

3.3 Утилізація теплоти газів, що викидаються

У зв'язку з енергозбереженням, якому в останні роки приділяють багато уваги, постало питання про утилізацію теплоти летких промислових викидів.

З технологічної точки зору утилізацію можна розділити на первинну та вторинну.

Первинна – відбір теплоти від викидних газів безпосередньо без проміжних агентів. Вона здійснюється за допомогою теплообмінних пристроїв, вмонтованих в основний тракт газоочищення.

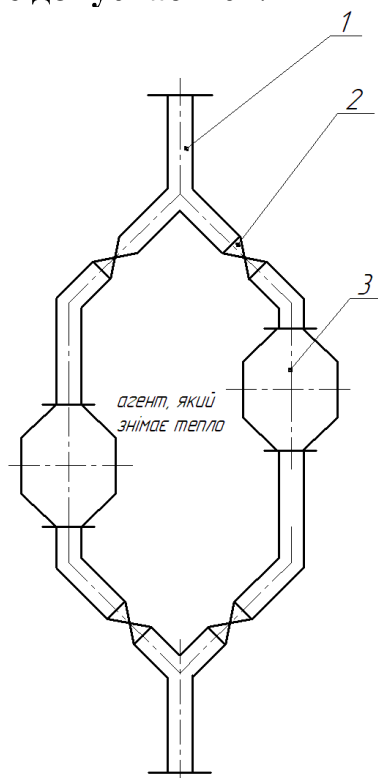
Вторинна – відбір теплоти від проміжного агента, що нагрівся в результаті контакту з викидними газами. Наприклад, при охолодженні гарячого газу водою в скрубєрі остання нагрівається. Якщо вбудувати теплообмінник у систему циркуляції води, це буде вторинна утилізація. Обидва способи утилізації застосовуються практично.

Розрахунок теплообмінних пристроїв проводять загальновідомими методами. Однак при проєктуванні утилізації теплоти у складі газоочисних споруд виявляються деякі специфічні аспекти. Так, **найвигідніше утилізувати теплоту на самому початку тракту газоочищення.** По-перше, тут газ має найвищу температуру; по-друге, знімання частини теплоти знизить об'єм газів і, отже, зменшить розміри всієї наступної газоочисної апаратури. Однак, якщо очищення піддається не парогазовий викид, а аерозоль, то на початку тракту його концентрація теж буде найбільшою. Це спричиняє значні труднощі при виборі теплоутилізаційних пристроїв. У принципі можуть бути використані **три типи утилізатора**: котел-утилізатор, теплообмінник (трубчастий або пластинчастий типу газ – газ або газ – рідина) та калорифер.

Відомі котли-утилізатори працюють більш менш надійно при запиленості газу не більше 100 г/м^3 . Але і тоді вони потребують періодичного очищення теплообмінних поверхонь, оскільки навіть невеликий шар пилу, що осів, призводить до різкого зниження коефіцієнта теплопередачі. **Котел-утилізатор, розташований у безпосередній близькості до джерела викиду, не повинен відноситись до обладнання газоочищення.** Він є досить складним теплотехнічним агрегатом, причому вироблена ним пара зазвичай використовується для потреб основного технологічного процесу [1].

При підготовці проєктування та укладанні договору доцільно передавати установку котла-утилізатора генпроєктувальнику, який має спеціалістів-теплотехніків потрібної кваліфікації. Досвід показав, що включення установки котла-утилізатора в межі газоочисної споруди призводить до різних ускладнень у ході проєктування, будівництва та експлуатації. Відзначені випадки, коли пусконаладжувальні роботи на котлах-утилізаторах проводилися дуже важко і довго, причому до цих робіт залучалися фахівці, які не мають жодного відношення до очищення газів.

Теплообмінники проєктувальники можуть вибирати на власний розсуд відповідно до паспортних даних та номенклатурних переліків заводів-виробників. Під час роботи теплообмінників на сильно запиленому газі рекомендується запилений газ направити через теплообмінник зверху вниз і щоб забезпечити періодичне очищення поверхонь, покритих пилом. Щоб уникнути експлуатаційних ускладнень та непередбачених зупинок газоочищення, рекомендується встановлювати теплообмінники зі 100 %-м резервуванням (рис. 3.5). Щодо калориферів, то встановлення їх на запиленому газі взагалі не допускається.



1 — пилогазопровід; 2 — запірно-регулюючий пристрій; 3 — теплообмінник типу газ-газ або газ-вода

Рисунок 3.5 – Схема встановлення теплообмінників на тракті очищення газів

У зв'язку з викладеними обставинами у газоочисних спорудах утилізація теплоти нерідко вимушено передбачається після завершення основного процесу газоочищення. При цьому відпадають труднощі, викликані наявністю пилу, але значно знижується кількість теплоти, що утилізується. Сьогодні рукавні фільтри загальнопромислового застосування допускають температуру газу не вище 200-250 °С, електрофільтри — не вище 400-450 °С. Якщо газ надходить від джерела викиду з вищою температурою (нерідко до 800-900 °С), він все одно підлягає охолодженню, але без утилізації теплоти [1].

При утилізації теплоти в межах газоочисних споруд слід дотримуватись загального правила: утилізатори розміщувати там, де відбір теплоти буде максимально можливим з урахуванням запилення газу.

Вторинна утилізація застосовується в системах мокрого очищення газів. Зазвичай у систему циркуляції зрошуючої рідини вбудовуються теплообмінники типу вода-вода. Така схема, зокрема, добре відпрацьована в целюлозно-паперовій промисловості [1] при очищенні викидних газів содорегенераційних котлів.

Оскільки утилізація теплоти летких промислових викидів швидко набуває характеру міжгалузевої, економічно важливої проблеми, слід вирішувати її одночасно за декількома напрямками: необхідно терміново розробляти, по-перше, газоочисне (пиловловлююче) обладнання, здатне працювати при високих (до 600-700°C) температурах газів, а по-друге, котли-утилізатори та інше теплообмінне обладнання, що надійно працює в середовищі сильно запиленого газу. Обидва ці завдання технічно досить складні, але економічний ефект від їх вирішення виявиться дуже значним.

3.4 Кондиціонування газів

Кондиціонування (підготовка) газів перед очищенням здійснюється або з метою інтенсифікації процесів в основних газоочисних апаратах, або для забезпечення нормальної їх експлуатації.

Існує чотири способи кондиціонування.

Охолодження газів. Верхня межа температури визначається матеріалами, з яких виготовлені апарати. Для електрофільтрів – це матеріал електродів і корпусу, для рукавних фільтрів – тканина рукавів.

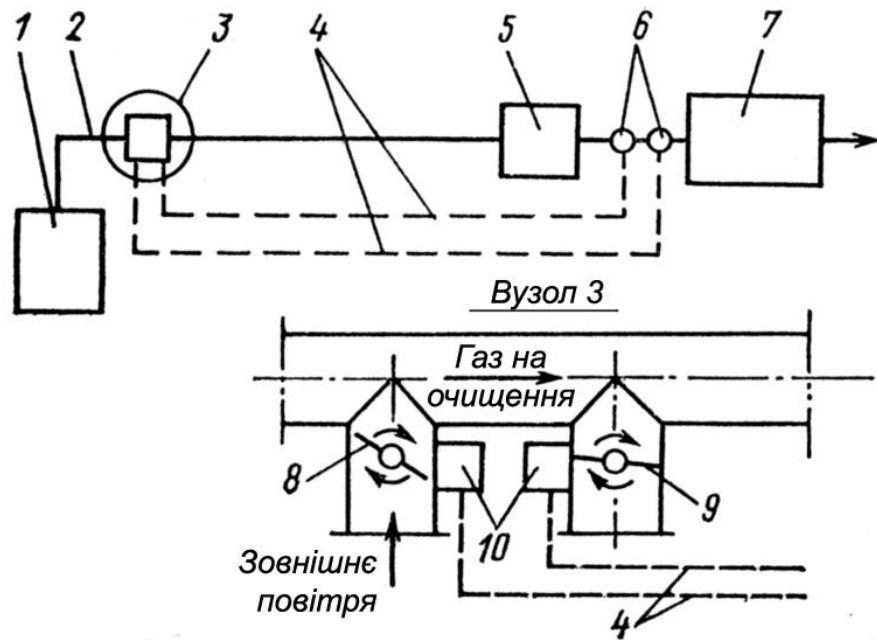
Підігрів газів застосовується для виключення конденсації парів води і кислот.

При зволоженні надто сухих газів покращуються властивості проміжку між коронуючими та осаджувальними електродами в електрофільтрах і знижується ПЕО пилу.

Введення в газовій потік спеціальних добавок (аміаку та інших), які інтенсифікують процес в електрофільтрі.

Охолодження газів (рис. 3.6) виконується за рахунок підсосу зовнішнього повітря. Його місце розташування визначається типом апарату очищення, щоб забезпечити максимальне перемішування гарячого і холодного потоку.

Підігрів газів (рис. 3.7) можна проводити шляхом спалювання палива в окремій топці з наступним вдуванням продуктів горіння в потік газу, що кондиціонується.



1—джерело викиду; 2 – пилогазопровід; 3 – вузол автоматичного підсосу; 4 – імпульсні лінії від датчиків до блоку автоматичного підсосу; 5 – перший ступінь очищення; 6 – датчики (робочий і аварійний); 7 – другий ступінь очищення; 8 – 9 – дросельні клапани робочого і аварійного підсосу; 10 - приводні механізми

Рисунок 3.6 – Автоматичний пристрій для підсосу зовнішнього повітря в тракт газоочищення

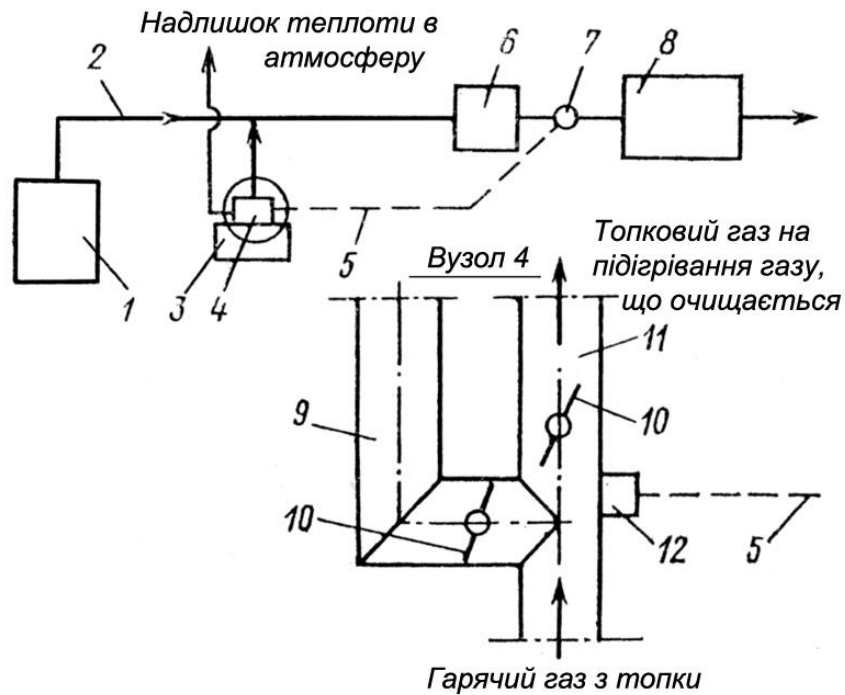
При проектуванні підігріву слід враховувати допустимий інтервал:

$$t = t_{\max} - t_0 , \quad (3.1)$$

де t_0 – температура газу, що очищається, яка перевищує на 20-30 °С «крапку роси»;

t_{\max} – температура, яка максимально допускається за конструктивно-технологічними міркуваннями, °С.

Витрата гріючого газу, що вводиться до газоочистки, м³/с:



1 – джерело викиду; 2 – пилогазопровід; 3 – топка; 4 – вузол розподілення потоків гарячого газу; 5 – імпульсопровід; 6 – перший ступінь очищення; 7 – датчик температури; 8 – другий ступінь очищення; 9 – труба вихлопу надлишку гарячого повітря; 10 – дросель; 11 – труба подання гарячого газу в систему очистки; 12 – приводний механізм

Рисунок 3.7– Автоматичний пристрій для підігріву газів

$$q_{г.г} = \frac{q_{о.г} (t_{см} - t_{о.г})}{(t_{г.г} - t_{см})} \quad (3.2)$$

де $q_{о.г}$ – витрата газу, що очищається, м³/с;
 $t_{о.г}$ – його температура, °С;
 $t_{см}$ – температура газу після змішування, °С;
 $t_{г.г}$ – температура гарячого газу, °С.

Для зволоження найчастіше використовують скрубери повного випару.

Вони переважно застосовуються перед електрофільтрами, значно рідше – перед рукавними фільтрами. У другому випадку вони використовуються лише для охолодження, а зволоження є небажаним, але неминучим явищем.

Важливо звернути увагу на обставину, недооблік якої може призвести до повної непрацездатності всієї газоочисної споруди. Повне випаровування може бути гарантовано надійно при температурі газу 180-200 °С і більше. За меншої температури небезпечні її коливання. Скрубери повного випаровування, призначені для роботи за порівняно невисокої температури газу, повинні забезпечуватися абсолютно надійним

регулюванням витрати води. Ступінчасте регулювання (вимикання одного або двох ярусів форсунок) зручне в області високих температур (400-800°C); при температурах нижче 200-250°C потрібно вже плавне регулювання. Теоретично повне випаровування можливе і при 120-130°C, проте в цій області температур їх коливання можуть призвести до занесення крапельної вологи в апарат, призначений тільки для сухого уловлювання.

Засоби для гнучкого і точного регулювання витрати води залежно від температури газу є, проте їхня працездатність визначається не тільки їх власними характеристиками, але й умовами експлуатації (захистом від суворих кліматичних умов, кваліфікацією персоналу, загальною культурою виробництва на даному підприємстві).

У ситуаціях, коли температура газу лежить у межах 100-200 °С, а властивості пилу такі, що без попереднього кондиціонування не обійтися, доцільно розглянути варіант з використанням рукавних фільтрів.

Можливість упорскування розпиленої води в потік газу має визначатися на основі врахування властивостей пилу. Якщо пил реагує з водою (наприклад, негашене вапно, цемент, гіпс тощо), то від моменту упорскування до повного випаровування така реакція відбуватиметься. З цього випливають два правила:

1. Не можна вводити воду у вигляді крапель або туману в аерозольний потік за наявності в ньому частинок, що мають виражені гідрофільні властивості, здатні при взаємодії з водою змінити свій хімічний склад або утворювати бетоноподібні та гіпсоподібні відкладення. Вводити в таку аерозоль вологу можна тільки у вигляді пари без конденсату.

2. За дотримання правила за п. 1 пар краще вводити там, де вміст пилу вже значно знижений за рахунок первинного грубого очищення. Наприклад, якщо в схемі передбачений циклон, а після нього електрофільтр, пар слід вводити після циклону (забезпечивши при цьому хороше перемішування з газовим потоком).

У ході експериментів з кондиціонування паром пічних газів у виробництві магнезиту [1] встановлено, що при об'ємній витраті пари до 1 % від об'єму газів, що очищаються, ступінь очищення підвищилася на 10 % (абс.). Збільшення витрати пари, мабуть, дало б додаткове підвищення ступеня очищення. Однак тут набувають чинності економічні фактори.

Виробництво пари вимагає спеціального обладнання, витрат палива та кваліфікованого обслуговуючого персоналу. При об'ємі газу, що очищається, від 10⁶ м³/год і більше, виникає необхідність спорудження спеціальної котельні тільки для газоочищення. В ряді випадків альтернативним рішенням можливо збільшення часу перебування газу в активній зоні електрофільтра – за рахунок зниження швидкості або збільшення числа полів. Остаточне рішення може бути прийняте на підставі техніко-економічного аналізу та з урахуванням всієї специфіки даної газоочисної споруди.

3.5 Інтенсифікація процесу очищення газів

Режимна інтенсифікація – це коли робота газоочисного апарату доводиться до можливо більш напружених режимів, виходячи з властивостей газу, що очищається, і уловлюваного продукту [1-3].

Наприклад, в трубі Вентурі режимна інтенсифікація може бути досягнута збільшенням або швидкості газу в горловині, або питомої витрати зрошуючої рідини.

Для циклонів режимна інтенсифікація може бути досягнута шляхом збільшення швидкості руху газу. Проте енерговитрати $\sim v^2$, а міра очищення піднімається значно повільніше. Не можна також перевищувати верхню межу швидкості задля уникнення вторинного виносу пилу.

В тканинних фільтрах режимна інтенсифікація відбувається за рахунок збільшення швидкості фільтрації до меж "проскакування" часток через тканину.

Проте перераховані методи повинні бути економічно обґрунтовані. Інакше вони ведуть до небажаних енерговитрат.

Конструктивно-технологічна інтенсифікація. Конструктивно-технологічна інтенсифікація, коли в конструкцію газоочисного апарату вносять удосконалення, які сприяють інтенсифікації процесів, що відбуваються в ньому.

Наприклад, в електрофільтрах – заміна коронуючих електродів (замість гладких дротяних голчасті або пилкоподібні); у тканинних фільтрах: нові методи регенерації (імпульсна, струминна), нові фільтрувальні тканини, попередня електризація пилу; у "мокрих" апаратах – пристрій для розпилу рідини (покращує контакт "газ-рідина"), введення стабілізаторів.

Спеціальні способи інтенсифікації. До спеціальних способів інтенсифікації відносяться:

- використання ефекту конденсації, коли гарячі гази перед "мокрим" очищенням насичуються водяною парою;
- попередня електрична зарядка уловлюваних часток і крапель зрошуючої рідини;
- введення поверхнево-активних речовин, що покращують змочуваність гідрофобних часток;
- підтримка ПЕО пилу в межах 10^5 - 10^{10} Ом·см шляхом збереження температурного режиму (100–200 °С).

3.6 Поєднання технологічних функцій

При проектуванні газоочисних споруд необхідно враховувати, що багато газоочисних апаратів здатні одночасно виконувати не одну, а кілька технологічних функцій. Приклади суміщення функцій наведені нижче.

Циклон, що вловлює пил (бризки) і одночасно є високоефективним змішувачем. Якщо у схемі передбачений циклон і потрібно якісне змішування газово-аерозольних потоків, це слід робити в циклоні, не вдаючись до встановлення спеціальних змішувачів.

Димосос-вентилятор створює тягу (напір) в мережі, одночасно відкидаючи за рахунок відцентрової сили аерозольні частинки до периферії ротора.

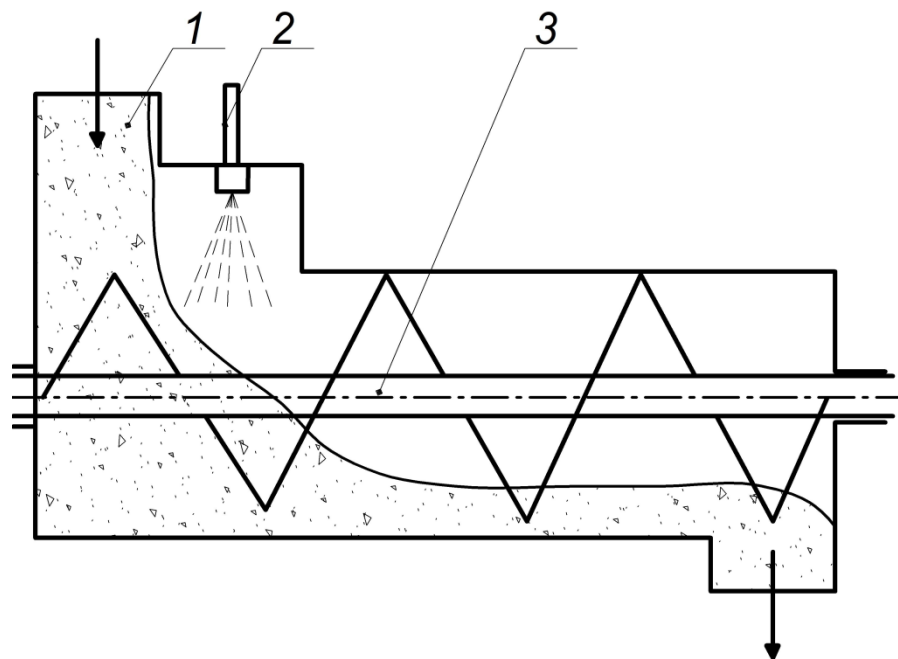
Струменевий газопромивач (ежекторний скруббер) здійснює мокре очищення газів; одночасно, завдяки введенню рідини під великим тиском (порядку 100 кПа) створює в перерізі труби як би рідинний «поршень», що інтенсивно проштовхує газ. Отже, розрахований струменевий промивач може в деяких випадках виключити необхідність установки мережі ТДМ, взявши на себе її функції.

Батарейний циклон-теплообмінник, як і звичайний циклон, може виконувати одночасно функції пиловловлення та змішування. Разом з тим завдяки наявності у батарейному циклоні значних теплопровідних поверхонь, що стикаються з гарячими газами, виникла ідея додати йому третю функцію – теплообмін.

Скрубер повного випаровування охолоджує та зволожує газ. Скрубер будь-якого типу поєднує кілька функцій: уловлювання аерозольних частинок, абсорбцію парів та газів, охолодження газу, зволоження газу при частковому випаровуванні рідини.

Шнек (гвинтовий конвеєр) у системі видалення вловленого пилу використовується як пристрій, який переміщає продукт, але при цьому відбувається його інтенсивне перемішування. Це можна використовувати для усереднення складу (гранулометричного, хімічного) пилу, уловленого від різних джерел. Крім того, шнек, у верхній частині якого встановлені зрошувачі, використовується для змочування пилу з метою виключення вторинного переходу в аерозольний стан (рис. 3.8).

Газорозподільний колектор. У деяких виробництвах, зокрема на аглофабриках чорної металургії, у зв'язку з великим об'ємом газу, що спрямовується на очищення, розведення газу газоочисними апаратами проводиться за допомогою колекторів дуже значних розмірів (з площею поперечного перерізу 40-50 м² і більше). Уникнути осадження пилу в таких колекторах неможливо, тим більше що швидкість газу в них зазвичай невелика і нестабільна в часі. Колектори такого роду розглядають як пилоосаджувальні камери для грубої очистки, забезпечують їх бункерами та засобами для видалення пилу. Інакше кажучи, тут поєднуються функції розведення газу по апаратах та грубого первинного його очищення.



1 – пил; 2 – форсунка тонкого розпили; 3 – вал шнека
Рисунок 3.8 – Шнек-змочувач

Пилові затвори встановлюються під бункерами пиловловлюючих апаратів. У деяких випадках їх функція полягає тільки в тому, щоб забезпечувати вивантаження пилу, не допускаючи зустрічного підсмоктування повітря. Однак, якщо пил вивантажується в систему пилотранспорту, що має певну максимальну продуктивність, затвор повинен дозувати вивантаження в кількості, що не перевищує продуктивність першого транспортного пристрою (шнека, магістралі пневмотранспорту або ін.). Таким чином, поєднуються функції затвора та дозатора.

При проектуванні необхідно уявляти весь комплекс функцій, який виконує кожний апарат, пристрій або **вузол проєктованої установки**. Розрахунок і вибір устаткування слід проводити, орієнтуючись на головну технологічну функцію, але з урахуванням інших функцій.