), лакофарбової й ін. Сажу одержують у процесі спалювання нафтопродуктів або горючих газів при недостатчі повітря (у полум'ї, що коптить). Особливістю сажі є висока дисперсність складових її частинок (0,01 - 5,5 мкм) і їх низький питомий електричний опір. Щільність сажі перебуває в межах 1750-2000 кг/м³, а її насипна щільність 40-300 кг/м³. Залежно від способу виробництва сажі і її сорту застосовують різні схеми вловлювання сажі з технологічних газів при її виробництві.

Розглянемо процедуру вловлювання опираючись на схему очищення технологічних газів у виробництві форсуночної сажі. Таку сажу одержують

при спалюванні рідких нафтопродуктів, що розпорошують форсунками в реакторах при недостатці повітря. Вона характеризується великою дисперсністю: її питома поверхня становить 25 – 35 м²/г. У газах, що надходять на очищення, зміст сажі становить 80 - 100 г/м³. Варто враховувати, що гази, які відходять від виробництва сажі, вибухонебезпечні й горючі. Для виділення форсуночної сажі з технологічних газів сажового виробництва використовують горизонтальні односекційні електрофільтри типу СГ. Вони мають сталевий корпус і обладнані вибуховими клапанами для амортизування пікових тисків при виникненні в системі «ударів». Щоб уникнути підсмоктування повітря та утворення вибухонебезпечних сумішей електрофільтри працюють під надлишковим тиском 50 - 100 Па. Найбільш стійкий температурний діапазон їхньої роботи 180 - 230⁰С. Припустимий зміст кисню у газах, які надходять на очищення, становить менше або дорівнює 1,3 %. В електрофільтрах відбувається часткова коагуляція зважених частинок, тому для вловлювання агломератів, що утворюються, використовують другий щабель очищення, у якості якої служать послідовно встановлені циклони. Ступінь очищення в першому щаблі становить 97 %, а в другому 80 %. У середньому залишковий зміст сажі в газах після електрофільтрів перебуває в межах 1,5 - 4,5 г/м³, після циклонів - 0,5 - 0,7 г/м³. Після другого щабля очищення газу направляють на спалювання. Виділену з газової фази сажу пневмотранспортом передають у цех обробки, де її відділяють від сторонніх включень, пропускають через мікродрібнювач та ущільнювач, а потім гранулюють і у вигляді готової продукції пакують у мішки або барабани.

Що стосується повернення пилу у виробництво, то це є :

- одним із найпоширеніших і раціональних прийомів забезпечення безвідходності виробництва;
- одночасним збільшенням ефективності виробництва;
- рішенням природоохоронних завдань.

Технологія повернення пилових матеріалів, що вловлюють, в основне виробництво зазвичай визначається використовуваними способами газоочищення (сухі, мокрі, одно - і двоступінчасті та комбіновані) і доцільністю введення цих продуктів у певний апарат технологічної схеми в тому або іншому агрегатному стані [1].

При одержанні декаоксотрифосфату (триполифосфату) натрію з роздільним сушінням розчину у сушарці й прожарюванням сухих ортофосфатів у турбокальцинаторі, гази, що надходять у систему очищення з відділення сушіння, складаються із продуктів згоряння природного газу, надлишкового повітря, вологи й пилу ортофосфатів натрію. Пил ортофосфатів натрію є середньо-дисперсним. Кількість пилу становить близько 44% від продуктивності установки по ортофосфату натрію.

Основну частину цього пилу вловлюють у батарейному циклоні. Загальна ефективність очищення для батарейного циклона становить 96,4%. Попередньо очищені гази подають потім у порожній скруббер, зрошуваний розчином ортофосфату натрію, що насичується в процесі циркуляції до щільності 1300 кг/м³, при досягненні якої розчин виводять із циклу та передають на сушіння, а систему заповнюють свіжою водою. Витрата розчину, що подається на форсунки скрубера, становлять 0,237 л на 1 м³ - газу, який очищається. Дисперсну суміш солей із збірного бункера батарейного циклона транспортують у кальцинатор для одержання високоякісного продукту. Ефективність очищення газів у порожньому скруббері становить 55,6 9%.

Так, при виробництві аміачної селітри та карбаміду - багатотоннажних продуктів, використовуваних в основному як добрива в сільському господарстві, на стадіях відповідно охолодження висушеного в апаратах киплячого шару після грануляції продукту і охолодження та сушіння готового продукту у кристалізаторах утворюється пило-повітряна суміш зі значним вмістом цих речовин. Для їхнього вловлювання і очищення, повітря перед його викидом в атмосферу, пропускають через різного виду апарати мокрого поглинання (пінні, порожні й інші скрубери), зрошувані водяними розчинами компонентів, що вилучають циркулюючими в системі очищення домішки до досягнення певної концентрації, після чого розсоли, що утворюються, повертають у той або інший апарат технологічної системи.

Як приклад розглянемо схему рекуперації аміаку і пилоподібного карбаміду з пило-газової суміші, що виходить із кристалізаторів карбамідного виробництва. Поглинальний розчин циркулює в системі до досягнення 40 - 50 % концентрації в ньому карбаміду, після чого його передають в основне виробництво на переробку в товарний продукт, а для продовження процесу очищення використовують нову порцію конденсату.

Аналогічно може бути організована технологія рекуперації пилу у виробництві аміачної селітри на стадії очищення газів у процесі гранулювання, а у виробництві адипінової кислоти на стадії її сушіння та у деяких інших процесах.

Подібним же чином - із безпосереднім поверненням уловленого пилу, у вигляді водяного розчину в основне виробництво організують рекупераційні цикли при очищенні вентиляційних викидів у виробництвах хлориду кальцію, карбаміду й ряду інших продуктів.

Розглянемо утилізацію пилу, який уловлений в одному виробництві, і може використовуватися як сировина для іншого виробництва. Це також є досить розповсюдженим прийомом використання пилоподібних відходів у хімічній й іншій галузях промисловості. Так, огарковий пил, що вловлюється в батарейних циклонах чи у сухих електрофільтрах, при

очищенні газу, який вміщує триоксид сірки при виробництві сірчаної кислоти з колчедану також вміщає в середньому:

- 40 - 63 % заліза;
- 1 - 2 % сірки;
- 0,33 - 0,47 % міді;
- 0,42 - 1,35% цинку;
- 0,32 - 0,58% свинцю;
- 10-20 г/т дорогоцінних металів й інші сполуки.

Після відповідної обробки або без такої можна використати цей пил в шахті для виплавки чавуну.

Сажа, виділена при очищенні технологічних і інших газів, що відходять, на деяких виробництвах, може бути використана для виготовлення гранул або брикетів, що служать як паливо для котелен. Наприклад, у процесах газифікації рідких палив при мокрому очищенні одержуваного синтезу-газу, використовуваного як сировина для різних хімічних синтезів, сажевий пил виводять у вигляді водяного розчину, відстій якого (шлам) може бути перероблений у наступному процесі. За цією схемою синтез-газ очищають від сажі в кілька кроків із використанням послідовно встановлених по ходу газу скрубера, пінного апарата і електрофільтра. Як робоча рідина в системі використовується вода, циркуляція якої забезпечується відцентровими насосами. Щоб уникнути накопичення у воді шкідливих домішок та солей жорсткості в системі водообороту (крім дегазації й охолодження води в градирні) передбачено її подлуження та продувка. Відокремлювану у відстійниках сажову пульпу (шлам із вмістом сажі близько 5 %) збезводнюють на вакуум-фільтрі. Отриманий концентрат змішують із гасом (або іншими подібними продуктами) з розрахунку 140 кг на 1 м³ шламу. Суміш гранулюють. Готовий продукт - паливні гранули розміром 5 - 15 мм містять 25 % сажі, 70 % гасу й 5 % вологи.

Слід зазначити, що в ряді випадків можливо й доцільно комплексне використання технологічного та аспираційного пилу різних виробництв із метою одержання товарної продукції. Наприклад, при готуванні сировинних сумішей для одержання цементного клінкера широко використовують огарковий пил сірчано-кислотного виробництва. Цей же пил застосовують у виробництві деяких мінеральних пігментів [1].

7 СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ ВІД ГАЗОПОДІБНИХ ДОМІШОК

7.1 Основні напрямки захисту повітряного басейну

По якісному складу і шкідливості викидів в атмосферу промислові виробництва і технологічне устаткування, що є джерелами забруднення атмосфери, можна розділити, на чотири групи:

- до першої відносять - умовно чисті викиди, що мають, тобто вміщують шкідливі речовини в концентраціях, які не перевищують санітарно-гігієнічні норми (технологічні печі, що працюють на природному газі або малосірчистому паливі);
- до другої відносять такі викиди, які мають неприємний запах (наприклад, виробництво слабкої азотної кислоти з каталітичним очищенням);
- до третьої відносять такі, які мають значні викиди, що містять нетоксичні або інертні речовини (дробильно-помольне устаткування, сушильні барабани, устаткування збагачувальних фабрик);
- до четвертої групи відносять викиди, які вміщують канцерогенні, токсичні або отруйні речовини (виробництво поліетиленової плівки, фенолу, хлорвінілу, сірчаної та соляної кислоти, карбаміду, гербіцидів, сульфату і карбїду кальцію, ефірів).

Основними напрямками захисту повітряного басейну від забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами є створення нової безвідхідної технології із замкнутими циклами виробництва та комплексним використанням сировини. Більша частина діючих промислових підприємств використовують технології з відкритим циклом виробництва. У цих випадках гази, що відходять, перед викидом в атмосферу піддаються очищенню [11].

В основі багатьох технологічних методів очищення газів від газоподібних домішок лежать процеси взаємодії газів з рідкими або твердими поглиначами, а також процеси хімічного перетворення отруйних домішок у нетоксичні сполуки при високих температурах у присутності каталізаторів. Найбільше поширення при очищенні газів від газоподібних шкідливих речовин одержали адсорбційні, абсорбційні й каталітичні методи.

Дамо стисло характеристику абсорбційним методам. Абсорбція - це процес виборчого поглинання газу або пари рідиною. В основі процесів абсорбції лежать дифузійні процеси переходу речовини з газоподібної

фази в рідку через їхню поверхню розділу. Рушійною силою абсорбції є різниця вихідного і рівноважного тисків взаємодіючих компонентів:

$$P_{cc} = \frac{(P'_r - P'_p) - (P''_r - P''_p)}{2,31 \lg \frac{P'_r - P'_p}{P''_r - P''_p}}, \quad (7.1)$$

де P'_r, P''_r - парціальні тиски компонента, що поглинається, у газовій фазі на вході в апарат і на виході з апарата;

P'_p, P''_p - рівноважні парціальні тиски компонента, що поглинається над рідиною.

Граничним станом системи є досягнення рівноваги, тобто такого стану, коли можливе протікання тільки оборотних процесів.

Абсорбція може бути фізичною, коли молекули газу розчиняються у рідині, і хімічною (хемосорбція), коли молекули газу розчиняються і реагують з молекулами рідини.

При санітарному очищенні газів часто використовують хемосорбційні процеси. Рушійною силою хемосорбційних процесів є різниця ентропій газу і рідини:

$$\bar{U}_{відн} = \varphi(S_1 - S) \quad (7.2)$$

де $\bar{U}_{відн}$ - відносна швидкість хемосорбції;

S_1, S - ентропії розчину й газової суміші;

φ - константа масопередачі.

Між рідиною й газом утворюється межа розподілу фаз. Саме на цій межі і будуть протікати хімічні реакції. Таким чином, у загальному випадку, швидкість хемосорбційного процесу буде визначатися швидкістю підведення реагуючих компонентів до поверхні розподілу фаз, а також швидкістю хімічної реакції і відводу продуктів реакції в обсяг рідини. Причому, може виявитися, що швидкість хімічної реакції набагато менше швидкості дифузії компонентів, або швидкість хімічної реакції набагато більше швидкості дифузії компонентів, або швидкість хімічної реакції порівнянна зі швидкістю дифузії компонентів.

Дуже повільні реакції протікають, головним чином, у рідкій фазі і тому швидкістю реакції в дифузійній плівці можна зневажити. Сумарна швидкість абсорбції лімітується швидкістю хімічної реакції.

Якщо швидкість необоротної хімічної реакції велика, можна вважати, що реакція повністю протікає в дифузійній плівці. Продукти реакції, що утворюються, ізолюють газове середовище від активної частини

поглинача, і швидкість процесу в цьому випадку визначається швидкістю дифузії компоненту, що поглинається.

У випадку сумірності швидкостей хімічної реакції і дифузії спільно розглядаються рівняння дифузії й хімічної реакції.

Далі розглянемо адсорбційні методи. Адсорбція являє собою процес виборчого поглинання газу або пари твердими речовинами (сорбентами). Поглинаються ті речовини, які знижують поверхнєве напруження адсорбенту відносно оточуючого середовища. Як свідчать досліди, на поверхні розподілу фаз адсорбуються, головним чином ті речовини, які за своєю полярністю знаходяться між речовинами, що утворюють ці фази. Кількість адсорбованої речовини буде зростати зі зростанням поверхні, що адсорбує. Таким чином, для досягнення більшого ефекту адсорбції, необхідно мати як можна більшу поверхню адсорбції. Тому добрими адсорбентами можуть бути тільки ті, які мають сильно розвинену поверхню, що властиво або речовинам з пористою, губчастою структурою, або які знаходяться у стані тонкого подрібнення (високодисперсними). З підвищенням температури при постійному тиску, як правило, зменшується кількість адсорбованого газу, а при зниженні температури вона збільшується. Відносно природи газу, який адсорбується, можна сказати, що сильніше адсорбуються ті гази, які легше конденсуються у рідину.

Хімічні реакції між газом і твердою речовиною протікають на поверхні розділення фаз і відрізняються рядом характерних особливостей. Обсяг реакційної системи обмежений межфазною поверхнею, реакції протікають у напрямку зростання шару твердого продукту реакції, який накопичується як на окремій частці так й у шарі частинок, також спостерігається наростання швидкості реакції в часі, що пояснює каталітичною дією твердих продуктів реакції (автокаталіз).

Тут, як й в абсорбції можуть бути розглянуті два випадки: фізична сорбція газів і сорбція, яка супроводжується хімічними реакціями (хемосорбція). Всі гетерогенні реакції, що протікають за участю твердих речовин, підрозділяються на групи, швидкість яких визначається: хімічними, дифузійними, дифузійно-кінетичними процесами та процесами кристалізації. Незважаючи на розходження реакцій, у кінетичному відношенні вони можуть бути об'єднані однією загальною залежністю, заснованою на поступовому збільшенні товщини дифузійного шару твердого продукту реакції.

Розроблено ряд високоефективних сорбентів: активовані вугілля, силікагелі, синтетичні цеоліти (молекулярні сита).

Розглянемо досить загально каталітичні методи. Каталізатори - це речовини, що прискорюють реакцію, але при цьому не змінюються. Каталізатором називають явище змінення швидкості реакції або збудження

її, що відбувається під впливом деяких речовин, які називаються каталізаторами, вони беруть участь у процесі, але самі у кінці реакції зостаються незмінними. Проблема підбора активних та вибіркового каталізаторів є однією з найважливіших та дуже складних у практиці каталітичного очищення газів.

Теоретичні уявлення про механізм каталізу виявилися занадто загальними для конкретних рекомендацій. Тому вибір каталізаторів здійснюється емпіричним шляхом на основі вже уявлень про сутність і механізм каталізу подібних й однотипних реакцій.

Усі каталітичні реакції прийнято розподіляти на реакції гомогенного каталізу та реакції гетерогенного каталізу. До перших відносять такі, у котрих каталізатор знаходиться у однорідній газовій або рідкій суміші з реагуючими речовинами, а у гетерогенному – каталізатор знаходиться у вигляді самостійної фази і взаємодія відбувається на поверхні його.

Велике значення в гетерогенному каталізі має вміст різних домішок у каталізаторі. Деякі із цих домішок є інертними й не мають істотного впливу на каталізатор, а інші, підвищують його активність (промотори), або повністю чи частково позбавляють каталізатор активності (каталітичні отрути).

Дуже важливим показником каталізатора є температура запалювання, при якій він починає проявляти каталітичні властивості. Цим визначається нижча температурна межа роботи каталізатора в реакціях, що протікають із виділенням тепла. Підвищення температури сприятливо позначається на швидкості протікання більшості каталітичних реакцій, однак при температурах вищих від припустимих можливе порушення його адсорбційно-структурних властивостей і зниження активності.

Каталітичні методи мають більші потенційні можливості. Правильно підібрані каталізатори та добре спроектований технологічний процес дозволяють найбільше ефективно й ощадливо проводити процес санітарного очищення газів [11].

Питання для самоконтролю

1. На які групи за якісним складом та шкідливістю викидів до атмосфери поділяють промислові виробництва і технічне устаткування?
2. Дати характеристику найбільше поширеним методам очищення промислових викидів від газоподібних домішок.
3. Дати загальну характеристику адсорбційних, абсорбційних та каталітичних процесів.
4. Що ви знаєте про абсорбційні процеси? Чим відрізняється хемосорбція від фізичної сорбції?

5. Що ви знаєте про адсорбційні процеси? Якими властивостями повинні володіти адсорбенти?
6. Що ви знаєте про каталітичні процеси? Які каталізатори називають гомогенними, а які гетерогенними?
7. Яким чином впливає температура та природа речовини, що адсорбується, на адсорбцію та каталіз?

7.2 Очищення промислових газів від сполук сірки

7.2.1 Очищення від сірчистого ангідриду

Сірчистий ангідрид SO_2 – безбарвний газ з різким запахом. З водою утворює сірчисту кислоту, яка легко розпадається:



Підвищення температури зсуває рівновагу цієї реакції ліворуч. Сірчистий ангідрид типовий кислотоутворюючий оксид, він реагує з лугами з утворенням стійких солей. Так як H_2SO_3 двоосновна кислота, вона може давати два ряди солей – середні (сульфіти) та кислі (бісульфіти).

У присутності каталізаторів сірчистий ангідрид окислюється окислювачами до сполук шести валентної сірки:



Відновники відновлюють SO_2 до елементарної сірки:



Сірчистий ангідрид є одним з найпоширеніших компонентів шкідливих викидів хімічної промисловості. Досить великі кількості його викидаються в атмосферу при виробництві сірчаної кислоти та при спалюванні високосірчистого палива в теплоенергетичних установках. Відомо більше двохсот різних способів уловлювання двооксиду сірки з газів і тільки декілька десятків з них застосовуються для санітарного очищення газів. Такий досить широкий вибір методів очищення газів від

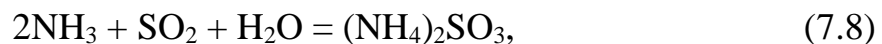
SO₂ обумовлено різними характеристиками газових викидів (обсягу газів, їх тепломісткістю, концентрацією, складом і характером супутніх компонентів), наявністю в прилеглих районах необхідного хемосорбенту та потребою в продуктах утилізації [11].

Всі відомі та перевірені в заводських умовах методи можна підрозділити на три групи:

- аміачні методи;
- методи нейтралізації;
- каталітичні методи.

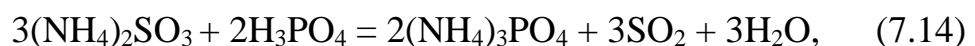
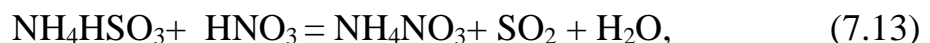
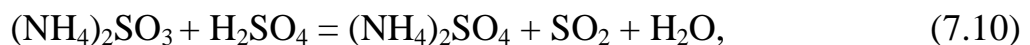
7.2.2. Аміачні методи очищення газів від сірчистого ангідриду

Аміачні методи засновані на взаємодії аміаку з двооксидом сірки, у результаті чого утвориться сульфїт-бісульфїт амонію:



Присутній у газах, що відходять, кисень до окислює сульфїт-бісульфїт до сульфату амонію. Аміачні методи зазвичай нециклічні тому, що аміак не повертається на поглинання сірки.

Розглянемо аміачно-кислотні методи. Для одержання товарних продуктів (SO₂) бісульфїт амонію обробляють кислотами. Залежно від застосовуваної кислоти аміачно-кислотні методи діляться на аміачно-сірчано-кислотний (рівняння 7.10 – 7.11), аміачно-азотно-кислотний (рівняння 7.12 - 7.13) і аміачно-фосфорно-кислотний (рівняння 7.14 - 7.15):



Сірчистий ангідрид, що виділяється, концентрують і переробляють на сірчану кислоту.

Аміачно-окислювальні методи передбачають уловлювання SO₂ по реакціях (7.8) та (7.9) і окислення сульфїт-бісульфїтного розчину киснем до сульфату амонїю. Сульфат амонїю використовують або як товарний продукт, або для одержання комплексних подвійних добрив. Ступїнь витягу SO₂ з газів, що відходять, становить порядку 90 %.

Переваги аміачних методів:

- висока ефективність очищення;
- відсутність у адсорбентах твердих складових, які перешкоджають нормальній роботі технологічного обладнання;
- утримання у якості продуктів утилізації цінних речовин.

Недолїки аміачних методів:

- підвищення кількості аміаку (через його летючість) ;
- забруднення атмосфери токсичними дрібними кристалами сульфїту та сульфату амонїю, які важко уловлювати;
- складність технологічної схеми ;
- необхідність попереднього охолодження газу, що піддається очищенню, для зменшення втрат аміаку та зменшення утворення сульфату амонїю [11].

7.2.3 Методи очищення газів, основані на нейтралізації сірчистого ангїдриду

Содовий метод заснований на поглинанні сірчистого ангїдриду розчином соди. Фактично процес одержання бісульфїту проходить через стадії утворення бікарбонату й сульфїту натрію:

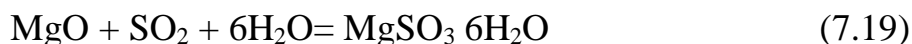


При концентрації SO₂ у газі менш 0,3 % одержання товарного продукту ускладнюється через процес окислення NaHSO₃ у рідкій фазі, який протікає паралельно . У цих випадках розчин необхідно насичувати більш концентрованим сірчистим ангїдридом, що відбирають із основної системи.

Вапняний метод засновано на поглинанні SO₂ з газів суспензій CaO. При очищенні газів, що відходять після концентраторів сірчаної кислоти, крім SO₂ містять туман сірчаної кислоти. Основна кількість сірчаної

кислоти вловлюється в електрофільтрах, однак близько 10 % туману залишається в газах, що надходять у скруббер. Тут H_2SO_4 реагує із CaO .

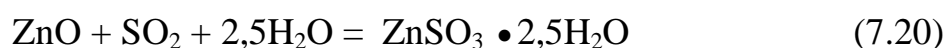
Сутність магнезитового методу складається у зв'язуванні SO_2 суспензією MgO з утворенням сульфїту магнію, що випадає в осад :



Кристалічний сульфїт магнію піддається сушінню і випарюється при температурі 760- 1100⁰С з одержанням сірчистого ангїдриду (10 –16 %) та оксиду магнію. Оксид магнію повертається в цикл поглинання, а SO_2 надходить на подальшу переробку.

Магнезитовий метод має різновидності. Для очищення газів від SO_2 застосовують гідроксид магнію, або лужний розчин оксиду магнію та оксиду марганцю (IV). Вважають, що у поглинанні SO_2 беруть участь такі сполуки як $n\text{MgO} \cdot \text{MnO}$, де $n = 3 - 6$. Оксид марганцю (IV) сприяє прискоренню адсорбції двооксиду сірки. У деяких випадках у розчин, який містить оксид магнію, додають гідроксид кальцію, що сприяє збільшенню лужності розчину та повнішому видаленню SO_2 . Недоліками цього методу є технологічні труднощі на стадіях кристалізації, фільтрування та центрифугування сульфїту магнію, а також регенерації магнезиту та висока вартість процесу.

При використанні цинкового методу поглинання SO_2 з газів виникає за рахунок використання суспензії оксиду цинку. При цьому протікають реакції:



Кристали сульфїту цинку випадають в осад, їх відокремлюють від рідини фільтрацією або центрифугуванням. Відфільтрований $\text{ZnSO}_3 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ при нагріванні до 300-350⁰С розкладається на H_2O , SO_2 , і Zn . Оксид цинку повертається в цикл поглинання, а SO_2 видається у вигляді продукту. Сульфїт цинку, що утворюється побічно, окисляється киснем повітря в сульфат, що залишається в розчині. Сульфат цинку може бути перероблено різними способами. Відповідно до цього можливі три варіанти:

- видача як готової продукції сульфату цинку і рідинного сірчистого ангїдриду;
- видача у вигляді готової продукції тільки рідкого сірчистого ангїдриду;
- одержання сірчаної кислоти.

Перевагою цього методу над магnezитовим є те, що температура термічної дисоціації сульфїту цинку на декілька сотень градусів нижча ніж у сульфїту магнію, що дозволяє розкласти його з утриманням 100 % SO₂.

Недоліками цинкового методу є :

- необхідність роботи адсорбера з твердою фазою, що потребує попереднього тонкого очищення газів від пилу;
- складність технологічної схеми;
- додаткові витрати на суспензію;
- підвищена витрата оксиду цинку внаслідок окислення сульфїту до сульфату цинки;
- необхідність охолодження газів;
- низький ступінь уловлювання SO₂ при роботі з бісульфїтом цинку.

7.2.4 Каталітичні методи очищення газів від сірчистого ангїдриду

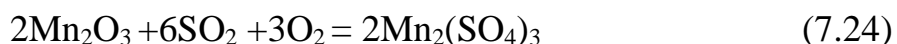
До каталітичних методів відносяться ті, що забезпечують переробку утилізованого сірчистого ангїдриду безпосередньо в сірчану кислоту.

Піролюзитний метод очищення газів заснований на окислюванні сірчистого ангїдриду киснем у рідкій фазі в присутності каталізатора - піролюзиту. Цей процес протікає з досить високою швидкістю при вмісті у розчині 0,025 - 0,03 % MnO₂. Іони заліза підсилюють активність каталізатора, а іони міді, навпаки, послабляють її. Іони цинку, хрому, нікелю й лужних металів не змінюють каталітичної дії піролюзиту.

При вивченні механізму каталітичного окислювання сірчистого ангїдриду було встановлено, що при наявності кисню марганець вищої валентності Mn²⁺ окисляється до Mn³⁺, при цьому одночасно відбувається індуктивне окислювання сірчистого ангїдриду:



Далі тривалентний марганець окисляє сірчистий ангїдрид, переходячи знову в Mn²⁺ :





Марганцевий каталізатор досить чутливий до сторонніх домішок, особливо сильною каталізаторною отрутою є фенол.

При детальному дослідженні піролюзитного методу на реальних газах було встановлено, що при підвищенні кислотності розчину процес поступово сповільнюється й при досягненні вмісту в розчині 20 % H_2SO_4 практично припиняється. Це пояснюється тим, що розчинність кисню і сірчистого ангідриду в розчині H_2SO_4 знижується й порушується ланцюговий механізм процесу.

Високу швидкість процесу можна підтримувати або уведенням свіжих порцій марганцю Mn^{3+} , або збільшенням швидкості окислювання двовалентного марганцю. У практичних умовах не можна безупинно вводити нові порції каталізатора. Тому необхідно прискорити процес регенерації каталізатора шляхом окислення двовалентного марганцю. Піролюзитний метод застосовується для очищення газів, що відходять, після концентраторів сірчаної кислоти.

Перевагою піролюзитного методу є одержання товарної сірчаної кислоти, а недолік процесу – отруєння каталізатора каталітичними отрутами.

Озоно- каталітичний метод також має свої достоїнства. Це відносна простота технологічної схеми й можливість одержання більше концентрованої сірчаної кислоти (до 60%). Озоно- каталітичний метод є подальшим розвитком піролюзитного методу й відрізняється від останнього тим, що окислювання двовалентного марганцю до тривалентного здійснюється озоно-повітряною сумішшю.

Озон є більше активним окислювачем, чим кисень, тому він здатний окислювати двовалентний марганець навіть у дуже кислому середовищі. Крім того, він руйнує каталітичні отрути (фенол й інші). При окислюванні двовалентного марганцю до Mn^{3+} озоном у кислому середовищі протікає реакція:



Можлива й пряма реакція окислювання SO_2 озоном, причому, окислювання SO_2 до SO_3 є сполученим процесом, при якому реакція між SO_2 й озоном індукує окислення SO_2 киснем за схемою :

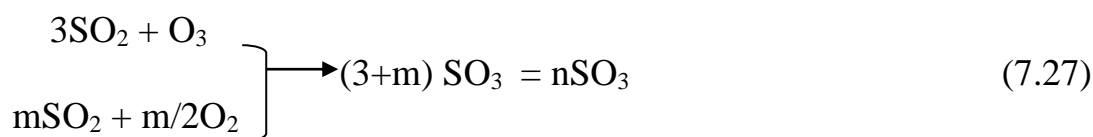
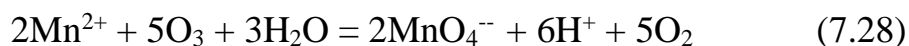
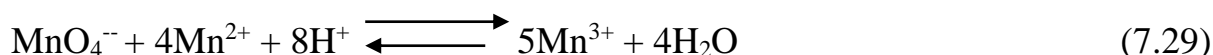


Схема процесу каталітичного окислювання SO₂ може бути представлена в наступному вигляді: у кислому середовищі іони двовалентного марганцю окисляються озоном до Mn⁷⁺



При цьому швидко встановлюється рівновага :



Іони тривалентного марганцю, що утворюються, далі беруть участь у ланцюговому процесі окислення сірчистого ангідриду за допомогою кисню, розчиненого у кислоті.

Максимальний ступінь поглинання SO₂ спостерігається при концентрації сірчаної кислоти не вище 40 %. При підвищенні концентрації H₂SO₄ до 60 % ступінь поглинання SO₂ знижується.

Встановлено, що для успішного протікання процесу окислювання SO₂ оптимальне відношення SO₂ та O₂ у газовій фазі повинне становити 1 до 35.

Зміна концентрації Mn²⁺ у розчині в межах 0,03-0,001 % і при температурі від 20 до 50⁰ С практично не відбивається на ефективності процесу.

Перевагами озono-каталітичного методу є можливість отримання сірчаної кислоти високої концентрації та стійкість по відношенню до каталізаторних отрут.

Рідинно-контактний метод передбачає окислювання SO₂ у рідкій фазі на поверхні каталізатора, наприклад активованого вугілля. При очищенні газової суміші, що містить 2,0 % SO₂ та 80 % повітря, на активованому вугіллі при 20⁰ С було встановлено, що в початковий період реакція кислотоутворення протікає порівняно швидко. По мірі збільшення концентрації H₂SO₄ процес сповільнюється. З досягненням концентрації 40% H₂SO₄ процес окислення практично припиняється.

Зменшення швидкості кислотоутворення при збільшенні концентрації H₂SO₄, а отже і швидкості абсорбції SO₂, пояснюється тим, що лімітуючим фактором є дифузія газів до каталізатора через рідку плівку. У кислому середовищі проникність плівки для сірчистого ангідриду та кисню зменшується внаслідок збільшення в'язкості H₂SO₄ і зменшення розчинності в ній газів. Після змивання плівки сірчаної кислоти, що утворилася, з поверхні каталізатора водою, він знову відновлює свою активність. Однак при цьому концентрація сірчаної кислоти стає менше.

Недоліками рідинно-контактного методу є те, що він не дозволяє одержати сірчану кислоту високої концентрації, крім того, для запобігання загасання процесу необхідно періодично регенерувати каталізатор.

Останнім розглянемо радикально-каталітичний метод. Окислення сірчистого ангідриду можна здійснювати електрохімічним шляхом. Процес протікає з достатньою швидкістю на платиновому електроді при різниці потенціалів, який відповідає початку розряду іонів OH^- .

Як проміжні продукти утворюються радикали OH^- , що володіють високою реакційною здатністю й окисляють сірчистий ангідрид у рідкій фазі:



Вихід по струму становить 50%. При електролізі сірчаної кислоти утворюється надсірчана кислота, яка може окислювати двооксид сірки у рідкій фазі :

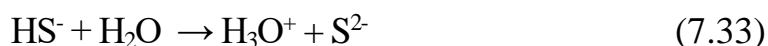


Підставою для остаточного вибору способу очищення газів від двооксиду сірки є досконалий всебічний техніко-економічний аналіз підприємства.

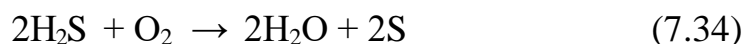
7.2.5 Очищення промислових газів від сірководню

Сірководень не тільки міститься у природному газі та нафті, але і утворюється у процесах відновлення SO_2 та при газифікації вугілля.

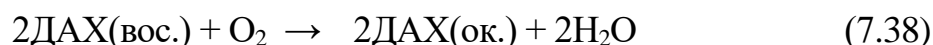
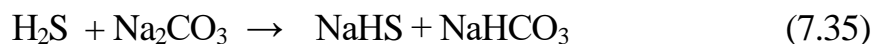
Сірководень це безбарвний газ з неприємним запахом. Він легко розчинюється у воді. При тиску 1 атмосфера утворюються 0,1 М розчини. Рівновагу дисоціації у розчинах можна записати таким чином:



Очистка газів від H_2S протікає простіше та більш повно, ніж від SO_2 . Як правило, санітарне очищення газів від H_2S відбувається шляхом каталітичного окислення його киснем повітря після адсорбції водними розчинами Ca_2CO_3 , K_2CO_3 , NH_3 , $\text{Fe}(\text{OH})$, та ін.:



Широке розповсюдження отримав окислювально-відновний стратфорд-процес з застосуванням у якості каталізатора ванадату натрію і у якості сокаталізатора - дісульфоантрохінонів (ДАХ). Реакція здійснюється при адсорбції H_2S карбонатом натрію при рН 8,5 - 9,5:



Незважаючи на складність хімічних перетворень, Стратфорд-процес широко застосовується у промисловості.

Широке розповсюдженій отримав також миш'яково-содовий спосіб очищення газів від сірководню. Газ у адсорбері зрошується розчином тіоарсенату:



Коли рН розчину досягає 7,8, розчин нагрівають до температури 40 - 50°C та направляють у регенератор, в котрий нагнітають повітря



У процесі регенерації розчину, який поглинає, повітря є одночасно і окислювачем, і флотореагентом. Сірка, яка відокремлюється разом з піною ПАР потрапляє до збірника. Фільтрат повертається у потік розчину, що поглинає.

Для видалення сірководню також застосовують оксиди заліза у вигляді водної суспензії.

На аналогічних реакціях засновано і процеси очищення газів від органічних сульфідів та тіофену шляхом попереднього перетворення їх у H_2S з допомогою спеціальних каталізаторів (хромату алюмінію, кобальт-молибдену, оксидів цинку та ін.).

Питання для самоконтролю

1. Які фізико-хімічні властивості має двооксид сірки?
2. Які підприємства є джерелами забруднення атмосфери сірчистими сполуками?

3. На які групи поділяють методи уловлювання SO₂?
4. Розкажіть про аміачні методи уловлювання SO₂.
5. Переваги і недоліки аміачних методів очищення.
6. Розкажіть про методи засновані на нейтралізації SO₂. Переваги та недоліки методу.
7. Розкажіть, про каталітичні методи очищення газів від SO₂. Які переваги та недоліки цього методу?
8. Розкажіть якими методами очищують промислові гази від сірководню?

7.3 Санітарне очищення промислових газів від оксидів азоту

Оксиди азоту можуть існувати у виді кисневих сполук: N₂O, NO, N₂O₃, , NO₂, N₂O₄, N₂O₅, NO₃ та N₂O₆. З погляду забруднення атмосфери інтерес являють перші п'ять, існування останніх трьох можливе лише в специфічних умовах.

Закис азоту N₂O₅ при звичайній температурі не реагує навіть з галогенами, лужними металами й озоном. При більш високій температурі розкладається на азот і кисень і реагує з лужними металами і багатьма органічними сполуками. Повна дисоціація закису азоту настає при 900°C.

Оксид азоту NO також є стійким. Він погано розчинюється у воді, розчинах солей і органічних сполуках. З деякими солями, наприклад двовалентного заліза, міді, марганцю, нікелю, натрію, утворює комплексні сполучення, які легко руйнуються при нагріванні. Оксид азоту термодинамічно нестабільний, він розкладається з помітною швидкістю вже при 670°C, а при температурі вище 1200°C майже цілком дисоціює за реакцією:



Швидкість цієї реакції збільшується в присутності палладію й іридію. Оксид азоту має парамагнітні властивості. При наявності кисню мимовільно окислюється до NO₂.

Двооксид азоту NO₂ утворюється в результаті окислення оксиду азоту киснем, озоном, перекисом водню та ін.:



З водою двооксид азоту утворює азотну кислоту:



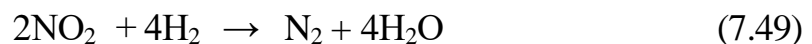
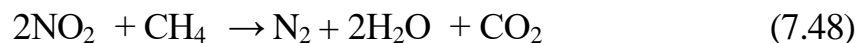
Двооксид азоту легко реагує з аміаком і лужними металами:



При нагріванні до 150°C двооксид азоту починає розкладатися на оксид азоту і кисень:



У присутності відновників і каталізаторів двооксид азоту розкладається на азот і воду:



Двооксид азоту також є парамагнітним, однак його магнітні властивості виражені значно слабкіше, ніж у NO.

Триоксид азоту N₂O₃ існує тільки у твердому стані при низьких температурах, у виді рідини і пари він в значній мірі дисоційован:



Рідкий триоксид азоту інтенсивного синього кольору, замерзає він при температурі (-100°C). При випаровуванні з рідкої фази розкладається на рівні обсяги NO і NO₂.

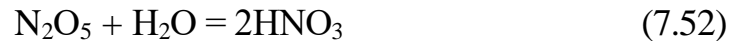
Чотириоксид азоту N₂O₄ утворюється з двооксиду азоту шляхом полімеризації:



Двооксид і чотириоксид азоту знаходяться у рівновазі сильно залежній від температури. При температурі -11,2°C оксиди азоту знаходяться у виді рідини світло-жовтого кольору і на 99,9 % складаються з N₂O₄. У твердому стані при температурі нижче -11,2°C оксиди азоту існують тільки у вигляді

молекул N_2O_4 . При нагріванні рідкого N_2O_4 він випаровується, і при $100^\circ C$ його пари на 90 % складаються з NO_2 . Повна дисоціація молекул N_2O_4 на NO_2 настає при $140^\circ C$. Чотириоксид азоту є сильним окислювачем.

П'ятиоксид азоту N_2O_5 є ангідридом азотної кислоти:



У вільному стані N_2O_5 існує при низьких температурах у вигляді кристалів нітрату нітронію. У газовій фазі N_2O_5 дисоціює на NO_2 та NO_3 .

На практиці в атмосферу викидаються лише газоподібні оксиди азоту у вигляді N_2O , NO , NO_2 та N_2O_4 . У більшості випадків спостерігається одночасна присутність усіх оксидів.

На основі фізико-хімічних властивостей оксидів азоту, їх здатності окислюватися під дією рідких, твердих і газоподібних окислювачів, а також відновлюватися до азоту під дією високих температур у присутності рідких, твердих і газоподібних відновників і каталізаторів і вступати в хімічні реакції з різними групами сполук, утворювати різні солі і комплексні сполуки, що піддаються регенерації методи очищення газів можна розділити на чотири класи: окислювальні, відновні, сорбційні та інші. Кожен клас поділяється на чотири групи, кожна з котрих об'єднує ряд однотипних методів очищення [11].

7.3.1 Окислювальні методи очищення газів від оксидів азоту

Оксидні методи санітарного очищення газів від оксидів азоту засновані на попередньому окисленні NO з наступним поглинанням NO_2 та N_2O_3 різноманітними поглинаючими сполуками.

Монооксид азоту (NO) є індиферентним сполученням, яке не утворює солі, і важко вступає в реакції з більшістю відомих поглинаючих сполук. Для більш повного витягу оксидів азоту з газових сумішей проводять попереднє окислення NO в NO_2 та N_2O_3 . У промисловості використовується метод гомогенного окислення NO у NO_2 в газовій фазі за допомогою кисню:



Однак, як показує практика, при низьких концентраціях NO швидкість гомогенного окислення оксиду азоту в газовій фазі надзвичайно

мала. З метою інтенсифікації процесу в деяких випадках у нітрозний газ додають кисень, збільшуючи загальний його вміст до 8-10 % і більше. Такий метод малоефективний у наслідок надзвичайно малого збільшення ступеня очищення і низького ступеня використання дозованого кисню (не більш 0,1-0,5 %).

Інтенсифікація процесу окислення й абсорбції оксидів азоту можлива за рахунок збільшення швидкості окислення NO у рідкій фазі, або в присутності каталізаторів.

Розглянемо стисло окислення оксиду азоту газоподібним киснем та озоном у рідкій фазі. Численні дослідження по абсорбції оксидів азоту різними рідкими поглиначами показали, що ступінь окислення звичай перевищує теоретично можливу. Це відбувається тому, що в процесі абсорбції оксиди азоту окислюються не тільки в газовій, але й у рідкій фазі, а технологічні операції з рідиною можна проводити в значно менших реакційних обсягах.

Слід відзначити, що окислення оксиду азоту у рідкій фазі може позитивно впливати на процес абсорбції оксидів азоту лише у тому випадку, коли процес протікає паралельно з окисленням оксиду азоту у газовій фазі. Сумарну швидкість абсорбції оксидів азоту в цьому випадку можна збільшити на 10 - 20 % і більше.

Інтенсифікувати процес можливо застосовуючи більш сильні окислювачі, наприклад, озон або суміш озону та кисню. При застосуванні озону у рідкій фазі, він діє як каталізатор, і у реакції беруть участь три атоми кисню по сумарному рівнянню:



При застосуванні озono-кисневої суміші у рідкій фазі досягається більш висока швидкість адсорбції оксидів азоту, збільшується концентрація азотної кислоти, внаслідок чого знижується кількість оксидів азоту, які потрапляють до атмосфери.

Інтенсифікація процесу гомогенного окислення оксиду азоту в рідкій фазі газоподібними окислювачами (киснем або озоном) зв'язана з дифузійною останніх у рідку фазу. Дифузія кисню в розчин є найбільш повільною стадією гомогенного окислення оксиду азоту в рідкій фазі, і тому вона контролює весь процес. Швидкість дифузії газоподібних окислювачів у рідку фазу залежить від багатьох факторів: температури, тиску, концентрації компонентів, турбулентності потоків т.п.

Високі швидкості процесу та розвинена поверхня взаємодіючих фаз можуть бути досягнуті у порожніх апаратах санітарного очищення промислових газів з розпилювачами,

Наступний метод - окислення й абсорбція оксидів азоту рідкими окислювачами. Швидкість реакції окислення NO може бути збільшена,

якщо її проводити у рідкій фазі за допомогою рідких окислювачів (у розчиненому стані). Швидкість реакції гомогенного окислення NO у рідкій фазі не буде залежати від швидкості дифузії окислювачів у розчин. Таким чином, усувається найбільш повільна стадія процесу.

Відомо ряд рідких окислювачів, що перевершують по своїй активності кисень. До них відносяться водяні розчини H_2O_2 , KMnO_4 , KBrO_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, Na_2CrO_4 , HNO_3 та “царська горілка”.

Було встановлено ряд активності рідких окислювачів, що убуває в наступній послідовності:



Найбільш активним з випробуваних окислювачів стосовно NO виявився водяний розчин KBrO_3 . Трохи меншою окисною активністю володіє HNO_3 , KMnO_4 та H_2O_2 . Інші рідкі окислювачі окислюють NO з недостатньою для практичних цілей швидкістю. “Царська горілка” поводитья аналогічно HNO_3 .

Далі розглянемо окислення оксиду азоту на каталізаторах. Швидкість реакції окислення оксиду азоту газоподібним киснем збільшується в присутності твердих тіл і деяких каталізаторів. Найбільшу активність виявляють каталізатори на основі дорогоцінних металів.

Дуже малою каталітичною активністю володіють кварцове скло, полістирол, залізна і марганцева руди, скловолокно. Більш активні каталізатори:

- кокс, просочений солями Mn і Cu;
- порцеляна;
- алюмогель;
- вугілля з абрикосових кісточок;
- силікагель;
- карбоалюмогель;
- гопкаліт.

Ці каталізатори здатні збільшувати швидкість реакції гетерогенного окислення оксиду азоту в 1,5 - 2,5 рази.

Каталітична активність цих каталізаторів убуває в наступній послідовності: гопкаліт > карбоалюмогель > силікагель > кісточкове вугілля > кокс. Використання цих каталізаторів дозволяє збільшити швидкість абсорбції оксидів азоту відповідно у 2,51 > 1,91 > 1,46 > 1,31 > 1,17 рази. Найбільш активним виявився каталізатор гопкаліт. Каталітична активність гопкаліту починає виявлятися при температурі вище 20°C і збільшується, досягаючи максимуму при 120°C після чого знову знижується за рахунок оборотності реакції:



Із зростанням об'ємної швидкості газу ступінь окислення NO зменшується, тому що знижується час перебування NO у зоні каталізу. Швидкість окислення NO також збільшується з ростом концентрації O₂ і NO, причому збільшення концентрації NO впливає більше, чим збільшення концентрації O₂.

Інтегральним методом встановлено, що реакція окислення NO на каталізаторі гопкаліті проходить по другому порядку, температурний коефіцієнт реакції у дорівнює 1,16, а енергія активації E = 1972,34 кал/моль. Таким чином, гопкаліт можливо використовувати як каталізатор окислення оксиду азоту.

Збільшити ступінь окислення NO також можна шляхом додавання до газу концентрованого двооксиду азоту. Поряд з інтенсифікацією процесу окислення NO, необхідної для збільшення швидкості абсорбції оксидів азоту, аналогічний ефект може бути досягнуто шляхом додатка до газу відповідної кількості NO₂:



Отриманий трьохоксид можна успішно абсорбувати за одним з відомих методів.

Метод дозування NO₂ з метою збільшення ступеня окислення прийнятний лише для систем з низькою початковою концентрацією газу (0,1 - 0,5 %) і низьким ступенем окислення NO. У цьому випадку метод дозування NO₂ з метою одержання реакційно здатної суміші N₂O₃ економічно більш вигідний, чим метод окислення NO до N₂O₃ в оксидних обсягах.

Не зважаючи на те, що при підвищенні ступеня окислення NO шляхом додавання NO₂ початкова концентрація оксидів азоту в газі зростає, у промислових газах після очищення залишковий вміст оксидів азоту буде таким же, як і у випадку окислення NO до NO₂ в окислюючих об'ємах без дозування NO₂.

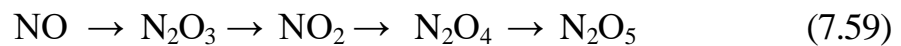
7.3.2 Відновні методи очищення газів від оксидів азоту

Ці методи засновано на відновленні оксидів азоту до нейтральних продуктів в присутності каталізаторів або під дією високих температур у присутності твердих, рідких або газоподібних відновників.

У кисневих сполуках азоту на один атом азоту приходить від 0,5 до 3 атомів кисню. В залежності від умов атом азоту може приєднувати або втрачати частину або усі атоми кисню. У першому випадку він може окислюватися до вищих оксидів азоту NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 та N_2O_6 , а у другому випадку - відновлюється від оксидів до N_2 .

Ступінь окислення азоту у кисневих сполуках у значній мірі залежить від температури.

В присутності кисню (озону) реакція окислення оксиду азоту при нормальній температурі протікає самостійно у такому напрямку :



При підвищенні температури приведені реакції протікають в зворотному напрямку :



Таким чином, низькі концентрації оксидів азоту можливо отримати тільки при температурах від 1000 до 10000°C. Нагрівання газу до таких температур потребує великих енергетичних затрат та миттєвого охолодження "закалювання", а це не можливо досягнути у практичних умовах. Тому процес проводять при температурах 1000 - 1500°C у присутності каталізаторів для підвищення швидкості реакції.

Також використовують термічне розкладення оксидів азоту. Для збільшення ступеня розкладення оксидів азоту процес проводять у присутності відновників. Рівновагу реакції (8.41) можливо зсунути у сторону утворення N_2 та O_2 , якщо зв'язати кисень, який виділяється.

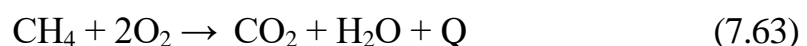
До сполук, які зв'язують кисень можна віднести рідкі, газоподібні та тверді відновники. З газоподібних відновників досить вивчено природний газ, водень, аміак, оксид вуглецю. З рідких - пари гасу, бензину, а з твердих – кокс, вугілля та графіт.

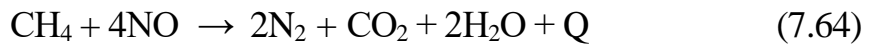
Процес розкладення оксидів азоту при температурі 2000°C супроводжується наступними реакціями:

- перша стадія, незалежно від типу відновника:

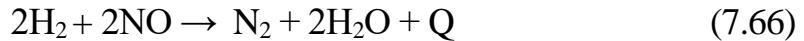
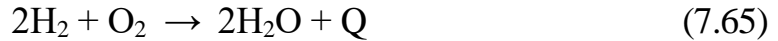


- друга стадія, при застосуванні природного газу:

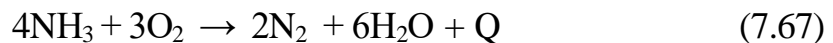




- друга стадія , при застосуванні водню:



- друга стадія , при застосуванні аміаку:

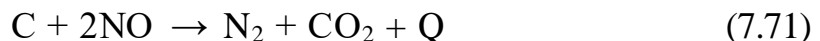


- друга стадія , при застосуванні СО:



Та як, залишковий вміст NO при термічному розкладенні оксидів азоту в присутності газоподібних та рідких відновників складає 0,05 – 0,1 %, то ці методи можливо застосовувати для систем, які викидають до атмосфери 10000 - 20000 м³/т газу.

Кращі результати можливо отримати при застосуванні твердих відновників. Ці компоненти взаємодіють з оксидами азоту таким чином:

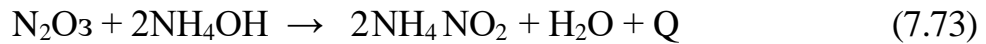
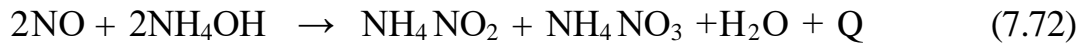


Процес розкладення оксидів азоту у присутності коксу починається при температурі 500°C. При збільшенні температури ступінь та швидкість розкладення зростає, при 800°C ступінь розкладення досягає 96%, при 1000°C близька до 100%.

Розкладення оксидів азоту також можливо шляхом переведення їх до сполук з низькою температурою розкладення. Зниження температури процесу поліпшує техніко-економічні показники термічних методів розкладення оксидів азоту.

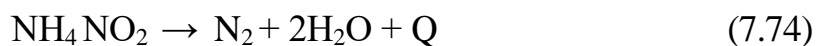
Оксиди азоту переводять у нітрати та нітрити амонію, які мають температуру розкладення у чотири - п'ять разів меншу, ніж оксиди азоту. Суть методу полягає у тому, що до нітрозного газу, який містить NO та

NO₂ додають газоподібний аміак у кількості еквівалентній утриманню оксидів азоту. У присутності водяної пари у газовій фазі протікають такі реакції:

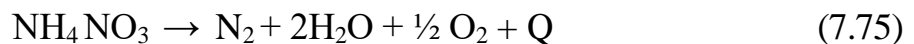


Газ, у якому містяться аерозолі, потім допалюється у камері.

Нітрит амонію з великою швидкістю повністю розкладається на нейтральні продукти при температурі 70 - 80°C:



Нітрат амонію розкладається при більш високій температурі 230 - 240°C:



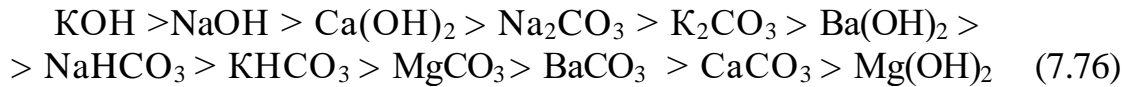
Таким чином, у камері для повного розкладення оксидів азоту необхідно підтримувати температуру 240 - 250°C. Розкладення нітритів та нітратів амонію супроводжується виділенням значної кількості тепла, що сприяє зменшенню споживання електроенергії на підтримання заданої температури у реакторі. При визначеній концентрації оксидів азоту у газі, процес може тривати автотермічно без підводу тепла.

7.3.3 Очищення газів від оксидів азоту методами сорбції

Розглянемо в загальних рисах абсорбцію оксидів азоту водними розчинами луг. Цей метод дозволяє не тільки очищувати газ, але і отримувати цінні солі. Для абсорбції застосовують водні розчини таких сполук: NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃, KOH, K₂CO₃, KHCO₃, Ca(OH)₂, CaCO₃, Mg(OH)₂, MgCO₃, Ba(OH)₂, BaCO₃, NH₄ HCO₃.

Абсорбційна здатність лужних розчинів змінюється незначно з утворенням луг та накопичуванням у розчинах солей. Швидкість абсорбції у присутності щолоків, які утворюються, не супроводжується значним зниженням. Це пояснюється тим, що солі, які утворюються, частково абсорбують оксиди азоту у лужному середовищі та буферною дією

розчинів. Активність лужних розчинів при абсорбції N_2O_3 , зменшується у такій послідовності:



Різна активність лужних розчинів у значній мірі залежить від початкової рН середовища, яка встановлюється у водних розчинах. Активність розчинів тим вища, чим вища рН середовища. Процес абсорбції протікає у дві стадії: спочатку при взаємодії оксидів азоту з водою утворюються кислоти, а потім кислоти нейтралізуються лугами. У лужних розчинах кислоти HNO_3 та HNO_2 швидше вступають у реакцію нейтралізації. В системі не накопичуються кислоти і швидкість абсорбції зростає.

Адсорбцію проводять також твердими сорбентами. Такі сорбенти як силікагель, алюмогель, алюмосилікати, активоване вугілля та інші не набули широкого застосування у промисловості із-за дефіциту адсорбентів, їх малою адсорбційною ємністю та великих затрат тепла на регенерацію.

Для санітарного очищення газів від оксидів азоту запропоновано ряд нових природних адсорбентів: торф, лігнін, фосфатна сировина, буре вугілля. Перевага останніх у тому, що після застосування ці сорбенти можуть використовуватися як органо-мінеральні добрива та промислові реагенти. Торф, лігнін, буре вугілля мають однакові адсорбційно-структурні властивості, тому вони з однаковою ефективністю поглинають оксиди азоту.

Питання для самоконтролю

1. Перерахуйте оксиди азоту та розкажіть якими фізико-хімічними властивостями володіють оксиди азоту?
2. За якими параметрами класифікують методи санітарного очищення газів від оксидів азоту ?
3. Окислювальні методи очищення промислових газів від оксидів азоту. Переваги та недоліки методів.
4. Відновні методи очищення промислових газів від оксидів азоту. Переваги та недоліки методів.
5. Очищення промислових газів від оксидів азоту методами сорбції. Переваги та недоліки методів.

7.4 Санітарне очищення газів від оксиду вуглецю

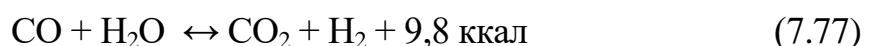
Оксид вуглецю являє собою безкольоровий газ без запаху, але він має токсичні властивості. Пагубний вплив оксиду вуглецю на здоров'я людини особливо виявляється у районах з розвинутою промисловістю, де в атмосферному повітрі іноді присутній оксид вуглецю у кількості, яка перевищує гранично допустиму концентрацію. Тому санітарне очищення промислових газів від оксиду вуглецю необхідне, але до останнього часу ні в нашій країні, ні за рубежом не розроблені методи санітарного очищення газів, що відходять, від цього отруйного компонента [11]. Частково це питання вирішено для очищення технологічних та вихлопних газів транспорту. Для цього застосовуються спеціальні пристрої-нейтралізатори, принцип дії яких засновано на каталітичному окисненні СО. Технологічному очищенню газу, як правило, підлягають невеликі об'єми з використанням підвищеного тиску, температури та дорогих каталізаторів.

Для вибору способу очищення необхідно знати фізико-хімічні властивості монооксиду вуглецю. При температурі -79°C та атмосферному тиску оксид вуглецю розтає, а при -205°C набуває твердого стану. Молекула оксиду вуглецю - найміцніша з двоатомних молекул. Тому оксид вуглецю дуже хімічно інертний і характеризується, головним чином, схильністю до реакцій приєднання та відновними властивостями. Він добре взаємодіє з лужними металами, розчиненими у рідкому аміаку, при цьому утворюються карбоніли лужних металів. Розчинність СО у воді при 20°C складає лише 2,3 мл на 100 гр H_2O . До атмосфери СО потрапляє у результаті не повного згоряння рідкого, твердого та газоподібного палива.

В промисловості очищення газів від оксиду вуглецю роблять лише в технологічних цілях, наприклад, у виробництві аміаку СО є каталізаторною отрутою і через це підлягає відділенню з технологічного газу.

Очищення газу може бути здійснено шляхом конверсії водяною парою. Двооксид вуглецю, який утворюється, потім легко видаляється з газу промивкою водою або лугами. Цим шляхом, однак, не вдається повністю виділити СО з газу. Тонка очистка газу здійснюється методом абсорбції мідноаміачним розчином або рідким азотом. У деяких випадках для цієї цілі використовують метод метанування.

Конверсія СО водяною парою протікає згідно з реакцією, яка рівноважна та відбувається з виділенням тепла:

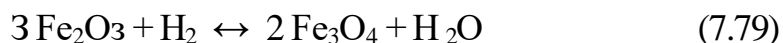
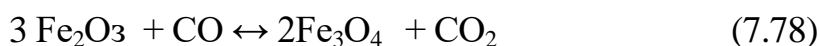


Для того, щоб зсунути хімічну рівновагу вправо, згідно закону дії мас, збільшують вміст пари у газовій суміші у межах 1,2 : 1 – 1,5 : 1 та проводять

процес при низьких температурах. Для збільшення швидкості реакції конверсію CO проводять у присутності каталізаторів. На першій стадії підтримують високу температуру (більш 500°C), процес конверсії відбувається з великою швидкістю, але не повно. На другій стадії температура реактора знижується до 420- 450°C, що забезпечує більш повну конверсію оксиду вуглецю. Після другої стадії вміст оксиду вуглецю у конвертованому газі складає 2,5 - 3,0 %.

Під час конверсії використовують залізохромовий каталізатор, який містить 87 % Fe₂O₃ та 6,5 % Cr₂O₃. Як промотори використовують MgO та K₂O.

Для переводу каталізатора в активний стан його відновлюють початковим газом:



При використанні низькотемпературного каталізатора та проведенні процесу конверсії під тиском вміст оксиду вуглецю у конвертованому газі не перевищує 0,2 %.

Очищення газу від оксиду вуглецю можливо мідно-аміачним розчином. В основі цього методу лежить хімічна взаємодія розчинів мідно-аміачних комплексних солей з оксидом вуглецю:



Реакція зв'язування CO відбувається під тиском 320 атмосфер. Далі розчин потрапляє на регенерацію шляхом дроселювання розчинів з високого тиску до 8 - 9 атмосфер і підігріву до 45 - 50°C.

При цих умовах з карбонатного мідно-аміачного комплексу виділяється оксид вуглецю. Залишковий вміст оксиду вуглецю після мідно-аміачної очистки складає не більш 20 проміле.

Перейдемо до процедури очищення газу від оксиду вуглецю промивкою рідким азотом та метануванням. В останні роки очищення газів від оксиду вуглецю виконується промивкою його рідким азотом під тиском 20 - 30 атмосфер та температурі 190°C. Цим засобом досягається тонке очищення газу (0,002 - 0,004 %).

Очищення газів від CO можливе також шляхом його метанування на нікелевому або залізному каталізаторах:



Залишковий вміст оксиду вуглецю після метанування складає 0,001 %.

Методи очищення технологічних газів, які приведено, дуже дорогі та складні і тому не можуть бути використані для санітарного очищення газів.

Синтез та дослідження каталізаторів окислення оксиду вуглецю. Дослідження, метою яких було розробити ефективний метод санітарного очищення газів від оксиду вуглецю для великої кількості технологічних газів показали, що найбільш досяжними для цієї цілі стали каталітичні методи, які дозволяють проводити очищення газів у відносно компактному обладнанні. При цьому, однак, виникає питання розробки масового, дешевого та ефективного каталізатора санітарного очищення газів від CO.

З літературних джерел та досвіду експлуатації каталізаторів окислення оксиду вуглецю відомо, що у якості каталітично активних речовин можуть бути використані сполуки: Ag, Fe, Mn, Cr, Sn, Cu, Co, Pd, Pt, Zn, Cd, Th, V₂O₅. Найбільш активними є каталізатори вироблені на базі сполук Ag, Fe, Mn, Cr, Cu, Pd, Pt. Вміст каталітично активних речовин у каталізаторі складає від 5 до 60 %. Отримують каталізатори методом усмоктування пористим носієм або шляхом спільного осадження солей каталітично активних речовин з послідовним додаванням наповнювача, випарюванням, сушінням та таблетуванням отриманої суміші [11].

За одним з методів отримання каталізаторів проводять шляхом ретельного перемішування у аміачній воді одного, двох чи трьох компонентів (солей або оксидів міді, марганцю, заліза, хрому, кобальту та інших сполук), які беруть у деякій пропорції. Далі окремо без доступу повітря нагрівають кокс до температури 400 - 1000°C. Розжарений кокс потім заглиблюють у приготовлений розчин, після чого його вилучають з ванної і сушать до повного виділення газоподібних продуктів.

У тих випадках, коли каталітично активні речовини важко перевести у розчин, їх вносять безпосередньо у вугільну шихту, яка йде на коксування. Формування каталізатора у цьому випадку відбувається одночасно з коксуванням вугілля.

Третій спосіб приготування каталізаторів складається з того, що у суміш каталітично активних компонентів додають металевий алюміній, цемент та аміачну воду. Отриману суміш ретельно перемішують, після чого вона твердіє у пористу масу. Замість цементу можуть використовуватись інші в'язучі речовини - глину з різноманітними присадками. Формування каталізатора у цьому випадку відбувається шляхом спікання каталітично активної маси з різноманітними присадками при температурі 1000°C. Каталізатор отримують у вигляді керамічних фільтрів.

Перевагою останніх двох способів отримання каталізаторів є те, що вони можуть бути виготовлені у вигляді пористих уніфікованих фільтрів,

форма та розмір яких відповідає формі контактного апарату. Це забезпечує рівномірний рух газу крізь каталізатор та спрощує процес завантаження та розвантаження його.

Питання для самоконтролю

1. Які фізико-хімічні властивості має оксид вуглецю?
2. Розкажіть про конверсію оксиду вуглецю водяною парою.
3. Розкажіть про метод очищення промислових газів від оксиду вуглецю.
4. Які існують методи синтезу каталізаторів окислення оксиду вуглецю?

7.5 Санітарне очищення газів від парів розчинників

З газовими викидами лакофарбних виробництв в атмосферу поступає значна кількість отруйних домішок: акролеїну, ізоціанатів, фталієвого та малеїнового ангідридів, фенолу, формальдегіду, жирних кислот, толуолу, ксилолу, спиртів та ін.

Очищення газових викидів можна здійснювати різними методами - окисленням атмосферним киснем на каталізаторах та безпосереднім вогневим спаленням шкідливих домішок у газових викидах, а також застосуванням сорбційних методів, за допомогою котрих можливо виділити корисні речовини та використовувати їх повторно у виробництві.

Каталітичний метод з успіхом застосовується для очищення газових викидів від органічних забруднень. Каталізатор на основі суміші неблагородних металів з додаванням платини (тисячі долі проценту), який нанесено на пористий металевий носій має велику питому поверхню, невеликий гідравлічний опір, гарну теплопровідність та високу активність при окисленні органічних речовин. При температурі 370°C та об'ємній швидкості потоку 52000 м³ на 1 м³ каталізатора (за годину), ступінь окислення спиртів досягає 100% , кислот – 98 % , альдегідів -100%.

На мідно-хромовому каталізаторі, який складається з суміші хромату (60 %), та хроміту міді (30 %), оксидів міді, хрому та кальцію при 250 - 350°C і об'ємній швидкості потоку 24000 - 40000 м³ на 1 м³ каталізатора (у годину) масляний альдегід, ацетон, метанол, пропанол, етанол, двоацетоновий спирт, фенол, толуол, ксилол та гас окислюються практично повністю.

При проведенні каталітичного очищення викидів промислових газів, які містять суміші органічних речовин, необхідно, щоб температурні області оптимального окислення окремих компонентів перетинались у якійсь близькій області температур.

Також застосовують методи вогневого знешкодження газових викидів. На деяких лакофарбних підприємствах газові викиди, які вміщують акролеїн, фталевий та малеїновий ангідриди, фенол, формальдегід, жирні кислоти, ксилол та інші забруднювачі, знешкоджують у печах циклонного типу.

Піч спалювання відходів являють собою вертикальну циліндричну камеру, у нижній частині котрої розташовано циклонну топку з шахтою. Процес спалення викидів проводиться при температурі 800 - 1000°C. Димові гази проходять через зону зрошування апарата водою, де їх температура знижується до 100 - 120°C, та через відповідне обладнання викидаються до атмосфери.

При виробництві алкідних лаків та смол діють установки двостадійного очищення газових викидів. Спочатку газовий потік з реакційних апаратів проходить у скруббер, у якому за допомогою багатосоплової форсунки частково уловлюються акролеїн, фталевий ангідрид і інші шкідливі речовини. Потім газові викиди подаються вентилятором по колектору у циклонну піч вогневого спалення шкідливих домішок, які залишились після циклону. Перед вентилятором газові викиди проходять через сепаратор для відділення води. Продукти спалення через димову трубу викидаються до атмосфери.

Сорбційні методи очищення газових викидів дозволяють не тільки захистити оточуюче середовище від забруднення шкідливими летючими органічними речовинами, але одночасно з цим в значній мірі і рекуперувати їх. У якості абсорбентів використовують воду, мінеральні масла, розчини їдкої натри, карбонату амонію та ін. У якості адсорбентів частіше використовують активоване вугілля та інші дрібнопористі матеріали.

Процес уловлювання розчинників з пароповітряного середовища адсорбентами характеризується такими показниками:

- відносно великою ємністю адсорбенту по парах розчинника при низькому вмісті його у пароповітряному середовищі;
- високим ступенем вилучення цільового компонента;
- можливістю уловлювання практично будь-яких органічних розчинників;
- низькими експлуатаційними витратами;
- помірними капітальними затратами на обладнання.

Питання для самоконтролю

1. Які отруйні речовини викидаються в атмосферу від лакофарбних виробництв?
2. Якими методами знешкоджують викиди лакофарбних виробництв?
3. Яких умов необхідно дотримуватися при застосуванні каталізаторів?
4. Охарактеризувати методи вогневого знешкодження газових викидів.
5. Які сорбенти застосовують для знешкодження газових викидів ?
6. Які переваги адсорбційних методів знешкодження газових викидів?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Техника защиты окружающей среды / Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. Учебник для вузов . 2-е изд., перераб. И доп. Москва : Химия , 1989. 512 с.
2. Джигирей В.С., Сторожук В. М. та ін. Основи екології та охорони навколишнього природного середовища. Л. : Афіша , 2000. 272 с.
3. Аникеев В. А., Копп И. З., Скалкин Ф. В. Технологические аспекты охраны окружающей среды. Ленинград: Гидрометеоиздат.1982.
4. Збожна О. М. Основи технології : Навчальний посібник . Вид. 2-ге , змін. і допов. Тернопіль: Карт – бланш, 2002. 486 с.
5. Закон України “ Про охорону атмосферного повітря ”/ Відомості Верховної Ради України.1992. N 50.
6. Закон України “ Про охорону навколишнього середовища ” від 25 червня 1991 р./ Відомості Верховної Ради України. 1991. N41.
7. Промислова екологія: Навч. посіб./ С.О. Апостолюк, В.С.Джигирей, А.С. Апостолюк та ін. Київ : Знання , 2005. 474 с.
8. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др.: Под общ. ред. А.А. Русанова .- 2-е изд., перераб. и доп. Москва: энергоатомиздат, 1983. 312 с.
9. Тищенко Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник, Изд. "Химия", 1991. 368 с.
10. Апостолюк С. О., Апостолюк А. С., Джигирей В. С. та ін. Охорона навколишнього середовища в деревообробній промисловості. Київ : Основа , 2003.174 с.
- 11.Збірник методичних вказівок до самостійної роботи студентів з дисципліни “Техноекологія” для студентів 3-ого курсу очної форми навчання за спеціальністю “Екологія та охорона навколишнього середовища” / Укладач : к.т.н., доц..Редько Т.Д. Одеса , ОДЕКУ, 2001. 50 с.
12. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов : Справ. изд. Алиев Г. М. Москва : Металлургия, 1986. 544 с.

Навчальне електронне видання

ЧЕРНЯКОВА ОКСАНА ІВАНІВНА

МЕТОДИ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016