

Технічні науки

УДК 504.06, 621.311, 628.31

Долінський Анатолій Андрійович

*доктор технічних наук, академік НАН України,
завідуючий відділом тепломасообміну в дисперсних системах
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Долинский Анатолий Андреевич

*доктор технических наук, академик НАН Украины,
заведующий отделом тепломассообмена в дисперсных системах
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Dolinskyi Anatolii

*Doctor of Technical Sciences,
Head of the Department of Heat and Mass Transfer in Disperse Systems
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Коник Аліна Василівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник відділу тепломасообміну
в дисперсних системах
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Коньк Алина Васильевна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник отдела тепломассообмена
в дисперсных системах
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Konyk Alina

*Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher at the
Department of Heat and Mass Transfer in Disperse Systems
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Радченко Наталія Леонідівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник відділу тепломасообміну
в дисперсних системах*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Радченко Наталия Леонидовна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
старший научный сотрудник отдела тепломассообмена
в дисперсных системах*

Институт технической теплофизики НАН Украины

Radchenko Nataliya

*Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher at the
Department of Heat and Mass Transfer in Disperse Systems
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Целень Богдан Ярославович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник відділу тепломасообміну
в дисперсних системах*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Целень Богдан Ярославович

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
старший научный сотрудник отдела тепломассообмена
в дисперсных системах*

Институт технической теплофизики НАН Украины

Tselen Bogdan

*Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher at the
Department of Heat and Mass Transfer in Disperse Systems
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**СУЧАСНИЙ СТАН ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ І ШЛЯХИ
ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ И ПУТИ
СОКРАЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ
THE CURRENT STATE OF AIR POLLUTION BY HEAT AND POWER
PLANTS AND WAYS TO REDUCE HARMFUL EMISSIONS**

***Анотація.** Досліджена проблема забруднення атмосфери димовими газами від теплоенергетичних установок в Україні, розглянуто очисне обладнання, що експлуатується в даній галузі, його переваги і недоліки. Проаналізовані сучасні тенденції розвитку очисного обладнання та технологій, можливість їх впровадження в Україні, а також перспективу застосування обладнання, розробленого в ІТТФ НАН України.*

***Ключові слова:** димові гази, пиловловлювачі, електрофільтри, оксиди сірки, оксиди азоту, зола.*

***Аннотация.** Исследована проблема загрязнения атмосферы дымовыми газами от теплоэнергетических установок в Украине, рассмотрено оборудование, эксплуатируемое в данной отрасли, его достоинства и недостатки. Проанализированы современные тенденции развития оборудования для очистки и технологий, возможность их внедрения в Украине, а также перспективу использования оборудования, разработанного в ИТТФ НАН Украины.*

***Ключевые слова:** дымовые газы, пылеуловители, электрофильтры, оксиды серы, оксиды азота, зола.*

***Summary.** The problem of air pollution by flue gases from heat and power plants in Ukraine is investigated, the equipment used in this industry, its*

advantages and disadvantages are considered. Analyzed modern tendencies of development of the equipment for clearing and technology, the possibility of their implementation in Ukraine, as well as the prospect of the use of equipment developed in IET NAS of Ukraine.

Key words: *flue gases, dust collectors, electrostatic precipitators, sulfur oxides, nitrogen oxides, ash.*

Природоохоронним законодавством України передбачено, що гранична допустима концентрація твердих частинок в димових газах при потраплянні в атмосферу після очистки не повинна перевищувати 50мг/м³ димових газів. Проте, вітчизняне очисне обладнання, що працює в газовідвідних трактах більшості котельних України такий ступінь очистки забезпечити неспроможне. Фактичні значення становлять 800÷2500 мг/м³. Варто відзначити, що Україна як член Енергетичного Співтовариства повинна виконати вимоги Директиви Європарламенту і Ради ЄС 2001/80/ЄС «Про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин в атмосферу від великих установок спалювання» та директиви 2010/75 ЄС «Про промислові викиди». У зв'язку з цим, постає проблема пошуку шляхів скорочення обсягів викидів шкідливих речовин і в стислі терміни досягнення європейських норм за рахунок переоснащення та модернізації з використанням високоефективних систем очистки димових газів. Виконання цих завдань є однією з умов ЄС. На сьогоднішній день існує Національний план скорочення викидів для великих установок спалювання в частині «Енергетика», проте, шлях реалізації цього плану є складним та вже створив низку труднощів. Лише в 2018 році відповідно до вимог директиви вони мають скоротитись до 56 тис. т. [1].

Вирішенням даної проблеми займається ряд профільних інститутів та багато спеціалістів, зокрема, закордонні та вітчизняні вчені, такі як В.

Леонтьєв, М. Кастельз, Б. Баді, О. Тоффлер, Д. Медоуз, Дж. Форестер, М. Максимова, І. Фролов тощо [2].

Компонентний склад димових газів залежить від виду палива та способу його спалювання тому показники можуть суттєво варіюватись і містити наступні складові: діоксид і триоксид сірки, монооксид і діоксид азоту, оксид вуглецю, різноманітні фтористі сполуки, метан, етилен бензопірен і тверду фракцію (зола, сажа) усереднені показники яких, залежно від виду палива, наведено в таблиці 1 [3].

Таблиця 1

Склад димових газів в залежності від виду палива, г/(кВт · год)

Складові димових газів	Вид палива			
	Кам'яне вугілля	Буре вугілля	Мазут	Природний газ
Діоксид сірки	6	7,7	7,4	0,002
Оксиди азоту	21	3,45	2,45	1,9
Фтористі сполуки	0,05	0,11	0,004	-
Тверді частинки	1,4	2,7	0,7	-

Найбільшу зольність мають горючі сланці, буре вугілля та деякі сорти кам'яного вугілля. Рідке паливо має невелику зольність, а природний газ – беззольний. Особливо канцерогенними вважаються поліциклічні ароматичні вуглеводні, зокрема, бензопірен. [3, 4]. Окрім цього, у випадку неповного згоряння палива утворюється також певна кількість дуже отруйного монооксиду вуглецю, а при високих температурах в ядрі факела через часткове окислення азоту – оксидів азоту.

Основними параметрами контролю з метою обмеження викидів шкідливих речовин в атмосферу є моніторинг вмісту в димових газах оксидів сірки, оксидів азоту, оксиду вуглецю і золи [5].

Оксиди сірки утворюються при спалюванні викопного палива, зокрема вугілля і в цьому випадку є основною складовою димових газів (приблизно 72%), що наведено на рис. 1.

На сьогоднішній день на вітчизняних котельнях, враховуючи ТЕС, обладнання для вловлювання оксидів сірки фактично відсутнє [6]. В світовій практиці зниження викидів даної групи відбувається за рахунок заміщення сірковмісного палива (мазуту) на інші види, шляхом зниження вмісту сірки в самому паливі чи використанні в якості реагентів гідроксиду кальцію або карбонату кальцію з одержанням кінцевого продукту у вигляді сульфатно-сульфітної суміші або гіпсу. Загально прийнятою в світі є наступна класифікація методів очистки від оксидів сірки: абсорбція, адсорбція та хемосорбція. Дані способи, залежно від виду кінцевого продукту, можна розділити на сухі, вологі та волого-сухі.

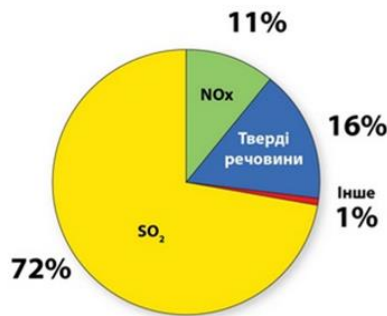


Рис. 1. Усереднений хімічний склад димових газів на виході котла [7]

В основу волого-сухої (напівсухої) очистки покладено процес поглинання (абсорбції) діоксиду сірки з димових газів шляхом введення дрібних краплин розчину гідроксиду кальцію. Кількість введенного розчину регулюється таким чином, щоб очищений газ не насичувався, а теплоти димових газів було достатньо для випаровування всієї вологи, що знаходиться в лужному сорбенті. Діоксид сірки реагує з гідроксидом кальцію утворюючи нерозчинний у воді сульфід кальцію. На сьогоднішній день в межах даного напрямку широко відомою є очистка за методом «Драйпак» шведської фірми «Флект», за методом розпилювальної абсорбції – фірм Ніро-Атомайзер, Лурги, Штайнмюллер.

Серед сухих методів найбільш відомий і широко впроваджений метод хемосорбції коли тонко розмелений вапняк вводиться в камеру

згоряння котла де випалюється з утворенням оксиду кальцію і діоксиду вуглецю, а далі – при температурі газів $500\div 900^{\circ}\text{C}$ відбувається утворення сульфїту кальцію і наступна його взаємодія з киснем – з утворенням сульфату кальцію. Одержана з котла суміш сульфїту і сульфату кальцію разом з золою та оксидом кальцію, що не прореагував, вловлюється в пиловловлювачах. Наведена технологія вимагає мінімальних капітальних та експлуатаційних витрат у порівнянні з іншими методами хемосорбції таких фірм як «Bergbau Frschung», «НОКСО», чи «УОП-Шель», а також каталітичним окисленням діоксиду сірки в триоксид сірки з одержанням сірчаної кислоти («WSA», Данія), адсорбцією з використанням активованого вугілля чи коксу, радіолізом («Штейнмюллер», Німеччина, Росії, Інститут ядерної фізики СО РАН, Росія).

Метод вологої очистки передбачає застосування промиваючих розчинів з лужними властивостями. Зокрема, до них відноситься очистка за допомогою лужних сполук – гідроксиду натрію, карбонату натрію, сульфїту натрію; лужно-земельних сполук – гідроксиду кальцію, карбонату кальцію, гідроксиду магнію; сполук амонію – гідроксиду амонію і сульфїту амонію, а також подвійна лужна очистка, при якій лужний абсорбент регенерується за допомогою лужно-земельної сполуки з виділенням кінцевого продукту, який в подальшому можна використовувати. Останній метод знайшов найбільш широке розповсюдження в США та Японії [8].

Друга складова – оксиди азоту, які утворюються за рахунок високотемпературних процесів у факелі та при окисленні азотовмісних сполук в самому паливі. На виході з труби оксиди азоту на $85\div 90\%$ складаються з монооксиду азоту (NO) і на $10\div 15\%$ з діоксиду азоту (NO_2). В момент потрапляння в атмосферу відбувається швидке окислення NO в NO_2 . Для часткового запобігання потрапляння в атмосферу NO в світовій практиці використовуються різноманітні методи серед яких найчастіше

застосовують двостадійне і тристадійне спалювання палива, подачу води та водяної пари в зону горіння, зниження температури підігріву газу, зменшення надлишку повітря в камері згоряння, рециркуляцію димових газів тощо. Також зниження концентрацій NO можна досягти шляхом використання спеціальних хімічних методів очистки, зокрема, селективного каталітичного та некаталітичного відновлення оксидів азоту, що ґрунтується на вибірковій взаємодії оксидів азоту з відновниками (аміаком чи карбамідом) в газовій фазі при температурі $900\div 1200^{\circ}\text{C}$. Ефективність методу становить $80\div 90\%$, але його недоліком є небезпека використання аміаку, а у випадку застосування карбаміду – великі витрати води та утворення відповідних стічних вод, які необхідно додатково нейтралізувати. Скорочення викидів досягається також шляхом пропускання через шар силікагелю, алюмогелю, активованого вугілля, коксу з відновленням аміаком, застосуванням фізико-хімічних методів з використанням комплексів солей, кислот, озону, коронарного розряду. Загальним недоліком існуючих фізико-хімічних методів є високі витрати електроенергії і вартість [9].

Третя складова викидів – зола, склад якої, як правило, залежить від виду спалюваного палива і може містити оксиди кремнію ($45\div 60\%$), алюмінію ($15\div 25\%$), заліза ($5\div 10\%$), кальцію ($1,5\div 4,5\%$), калію ($2,0\div 4,5\%$) та ін. кількість яких не перевищує 1% (сполук натрію, магнію, титану, мікродомішки сполук ванадію, ртуті, свинцю, миш'яку, радіоактивні і канцерогенні речовини). Дисперсний склад, згідно літературних даних, коливається від 0,5 до 100 мкм. (рис. 2), а форма переважно сферична [5].

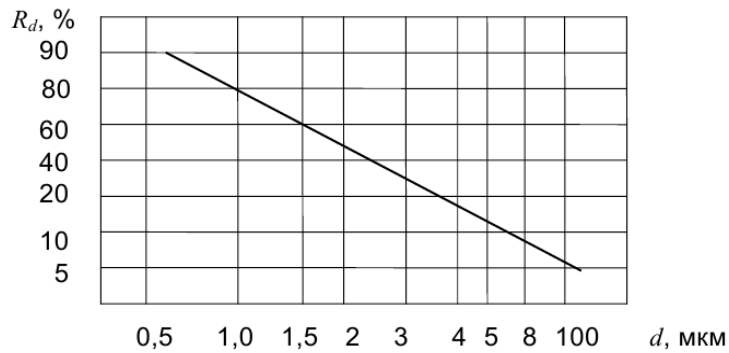


Рис. 2. Дисперсний склад твердих частинок димових газів [5]

Принцип роботи обладнання для вловлювання пилу базується на застосуванні різноманітних механізмів осадження частинок: гравітаційне осадження, осадження під дією відцентрових сил, дифузійне очищення, електричне та інші. За способом вловлювання частинок розрізняють метод мокрого вловлювання, сухого вловлювання і електричний, вибір яких, в основному, залежить від дисперсного і фізико-хімічного складу димових газів, а також від необхідного ступеня очищення, швидкості надходження газового потоку і його теплофізичних властивостей.

На ринку очисного обладнання найбільш часто можна зустріти електрофільтри, які встановлюються за межами приміщень та комбінацію електрофільтрів і рукавних фільтрів. На рис. 3 зображено загальну схему очищення димових газів від золи.

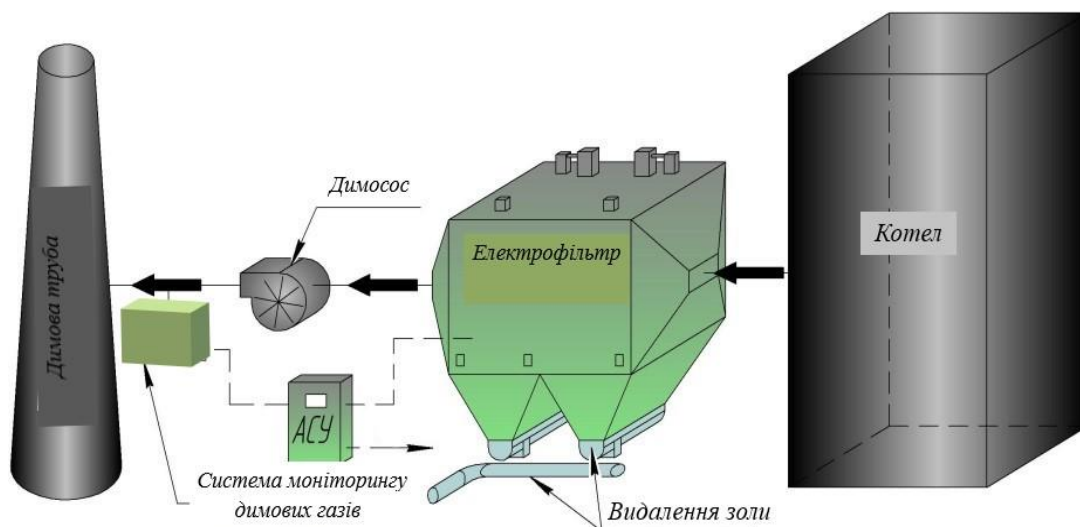
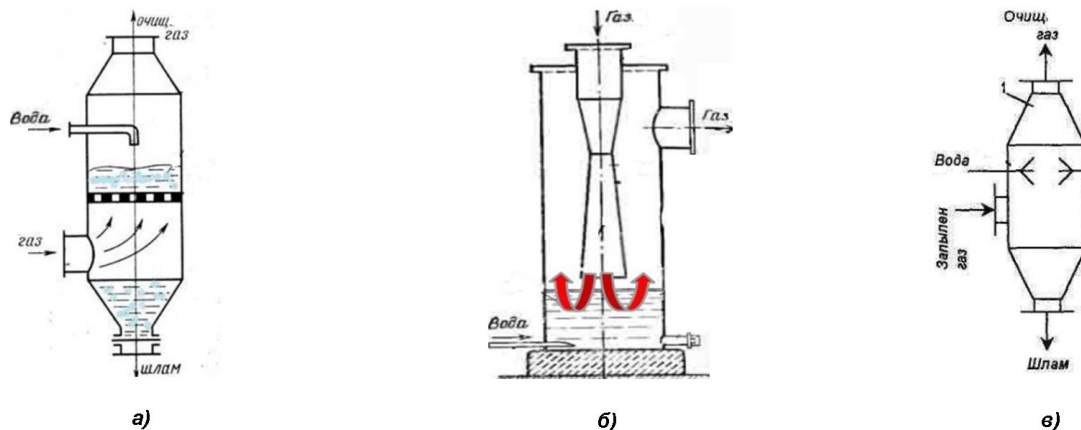


Рис. 3. Загальна схема очищення димових газів від золи [10]

На сьогоднішній день загальноприйнятою є наступна класифікація пиловловлювачів за принципом дії [11]:

1. Мокрі пиловловлювачі – найбільш доступне та розповсюджене обладнання принцип дії якого ґрунтується на осадженні частинок пилу (або молекул газу) на поверхню краплин чи плівки рідини за рахунок сил гравітації, інерції, броунівського руху. Реалізується процес шляхом переносу твердої фази з газового середовища в рідке з наступним його видаленням з апарата. Для здійснення захоплення частинок пилу краплинами рідини потік промивають розпиленою рідиною, що дозволяє захопити частинки пилу та вивести їх з газового потоку. Процес осадження пилу відбувається, головним чином, внаслідок кінематичної коагуляції. У випадку виключно гравітаційної коагуляції осадження частинок менше 1мкм практично не відбувається. Основним завданням ефективності застосування мокрого пиловловлювання є досягнення максимального ступеня змочування твердих частинок, однак, при цьому вловлювання дрібних частинок пилу в мокрих пиловловлювачах недостатньо ефективно внаслідок утворення на їх поверхні газової плівки, що перешкоджає змочуванню. Для усунення зазначеного недоліку створюють умови для руйнування газової плівки шляхом турбулізації газового потоку або додаванням поверхнево-активних речовин. Обладнання даного типу використовується для відділення твердих частинок з розмірами від $0,3 \div 1,0$ мкм і має суттєву перевагу, оскільки, в процесі очистки відбувається одночасне охолодження газу. Залежно від виду контакту між твердою та рідкою фазами розрізняють очистку плівкову, в об'ємі і краплинну (розпилювання рідини в об'ємі газу). За конструктивними особливостями їх класифікують на надшвидкісні скрубери (скрубери Вентурі), відцентрові, тарілчасті (барботажні, рис. 4а), насадкові, скрубери з рухомою насадкою, скрубери ударно-інерційного типу (рис. 4б), механічні та динамічні, ежекторні порожнинні (зрошувальні пристрої,

порожнисті та форсункового типу скрубери) (рис. 4в), за енерговитратами розподіляють на низького напору, середнього напору та високого напору. Своє широке застосування в очисних системах ТЕС мокрі пиловловлювачі знайшли завдяки простоті обладнання, високому ступеню очищення ($97\div98\%$), нечутливості до фракційного складу. Недоліком обладнання даного типу є підвищене зношування футеровки, неможливість очищення викидів, що містять леткі та схильні до злипання частинки, підвищений гідравлічний опір, великі витрати води, розчинення оксидів у воді та неможливість застосування у випадку, коли вміст оксиду кальцію в золі перевищує 20% через небезпеку утворення карбонатних відкладів. Використовують мокрі золовловлювачі при температурі димових газів $130\div200^{\circ}\text{C}$.



а – скрубер тарілчастого типу; б – скрубер ударно-інерційного типу; в – порожнистий скрубер

Рис. 4. Типи конструкцій мокрих пиловловлювачів [5]

2. *Сухі інерційні пиловловлювачі (механічні)* використовують гравітаційні, інерційні та відцентрові сили. За конструктивними ознаками їх класифікують наступним чином: пилоосаджуючі, жалюзійні, ротаційні, циклонного типу (протиточні осьові, прямоточні осьові, вихрові, групи циклонів, батарейні циклони) і комбіновані. Апарати даного типу

прийнято вважати найбільш надійними та простими в експлуатації, однак, внаслідок невисокої ефективності вловлювання в діапазоні дрібнодисперсних частинок (до 5мкм), необхідності забезпечення герметичності конструкції і непридатності до роботи з леткими твердими частинками вони не є універсальними. За конструктивними особливостями розрізняють наступні види механічних пиловловлювачів:

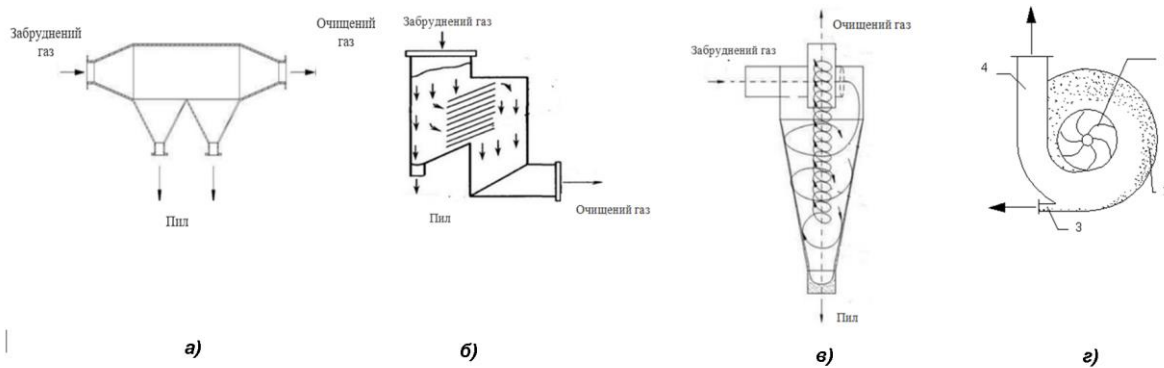
а) пилоосаджуючі (гравітаційні) використовуються для попередньої очистки від грубодисперсних частинок. Принцип дії ґрунтується на проходженні газу вздовж камери зі швидкістю до $1\div 2$ м/с, якої достатньо для осадження твердих частинок (рис. 5а). Переваги – простота виготовлення, невисокий гідравлічний опір, надійність, здатність функціонувати при підвищених температурах і високій запиленості. Недоліки – невисока ефективність очистки ($30\div 60\%$), висока матеріалоємність і великі габарити.

б) жалюзійні пиловловлювачі на практиці найчастіше використовують в комбінації з відцентровим циклоном у зв'язку з невисокою ефективністю при вловлюванні частинок розміром до 20 мкм проте достатньою ($95\div 97\%$) при вловлюванні частинок в діапазоні $40\div 50$ мкм. Принцип дії ґрунтується на проходженні газу через жалюзійні решітки з пластин, конусів або кілець, що розташовані під кутом до напрямку газового потоку (рис. 5б) оминаючи які газ різко змінює напрям руху і звільняється від пилу. Переваги – простота конструкції і виготовлення, низька вартість, невисокий гідравлічний опір. Недолік – низька ефективність вловлювання частинок (до 20 мкм).

в) циклонні апарати, як правило, використовують на першому ступені очистки димових газів від твердих частинок розміром понад 10 мкм. Принцип дії ґрунтується на вилученні частинок пилу з газового потоку за рахунок відцентрових сил під дією яких

тверді частинки відкидаються на стінки корпусу і виводяться через випускний отвір в конічній частині, а очищений газ, утворюючи внутрішній потік зі швидкістю $20\div 30\text{ м/с}$, піднімається вгору і виводиться назовні через концентрично розташовану в корпусі трубу (рис. 5в). Серед найбільш розповсюджених для очистки димових газів в котельнях є циліндричні апарати моделей ЦН-11, ЦН-15, рідше – ЦН-15У та ЦН-24. Також часто використовують апарати конічної форми. Ефективність роботи циклона пропорційна діаметру апарата – зі зменшенням діаметра підвищується ступінь закручування потоку. У зв'язку з цим в промисловості найчастіше використовують батарейні циклони (мультициклони) з допомогою яких можна досягнути ступеня очистки до 98%. Переваги – високий ступінь очищення, простота розробки і виготовлення, відносно низький гідравлічний опір, висока продуктивність. Недоліки – неможливість вилучення з газового потоку пилу з малими розмірами частинок, мала довговічність.

г) **ротаційні пиловловлювачі** (рис. 5г). дозволяють вилучати з газового потоку тверді частинки з розміром від 5 мкм . Принцип дії ґрунтується на використанні відцентрової сили. Переваги – компактність (вентилятор і пиловловлювач сполучені в одному апараті, тому розміри в $3\div 4$ рази менші, ніж у циклона), менші питомі витрати на очистку 1000 м^3 газу (на $20\div 40\%$ менші, ніж в циклона). Недоліки – відносна складність конструкції і експлуатації.

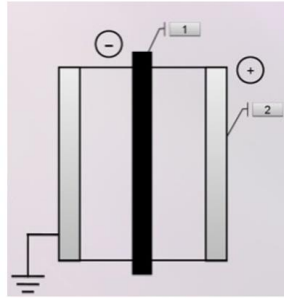


а – пилоосаджуюча камера; б – жалюзійний; в – циклон; г – ротаційний

Рис. 5. Конструкції механічних пиловловлювачів [5]

3. **Електрофільтри** використовуються головним чином на ТЕС, в котельнях, де є великі витрати газу з високою температурою (рис. 6). Обладнання даного типу є одним з перспективних з точки зору максимально високої ефективності очистки в яких видалення твердих часток з газового потоку відбувається за рахунок осадження заряджених в електрофільтрі частинок на поверхні осаджувальних електродів, а діапазон частинок, що можна вилучати становить $0,01 \div 100$ мкм. Принцип вловлювання твердих частинок відбувається в три стадії: іонізація і зарядження твердих частинок при проходженні газу через електричне поле високої напруги; осадження заряджених частинок на заземлених осаджувальних електродах; видалення осадженого матеріалу в приймальний бункер механічним способом. Як правило, конструктивно промислові фільтри виконуються у вигляді ряду заземлених труб чи пластин через які пропускається газ для очистки, а між осаджувальними електродами розташовуються дрові коронуючі електроди, що знаходяться під напругою. Переваги – високий ступінь очищення газів (до 99,5%), низький газодинамічний опір ($100 \div 150$ Па), можливість роботи з агресивними середовищами, здатність до очищення високотемпературних газів, очищення від твердих та рідких включень. Недоліки – висока

вартість виготовлення і експлуатації, значні витрати електроенергії на створення електричного поля ($0,1 \div 0,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ на 1000 м^3 очищеного газу).



1 – коронуючий електрод; 2 – осаджувальний електрод.

Рис. 6. Схема електрофільтра [12]

До даної групи обладнання можна також віднести **фільтри**, які найчастіше використовуються для тонкої очистки (вловлювання частинок до 5 мкм) і складаються з корпусу, розділеного пористою фільтруючою перегородкою. Фільтрувальними елементами найчастіше є матеріали на основі поліестеру, поліпропілену, поліаміду, поліакрилонітрилу, полівінілсульфіду тощо. Фільтри виготовляють як з внутрішньою так і зовнішньою робочою поверхнею. Режим регенерації фільтруючого елемента відбувається без припинення циклу роботи імпульсами попередньо висушеного і очищеного стисненого повітря ($0,35 \div 0,6 \text{ МПа}$) витрата якого не перевищує $0,1\%$ від об'єму очищуваного газу або струшуванням, вібрацією чи звуковими хвилями. Ефективність очистки газу – до 99% , термін роботи фільтра – $2 \div 3$ роки. В промисловості найбільш часто використовуються рукавні фільтри круглої форми ($\varnothing 135 \text{ мм}$) для фільтрів з вертикальним розташуванням рукавів та у формі еліпса – для фільтрів з горизонтальним та вертикальним розташуванням. Конструктивно рукавний фільтр виконується прямокутної чи круглої форми, має бункер, фільтрувальні рукави, що підвішені всередині корпусу та спеціального пристрою для керування процесом регенерації [13].

В Україні на котельних найбільш розповсюджені пиловловлювачі наступних типів: батарейні циклони, жалюзійні пиловловлювачі ВТИ та

циклони НИИОГаз. Останні використовуються у тому випадку, коли розміри твердих частинок в газі більше 5 мкм і його загальний об’єм становить $6000 \div 20000 \text{ м}^3/\text{год}$. Найвищий ступінь видалення пилу мають установки ЦН-11, проте, їх недоліком є високий гідравлічний опір і, як наслідок, підвищені енерговитрати. У зв’язку з цим, вони рекомендовані до використання лише в котельнях з підвищеними вимогами до очистки газів. Найменш поширеними є циклони ЦН-15у (вкорочені) та ЦН-24 (високопродуктивні). Найбільш рекомендованим та універсальним типом циклона є марка ЦН-15. В котельнях на території України можна зустріти моделі ЦН-11 (високої продуктивності, не піддаються абразивним деформаціям), циклони-пиловловлювачі, ЦП-2 (для великих об’ємів газу, проте, не для легких частинок), СКД-ЦН-33 (ефективні для відділення середньодисперсних частинок, проте, не для легких частинок і з температурою робочого середовища не вище 400°C), СК-ЦН-34 ефективні для вловлювання сажі), широко застосовуються для очистки димових газів в котельнях циклони марки ЦМС-27. Батарейні циклони найчастіше використовуються у випадку, коли об’єми газів становлять від 15000 до $150000 \text{ м}^3/\text{год}$, електрофільтри та батарейні циклони з рециркуляцією – при об’ємах вище $100000 \text{ м}^3/\text{год}$. В котельнях з котлами типу ДКВР-4, ДКВР-6,5, ДКВР-10, ДКВР-20 досить часто використовуються для очистки димових газів мультициклони. Мокрі золовловлювачі і електрофільтри найбільш широко використовуються на електростанціях України (золовловлювачі – в котлах ТЕЦ та енергоблоках потужністю 100, 150 і 200 МВт, а електрофільтри – 300 МВт) [9]. Фільтри з пористим середовищем не знайшли широкого застосування внаслідок складнощів регенерації фільтруючого матеріалу та великих габаритів.

Одним зі шляхів скорочення викидів оксиду азоту при спалюванні природного газу є використання котлоагрегатів оснащених економайзером для охолодження димових газів нижче точки роси. Однак, при цьому

утворюється кислий конденсат зі стабільним протягом тривалого часу значенням водневого показника $4,2 \div 4,7$ внаслідок наявності до 70 мг/л розчиненої вуглекислоти, який потрібно перед скиданням в каналізацію нейтралізувати. Розроблений в ІТТФ НАНУ метод безреагентної нейтралізації, принцип якого ґрунтується на способі дискретно-імпульсного введення енергії, дозволяє вилучати розчинену вуглекислоту за рахунок впливу на рідину фізико-хімічних процесів [14].

Висновки. Аналіз стану проблеми очистки димових газів та функціонуючого на сьогоднішній день в Україні обладнання показав, що більшість існуючого в Україні очисного обладнання спрямоване на очистку димових газів лише від золи використовуючи електрофільтри і зололовлювачі мокрого типу ефективність яких не задовольняє європейським вимогам ($30 \div 50 \text{ мг/нм}^3$). Крім цього, практично не проводиться очистка газів від оксидів сірки, концентрація яких досягає 8000 мг/нм^3 при європейських нормах $200 \div 400 \text{ мг/нм}^3$ і оксидів азоту, зменшення утворення яких здійснюється, як правило, лише за рахунок оптимальних умов згоряння палива і може досягати $600 \div 2000 \text{ мг/нм}^3$ в той час як норми ЄС встановлюють $200 \div 600 \text{ мг/нм}^3$. Така ситуація викликана тим, що вітчизняні котельні агрегати зношені так як знаходяться в експлуатації $40 \div 50$ років відпрацювавши два нормативних терміни і потребують модернізації чи заміни з одночасним комплексним оснащенням системами очистки димових газів, відсутнє забезпечення науково-технічною і технологічною базою.

Вартість взятих Україною зобов'язань в рамках приєднання до Європейського Енергетичного співтовариства на сьогоднішній день складає $20 \div 25\%$ від вартості основного теплоенергетичного обладнання і передбачає скорочення шкідливих викидів до гранично допустимих значень з відповідною розробкою відповідних програм і переоснащення та модернізацію обладнання з використанням високоефективних систем

очистки, а саме: провести заміну твердого палива на газ; підвищити якість палива (збагачення вугілля); розробити план утилізації відходів ТЕС; збільшити ефективність виробництва; запровадити сучасні газоочисні технології; розробити стратегію виведення застарілих енерго-блоків з експлуатації; поширювати використання альтернативних джерел енергії; провести реформування паливно-енергетичної галузі [4].

У зв'язку з цим, основним завданням розробників на даний час є пошук та впровадження нових ефективних технологій, що дозволять зменшити кількість шкідливих викидів і досягнути ступеня очищення димових газів відповідно до вимог регламентованих ЄС.

Таким чином, одним з запропонованих заходів, спрямованих на зниження забруднення шкідливими викидами навколишнього середовища є спалювання природного газу в режимі глибокої утилізації теплоти димових газів (їх охолодження нижче точки роси) з наступною нейтралізацією утвореного кислого конденсату, що дозволить не тільки підвищити ККД котлоагрегату на $8\div 12\%$, але й нейтралізувати без використання хімічних реагентів утворений конденсат (до 140 л/год з 1 МВт теплової потужності) і, як наслідок, зменшити витрати на підготовку води для живлення котлів за рахунок використання нейтралізованого конденсату і скоротити кількість стічних вод, поліпшити стан довкілля шляхом зменшення кількості стоків (хімічно забрудненого нейтралізованого конденсату і відходів установок пом'якшення води), раціонально використовувати водні ресурси за рахунок зниження потреби у природній воді (у випадку повторного використання нейтралізованого конденсату).

Література

1. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення : ГКД 34.02.305 – 2002 – ГКД

- 34.02.305 2002. [Чинний від 2002–07–01]. Київ : Науково-технологічний центр «Реактивелектрон» Національної академії наук України (НТЦ НАН України), 2002. – (Галузевий керівний документ).
2. Бондаренко Г. В. Еколого-енергетична безпека України в умовах глобалізації / Г. В. Бондаренко. // Вісник Черкаського університету. Серія Економічні науки. 2012. С. 128–134.
 3. Теплообменные аппараты и приборы в легкой промышленности. / [Б. П. Кондауров, Л. Т. Бахшиева, В. С. Салтыкова и др.] ; под ред. проф. А.А. Захаровой. – М.: Академия, 2003. 192 с.
 4. Коваленко Т. Аналіз та оцінка впливу шкідливих викидів ТЕС України на навколишнє середовище [Електронний ресурс] / Т. Коваленко, П. Коваленко // Матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених EPECS-2013 «Енергетика та системи керування» (EPECS-2013). 2013. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/26866/1/013-036-039.pdf>.
 5. Разва А. С. Природоохранные технологии в промышленной теплоэнергетике : курс лекций [Електронний ресурс] / А. С. Разва // Томский политехнический университет. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://portal.tpu.ru/SHARED/r/RAZVA/study/prip>.
 6. Мисак Й. С. Очищення відхідних газів теплоенергетичних підприємств від діоксиду сірки, використовуючи водні розчини $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ / Й. С. Мисак, Д. С. Баранович, І. Л. Тимофєєв. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2011. №712 : Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. С. 22–26.
 7. Дубовской С. В. Экономические предпосылки внедрения природоохранных технологий в тепловой энергетике Украины / С. В. Дубовской, В. С. Коберник. // Энерготехнологии и энергосбережение. 2013. №3. С. 59–65.
 8. Семенюк М. В. Очищення газових потоків у відцентрових фільтрах : дис. канд. техн. наук : 05.17.08 / Семенюк М. В. Київ, 2018. 225 с.

9. Книга 3. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики [Электронный ресурс] / [С. Г. Плачкова, И. В. Плачков, Н. И. Дунаевская та ін.] // «Энергетика: история, настоящее и будущее». 2013. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3>
10. Биоэнергетика – стратегическое направление Украины [Электронный ресурс] // ООО «Консорциум «Энергомашэкология». 2016. URL: <http://www.em-eco.net.ua/biblioteka/stati/szhiganie-luzgi-podsolnechnika/>
11. Промислова екологія: навчальний посібник / [С. О. Апостолюк, В. С. Джигирей, І. А. Соколовський та ін.]. – 2-ге вид., виправл. і доповн. – К.: Знання, 2012. 430 с.
12. Защита атмосферы. (Тема 3) [Электронный ресурс] // Сервис РРТ Онлайн. 2016. URL: <https://en.ppt-online.org/50177>.
13. Щинников П. А. Природоохранные технологии на ТЭС и АЭС : конспект лекций [Электронный ресурс] / П. А. Щинников // Новосибирский государственный технический университет. 2014. URL: <https://studfiles.net/kgtu-3/1538/>.
14. Застосування способу дискретно-імпульсного введення енергії для нейтралізації конденсату продуктів згоряння рідного газу / [А. А. Долінський, Б. Я. Целень, Г. К. Іваницький, А. В. Коник, Н. Л. Радченко, А. П. Гартвіг] // Наукові праці ОНАХТ. Т. 81, Вип. 1. 2017. С. 9–14.