

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний морський технічний університет
імені адмірала Макарова

**АПАРАТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ
ВІД ЗАБРУДНЕНЬ**

Рекомендовано Методичною радою університету
як методичні вказівки

Миколаїв 2002

УДК 66.074

Рижков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатний В.В. Апарати для очищення повітря від забруднень. Методичні вказівки. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 36 с.

Кафедра екології

В методичних вказівках розглянуті основні конструктивні типи апаратів сухого механічного пиловловлювання, фільтрації, мокрому пиловловлювання. Описано будову різних типів устаткування для видалення з повітря газо- та пароподібних домішок: абсорберів, адсорберів, апаратів термічного і термокаталітичного знешкодження, засобів біологічного очищення.

Методичні вказівки рекомендуються для студентів спеціальності "Екологія та охорона навколишнього середовища" і може бути використані у курсовому та дипломному проектуванні за названою спеціальністю.

Іл. 26, спис. літ.– 12 назв, дод. 1.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Тимофеев В.І.

© Український державний
морський технічний
університет, 2002

ВСТУП

Розвиток виробництва, транспорту та інших сфер життєдіяльності людини, таких як урбанізація, призводить до суттєвого погіршення стану повітряного басейну. Особливо це дає ознаки в містах з великою концентрацією промислових, енергетичних, транспортних та невиробничих об'єктів. В процесі їх функціонування в атмосферу потрапляють забруднюючі речовини різного хімічного складу та агрегатного стану. Тверді та рідкі частинки утворюють з повітрям двофазні системи, що мають назву аерозолів – пилей, димів, та туманів. Газо- та пароподібні домішки, потрапляючи у повітря, розчиняються у ньому. При цьому процесі виникає гомогенна суміш.

Забруднення у атмосферу можуть поступати безперервно та періодично через спеціально облаштовані пристрої відведення (організований викид) або безпосередньо від джерела (неорганізований викид). Поширюючись у повітрі, ці речовини можуть завдавати великої шкоди як екосистемам у цілому, так і здоров'ю людей зокрема. З метою запобігання негативних наслідків забруднення атмосфери необхідно створювати спеціальні системи газоочищення. Очищення організованих технологічних викидів здійснюється за допомогою устаткування, що вмонтовується у відхідні газоходи. Для очищення повітря від неорганізованих викидів застосовуються системи витяжної вентиляції, що складаються з відсосів, трубопроводів, вентиляторів та засобів газоочищення. Для дотримання у приміщеннях комфортних та безпечних для життєдіяльності людини параметрів повітря використовуються системи вентиляції та кондиціонування.

Основними елементами вказаних систем є засоби газоочищення, тобто видалення з газу забруднень або переведення останніх у безпечну для людини форму. В залежності від стану шкідливих домішок, що вилучаються, розрізняють апарати для пилоуловлювання, очищення від туманів та бризок, газоподібних, пароподібних домішок та ін. (див. Додаток). За принципом дії виділяють апарати для розділення неоднорідних систем, де визначальними є гідромеханічні процеси і, частково, теплові, а також масообмінні апарати, де очищення здійснюється, переважно, за рахунок масообмінних, хімічних та біохімічних процесів. Апарати бувають безперервної та періодичної дії, із застосуванням спеціального уловлюючого агенту та без нього. В першому випадку поглинач може бути твердим, рідким або газоподібним, бути нерухомим або рухатися прямотечією, протитечією чи перехрестною течією. У сучасній техніці застосовується велика кількість конструкцій апаратів газоочищення, багато з яких використовують комбіновані принципи видалення шкідливих домішок. Сучасні

системи, як правило, включають в себе декілька таких засобів з різними принципами та ефективністю очищення повітря.

1. АПАРАТИ СУХОГО МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

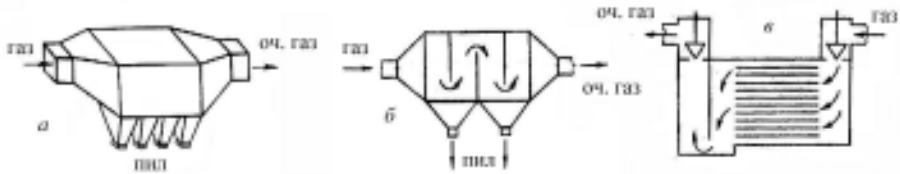


Рис.1. Конструкції пилоосаджувальних камер:
a – порожня; *б* – з перегородками; *в* – багатополцева.

1.1. Пилоосаджувальні камери

В пилоосаджувальних камерах пил видаляється з газу під впливом гравітаційних і, частково, інерційних сил. Схеми деяких із типів цих апаратів представлено на рис.1.

Перевагою таких систем є простота виготовлення і невеликий гідравлічний опір, недоліками – низька (40...50 %) ефективність пилоуловлювання, видалення з потоку переважно крупнодисперсного пилу, а також великі розміри у зв'язку зі значною тривалістю процесу гравітаційного осадження. Тому ці апарати використовують як першу ступінь газоочищення.

1.2. Інерційні пилоуловлювачі

Видалення пилу в цих апаратах відбувається за рахунок інерційних сил, і, частково, гравітаційних. Перші виникають внаслідок зміни напрямку руху газового потоку, що досягається шляхом застосування перегородок різної конфігурації. Схеми найпростіших інерційних пилоуловлювачів приведено на рис.2, *a–г*.

У порівнянні з гравітаційними, ці апарати мають вищу швидкість газового потоку (10...15 м/с), а відтак і менші габарити, але й більший

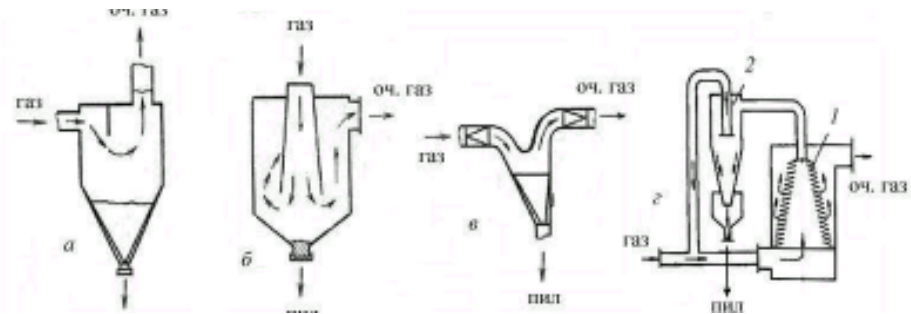


Рис.2. Інерційні пилоуловлювачі:

- a* - з вертикальною перегородкою; *б* - з центральною трубою;
- в* - з плавним підводом газу; *г* - жалюзійний;
- 1* - жалюзі, *2* - циклон

гідравлічний опір. Вони здатні уловлювати частинки меншого розміру (20...30 мкм), мають вищу ефективність, проте, порівняно з потрібною, недостатню.

Різновидом інерційних є жалюзійні пилоуловлювачі, де для зміни напрямку газового потоку використовуються жалюзійні пластини або кільця. В процесі проходження крізь апарат газ поділяється на два потоки: насичений пилом (10...20 % газу), що прямує на доочищення в циклон (розд. 1.3), та основний потік, що значною мірою очищений від пилу (рис.2,г). Ці апарати ефективні для уловлювання частинок, більших за 20 мкм, проте їх суттєвим недоліком є швидке зношення жалюзей.

Інерційні апарати застосовуються або для попереднього очищення газів, або для видалення крупних фракцій викидів в тому випадку, коли більш ефективні уловлювачі неможливо встановити за браком місця.

1.3. Циклони

В циклонах очищення газів здійснюється переважно під дією відцентрових сил. Потрапляючи до циклону через тангенціально розташований вхідний патрубок *1* (рис.3) або спеціальний спрямовуючий апарат, запилений газ набуває обертового руху, та за два-три оберти гвинтоподібно опускається вниз, де з переходом до конічної частини *4* його швидкість зростає. В результаті впливу відцентрових сил частинки пилу відкидаються до стінок, тобто очищений газ знаходиться у ближчих до центру частинах апарату. Далі частинки пилу разом з частиною газу потрапляють у бункер *5*, де розділяються під впливом інерційних

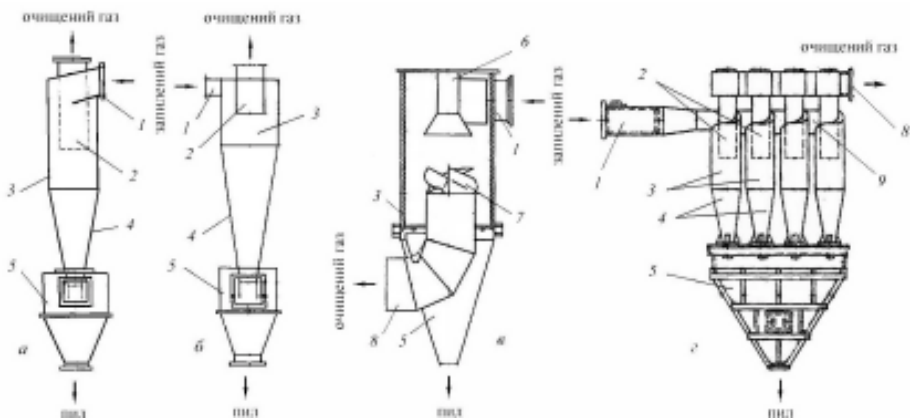


Рис.3. Конструктивні типи циклонів:
а – циліндричний; *б* – конічний; *в* – прямоточний; *г* – груповий

сил, а очищений газ, змінивши напрямок, підіймається по центральній трубці 2.

На сьогодні у різних країнах використовується досить багато типів циклонів, суттєво відмінних за геометрією. У вітчизняній техніці газоочищення найбільш широке застосування знайшли циклони НДЮГАЗу (рис.3,*а,б*). Циліндричні апарати є високоефективними, але потребують більших затрат на очищення, конічні – високопродуктивними, з меншим гідравлічним опірором, але з гіршим уловлюванням дрібних частинок.

З метою одночасного зниження гідравлічного опору і габаритів були розроблені прямоточні циклони (рис.3,*в*), де вхід і вихід газу здійснюється з протилежних боків, а закручування потоку досягається шляхом тангенціального введення через патрубок 1 або за допомогою спеціальних спрямовуючих апаратів. Для надання потоку обертового руху використовується вставка 6. Пил накопичується у конічній частині 5 та згодом видаляється, а очищений газ виводиться з апарату через патрубок 8, попередньо проходячи розкручувач 7. Ефективність прямоточних апаратів невелика, і їх використовують як перший ступінь очищення. При великих витратах газів застосовують групові циклони, що включають декілька циклонів зі спіральними колекторами підводу 1 та відводу газу 8, а також бункером 5 (рис.3,*г*).

Ефективність циклонів досить висока і підвищується зі зменшенням діаметру, тому широко застосовують батарейні циклони з багатьма

десятками паралельних циклонів малого діаметру в одному корпусі зі спільним підведенням і відведенням газу (рис.4). Циклонні елементи можуть бути з аксіальною подачею і закручувальним апаратом (див. рис.4), з тангенціальною подачею (аналогічно рис.3,а) чи прямоточними (аналогічно рис.3,б). Забруднений газ потрапляє у розподільну камеру 1, а звідти – аксіально через спрямовуючий апарат 2, як на рис.4, або іншим способом – до циклонних елементів 3. В останніх відбувається видалення частинок пилу у бункер 4, а очищений газ по центральних трубах виводиться у камеру 5 і далі через вихідний патрубок виходить з циклону.

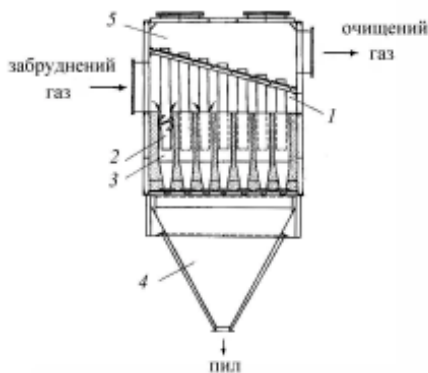


Рис.4. Батарейний циклон з аксіальною подачею газу

1.4. Вихрові пилоуловлювачі

В цих апаратах видалення пилу також відбувається за рахунок відцентрових сил, а відрізняються вони від циклонів наявністю допоміжного закручуючого газового потоку, що створюється шляхом подачі "вторинного" повітря через сопла 2 (рис.5,а) або лопатки 4 (рис.5,б). Заплене повітря у апараті закручується за допомогою завихрювача 3 та підіймається угору, де стикається з "вторинним" повітрям. В результаті частинки спочатку відкидаються до периферії, потім потрапляють до спірального потоку вторинного газу і опускаються у нижню частину апарату та видаля-

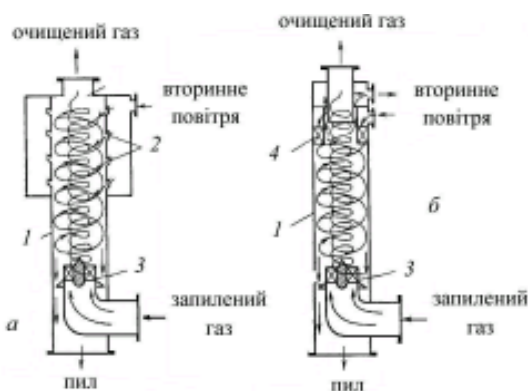


Рис.5. Вихрові пилоуловлювачі: а – соплового типу; б – лопаточного типу

ються з нього. Такі прямоточні апарати дозволяють очищувати повітря від фракцій < 3...5 мкм з високою ефективністю.

1.5. Ротаційні пилоуловлювачі

Особливістю ротаційних пилоуловлювачів є вплив на процес очищення крім відцентрових сил також сил Коріоліса, що виникають внаслідок обертання робочого колеса вентилятора (рис.6,*а*) або полого ротора (рис.6,*б*). Відповідно напрямок частинок, що видаляються, співпадає або протилежний руху газу.

В апаратах першої групи (див. рис.6,*а*) запылений газ потрапляє в центральну частину робочого колеса 1, яке обертається у спіралеподіб-

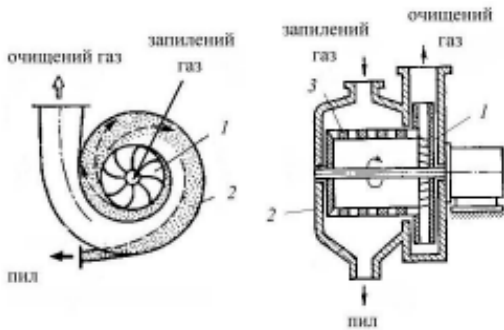


Рис.6. Роторні пилоуловлювачі: *а* – першої групи; *б* – другої групи;
1 – робоче колесо; 2 – кожух; 3 – ротор

ному кожусі 2. При цьому частинки пилу відкидаються до стінок кожуха і відводяться через спеціальний патрубок. В апаратах другої групи при обертанні ротору 3 з перфорованою боковою поверхнею запылений газ всмоктується в його середину. Частинки пилу відкидаються від поверхні ротору в радіальному напрямку та видаляються з апарату, а очищене повітря спрямовується робочим

колесом 1 у вихідний патрубок. Ефективність уловлювання пилу визначається співвідношенням сил аеродинамічного опіру газового потоку та відцентрових сил.

2. ЕЛЕКТРОФІЛЬТРИ

Дія електрофільтрів основана на електростатичному осадженні шкідливих речовин внаслідок пропускання між коронуючим та осаджувальним електродом постійного току високої напруги. При цьому газ іонізується, частинки пилу також набувають заряду і рухаються в напрям-

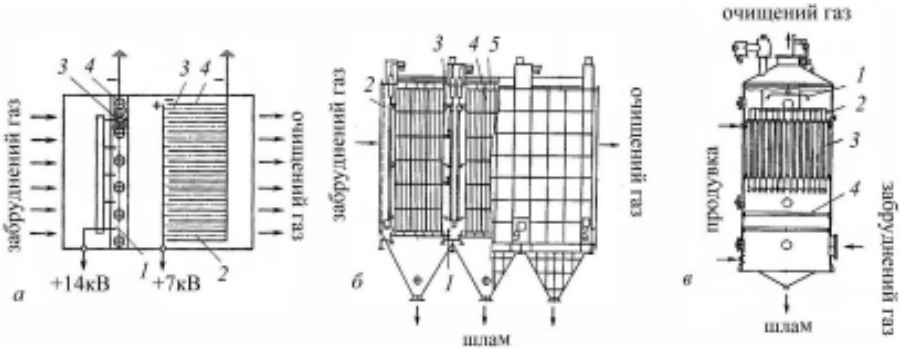


Рис.7. Электрофильтры:

а – двозонный: 1 – ионизатор; 2 – осаживач; 3 – коронующий электрод; 4 – осаживальный электрод;

б – электрофильтр ЕГА: 1 – механизм струшування осаживальных электродов; 2 – розподільні ґратки; 3 – механизм струшування коронующих электродов; 4 – коронующий электрод; 5 – осаживальный электрод;

в – электрофильтр ПГ-8: 1 – колектор промивки; 2 – коронующий электрод; 3 – осаживальный электрод; 4 – розподільні ґратки

ку осаживального электроду, де розряджуються та осідають. Потім электроды очищаются від пилу зтрушуванням або змиванням. Для ефективного осадження потрібне неоднорідне електричне поле, для чого коронующий электрод виготовляють у вигляді дроту, а осаживальный – у вигляді труб або пластин різної конфігурації. Электрофильтры (див. рис.7) включають в себе порівняно велику кількість электродов, але для рівномірного розподілу повітря між ними потрібні спеціальні пристрої, наприклад, ґратки.

Промислові электрофильтры поділяються на однозонні, де зарядження і осадження частинок відбувається в одній зоні, і двозонні, де ці процеси йдуть окремо в іонизаторі та осаживачі (рис.7,*а*). В залежності від електричних полів, крізь які проходить газ при очищенні, электрофильтры бувають одно- та багатопольні; за напрямком руху газу – горизонтальні (рис.7,*в*) та вертикальні (рис.7,*б*); за конструкцією осаживального электроду – трубчасті (див. рис.7,*б*) та пластинчасті (рис.7,*в*); за засобом видалення осаджених частинок – сухі (див. рис.7,*б*), коли вони видаляються зтрушуванням, та мокрі (рис.7,*в*), коли вони змиваються зрошувальною рідиною; за кількістю паралельно працюючих секцій – одно- і багатосекційні.

Сухі електрофільтри дозволяють уловлювати тверді частинки, а мокрі – як тверді, так і рідкі – туман чи крапельну вологу будь-яких розмірів з високою ефективністю – до 90%, а у деяких випадках до 99,9%.

3. ФІЛЬТРИ

Сучасні фільтри умовно поділяють на три класи. Фільтри тонкого очищення – уловлюють з високою (> 99 %) ефективністю субмікронні частинки з низькою (< 1 мг/м³) вхідною концентрацією, мають малу швидкість фільтрації, не регенеруються. Повітряні фільтри – застосовують у системах вентиляції і кондиціонування повітря при концентрації пилу менше як 50 мг/м³ і високих швидкостях фільтрації, можуть підлягати або не підлягати регенерації. Промислові фільтри – використовують для очищення промислових газів концентрацією до 60 г/м³, регенеруються.

Фільтруючі пористі перегородки поділяються на гнучкі, напівжорсткі та жорсткі, крім того застосовуються зернисті шари матеріалів.

3.1. Тканеві фільтри

Фільтри з гнучкими пористими перегородками є найбільш поширеними з промислових фільтрів. Вони класифікуються за такими ознаками:

–за формою тканевих фільтроелементів (рукавні, плоскі, клинові) та наявністю опорних пристроїв (каркасні);

–за тиском у апараті: під розрідженням і під тиском;

–за засобом регенерації тканини: зтрусунням, зворотнім продуванням,

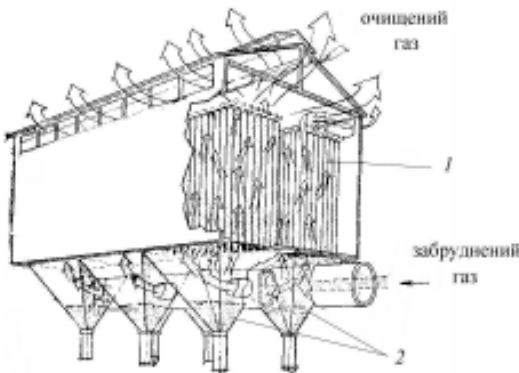


Рис.8. Промисловий рукавний фільтр

- віброзтрушуванням, імпульсним продуванням стислим повітрям;
- за кількістю секцій в установці: однокамерні та багатосекційні;
- за видом тканини: бавовняні, нитронові, вовняні, лавсанові, склотканеві;
- за типом фільтруючого матеріалу: звичайні тканини та повсті.

Найбільш поширеними є рукавні фільтри (рис.8), що мають багато секцій, які поперемінно працюють у режимах фільтрування та регенерації. Рукави 1 розміщені у механічному корпусі так, що верхні їх кінці заглушені та підвішені до рами. Забруднене повітря поступає через патрубок у нижню частину апарату, фільтрується крізь стінки рукавів, проходить у збірний колектор і далі на викид. Пил, що осідає на рукавах, видаляється у режимі регенерації шляхом зтрушування рами за допомогою спеціального механізму або зворотнього продування стислим повітрям. Потім пил потрапляє до бункерів 2, звідки вигружується шнековим механізмом.

3.2. Волокнисті фільтри

Це фільтри об'ємної дії, що розраховані на уловлювання частинок, здебільшого по всій глибині шарів різної товщини, де однорідно розподілені волокна. Їх умовно поділяють на тонковолокнисті, глибокі та грубоволокнисті.

Найбільше поширення з тонковолокнистих фільтрів знайшли матеріали типу ФП (Фільтри Петрянова) з полімерних смол різного хімічного складу. Фільтри здебільшого мають рамкову конструкцію (рис.9,а). Стрічку фільтрувального матеріалу 4 укладають між П-подібними пластинами 1, які розміщені по висоті апарату поперемінно відкритими та закритими сторонами по відношенню до руху газу. Для запобігання злипанню стрічки між її шарами встановлюють гофровані роз-

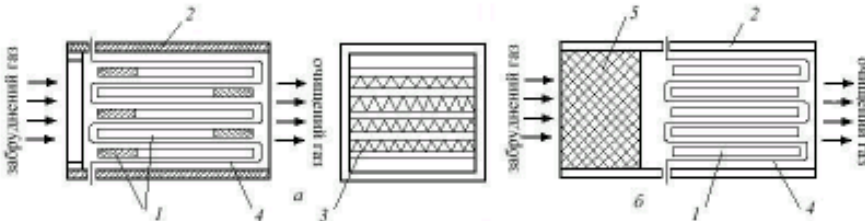


Рис.9. Фільтри тонкого очищення: а – рамний; б – комбінований

дільники 3. Забруднені гази поступають з відкритого боку фільтру, проходять крізь матеріал та виходять з протилежного боку. Часто апарати включають передфільтр з грубоволокнистого матеріалу 5 (рис.9,б), що дозволяє збільшити час їх роботи (комбіновані фільтри). З тією ж метою глибокі фільтри виконують багат шаровими, з тонкого шару грубих волокон і більш тонкого замикаючого шару тонких волокон зі змінною щільністю упакування.

Усі зазначені групи фільтрів (за винятком передфільтрів) належать до фільтрів тонкого очищення. Грубоволокнисті фільтри (лавсанові або скловолокнисті) є промисловими фільтрами, мають високу пилоємність, низький гідравлічний опір і здатні уловлювати субмікронні частинки після часткового забивання.

Повітряні волокнисті фільтри, що можуть уловлювати частинки розміром до 3...5 мкм, називаються масляними, тому що для запобігання унесенню осаджених частинок з фільтру їх перегородки промаслюються.

Найбільш поширені є касетні фільтри з металевими гофрованими сітками або скляними чи синтетичними волокнами, що закріплені в металевій коробці. Більш ефективними є самоочищувальні автоматичні фільтри безперервної дії з автоматичною регенерацією чи заміною фільтруючої поверхні. У самоочищувальних масляних фільтрах (рис.10,а) фільтруючі безкінечні стрічки 1 безперервно рухаються у вертикальній площині, періодично занурюючись у масляний бак 4, де про-

миваються за допомогою спеціального механізму 6 та промаслюються, а шлам, що утворюється, видаляється шнеком 5. У сучасних конструкціях запилений газ послідовно проходить через декілька фільтрувальних стрічок, чим забезпечується вища ефективність очищення. У рулонних автоматичних фільтрах (рис.10,б) фільтруючий матеріал 2 намота-

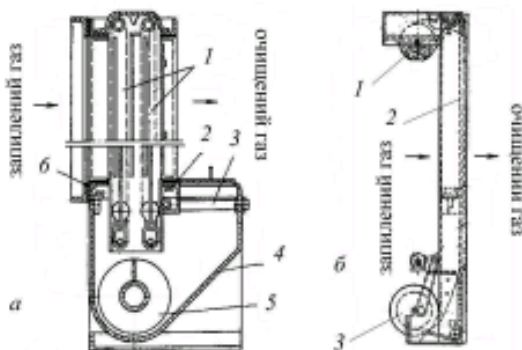


Рис.10. Повітряні фільтри:

а – самоочищувальний масляний; б – рулонний автоматичний фільтр

ний на котушки. По мірі забруднення матеріал переміщується через отвір для проходу повітря з верхньої котушки і намотується на нижню. Після забруднення всього ролону він замінюється на новий.

Механізм осадження в цих фільтрах переважно інерційний. В деяких фільтрах при русі газу внаслідок їх електризації суттєвим є електростатичний ефект – т. зв. електростатичні фільтри. За принципом дії та конструкцією до сухих волокнистих фільтрів близькі губчасті з модифікованого пінополіуретану. За ефективністю уловлювання вони відповідають масляним.

Волокнисті фільтри – туманоуловлювачі (рис.11), крім загальних механізмів фільтрації затримують краплини за рахунок їх коалесценції з утворенням плівки рідини, що видаляється у вигляді струминок, які рухаються усередині шару чи з його тильної сторони внаслідок гравітаційних, капілярних або гідродинамічних сил. Таким чином, уловлена рідина безперервно відводиться з апарату (режим самоочищення).

За основним механізмом осадження виділяють низькошвидкісні, тобто дифузійні з тонкими волокнами (поліпропілен, скловолокно), та високошвидкісні туманоуловлювачі, тобто інерційні з грубими волокнами (поліпропиленові, лавсанові, повстяні) або сітками (рис.11,б). Перші працюють зі швидкістю газу до 0,15 м/с, мають ефективність очищення до 99,99 % і складаються з 5...100 елементів (рис.11,а). Елемент складають дві співвісні циліндричні сітки 3, простір між якими заповнений волокном 2. Сітки приварені до вхідного патрубку-фланця 1 та дна, яке обладнане трубою, зануреною у стакан-гідрозатор, з якого уловлена рідина перетікає до корпусу апарату. Високошвидкісні фільтри мають менші габарити і вартість, але й нижчу ефективність. Їх конструкції розрізняються за напрямком газового потоку, наявністю промивання чи переміщення фільтроелементу. Туман уловлюється за допомогою перфорованого барабана 1 з глухою кри-

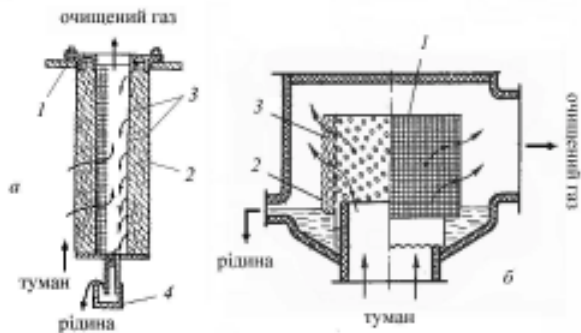


Рис.11. Фільтри-туманоуловлювачі:

а – елемент низькошвидкісного туманоуловлювача;
б – високошвидкісний туманоуловлювач

шкою, в якому встановлено грубоволокнисту повсть 2. Фільтроелемент затримує краплини, які стікають і накопичуються в нижній частині апарату, утворюючи шар рідини. Для запобігання унесенню краплин використовується бризкоуловлювач 3, що представляє собою набір плоских та гофрованих шарів вінілпластових стрічок. Застосовуються також двоступенчасті туманоуловлювачі. Для уловлювання рідких частинок розміром до 5 мкм використовують краплеуловлювачі з пакетів в'язаних металічних сіток.

3.3. Зернисті фільтри

Різновидами зернистих фільтрів є зернисті насипні де уловлюючі елементи жорстко не пов'язані один з одним і утворюють статичні, динамічні, або псевдозріджені шари та жорсткі пористі, де зерна внаслідок спікання або склеювання утворюють міцну нерухому систему.

В насипних фільтрах як насадку використовують пісок, шлак, подрібнені гірські породи, крішку гуми, пластмаси та стандартні насадки.

Установки бувають безперервної та періодичної дії. Останні роблять багатосекційними з регенерацією частини секцій, наприклад, вібрацією (рис.12,*а*). Тут контейнер з сітчастим дном встановлений на чотирьох пружинах 4 і з'єднаний з вібратором 3. В контейнер засипано два шари фільтруючого матеріалу: нижній 2 зі сталеві стружки та верхній 1 з гравію, проходячи крізь які знизу забруднене повітря очищується. При регенерації вхід запыленого повітря перекривають і в зворотньому напрямку пропускають продувочне повітря, а контейнеру з фільтруючими шарами надають вібраційного руху. Пил потрапляє до бункера і видаляється з нього шнеком 5.

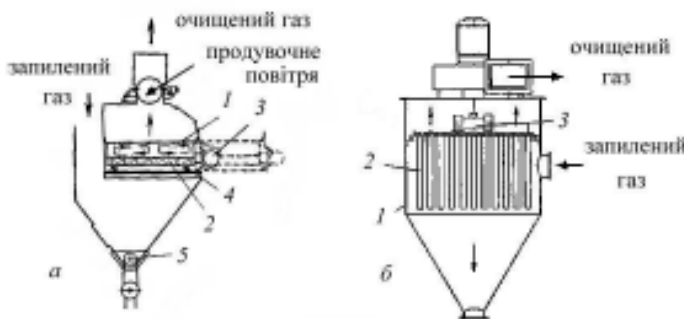


Рис.12. Зернисті фільтри:

а – насипний з вібраційною регенерацією; *б* – з пористими полівінілхлоридними патронами

ручючими шарами надають вібраційного руху. Пил потрапляє до бункера і видаляється з нього шнеком 5. Установки виготовляють багатосекційними, аналогічно рукавним фільтрам.

Жорсткі фільтри мають пористі перегородки з кераміки, металів або пластмас у вигляді труб, листів, дисків, що закріплюються у ґратках (рис.12,б). Принцип дії апаратів такий же, як і в рукавних фільтрах. Регенерація проводиться пропусканням у зворотньому робочому потоку напрямку повітря, гарячих газів, пари, рідини або простукуванням чи вібрацією ґраток.

Зернисті фільтри використовують для очищення високоагресивних газових потоків з високою температурою, а жорсткі крім того – при високому тиску та значних механічних навантаженнях.

4. СКРУБЕРИ

Скрубером називають апарат, в якому для відділення дисперсної або газоподібної домішки від газу використовується рідина. Скрубери знайшли широке застосування в процесах мокрого пилоуловлювання, абсорбційного газоочищення, охолодження та інших.

При пилоуловлюванні зрошуючою рідиною є вода. Інколи, з метою підвищення ефективності процесу, додають поверхнево-активні речовини, проте це не завжди позитивно впливає на процес уловлювання. В процесах абсорбції вода використовується для зрошування в тому випадку, коли речовина, що уловлюється (HCl , HF , SiF_4 , деякі органічні з'єднання), добре розчиняється у воді. Іноді використовують підкислену воду, а також лужні розчини NaOH (для абсорбції SO_2 , Cl_2 , H_2S). Крім того, в залежності від властивостей домішок, можуть бути застосовані органічні з'єднання: метанол, аміни, масла, водний розчин вапна, солі магнію, літію, натрію, аміачна вода, карбонати, рідкий азот та ін. Вибір абсорбенту залежить від властивостей домішок, передусім від його розчинності у тій чи іншій рідині, або реакційної властивості по відношенню до неї. Так для уловлювання CO_2 застосовується вода, водні розчини вапна, лужні стічні води (Ca(OH)_2 , NaOH), магнезит, суспензія оксиду цинку, сульфат натрію та інші його солі, аміачна вода, розплави солей літію, натрію. Від сірководню газу очищуються за допомогою карбонатів Na і K , аміачного розчину As_2O_3 , зависі гідроксидів заліза, етаноламінів; від сірковуглецю і меркаптанів – лужними розчинами; від оксидів азоту – водою, розчинами луг та солей; від галогенів та їх з'єднань – водою, вапнистим молоком, розчинами луг та органічних речовин.

Оскільки інтенсивність уловлювання залежить від величини по-

верхні контакту фаз, площу скрубєрів при розробці намагаються підвищити різними засобами, залежно від яких апарати можна поділити на три групи:

- поверхневі скрубєри, де поверхнею контакту є дзеркало рідини, або поверхня плівки рідини, що стікає, наприклад по насадці;

- барботажні, де поверхня контакту утворюється потоками газу, що розподіляються в рідині у вигляді бульбашок або струминок внаслідок проходження його крізь заповнений рідиною апарат, спеціальні тарілки чи рухливу зрошувальну насадку;

- розпилюючі, де контакт здійснюється при розпиленні рідини в масі газу на дрібні краплини форсунками, механічними засобами або течією газу, що рухається з високою швидкістю.

4.1. Поверхневі скрубєри

Найпростішею конструкцією цих апаратів є поверхневий абсорбер, де газ проходить над поверхнею нерухокої або повільно текучої рідини, наприклад, у системі каналів. Ці апарати малоефективні і використовуються переважно для абсорбції компонентів, що добре розчиняються

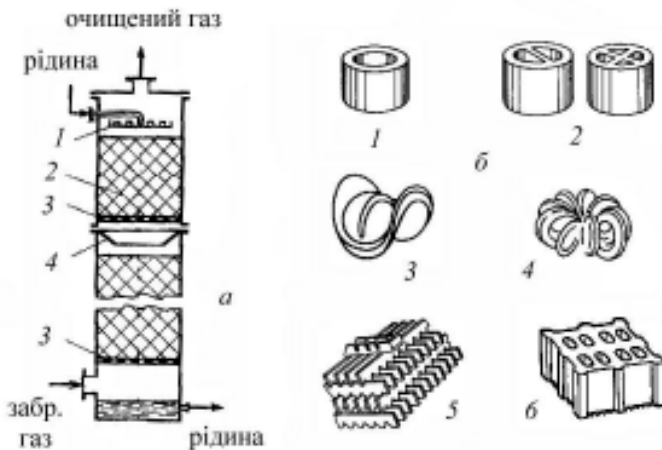


Рис.13. Насадковий скрубєр:

a – схема: 1– зрошувач; 2 – насадка; 3 – опорні ґратки; 4 – перерозподільник; *б* – типи насадок: 1 – кільце Рашига; 2 – кільця Лесіґа; 3 – седло Берля; 4 – телєрівська; 5 – хордова; 6 – блочна

у невеликих їх об'ємах. Це стосується і плівкових скрубєрів, де газ і рідина стикаються на поверхні рідкої плівки, яка тече по вертикальним трубам або пластинам прямо або протитечією.

Натомість широкое застосування знайшли насадкові скрубєри-колони, що завантажені насадкою різної форми (рис. 13), яка зрошується зверху рідиною, і на змоченій поверхні якої відбувається масообмін з газом, що рухається знизу.

В залежності від щільності зрошення і швидкості газу насадкові скрубєри можуть працювати у плівковому режимі масообміну на поверхні насадки; режимі підвисання, коли рідина гальмується газовим потоком та змочувальна поверхня зростає; емульгування, коли внаслідок накопичення у вільному об'ємі насадки настає інверсія фаз – рідина (дисперсійна фаза) і газ (дисперсна) утворюють емульсію (піну). Найбільш ефективний режим у кожному випадку визначається техніко-економічним аналізом.

4.2. Барботажні скрубєри

У техніці газоочищення та пилоуловлювання зі скрубєрів цього типу найбільше застосування знайшли абсорбери тарільчастого типу та з рухливою насадкою. Тарільчасті скрубєри мають горизонтальні перегородки – переливні або провальні тарілки, які розміщені на певній відстані одна від одної і забезпечують спрямований рух рідини і газу та їх багаторазову взаємодію.

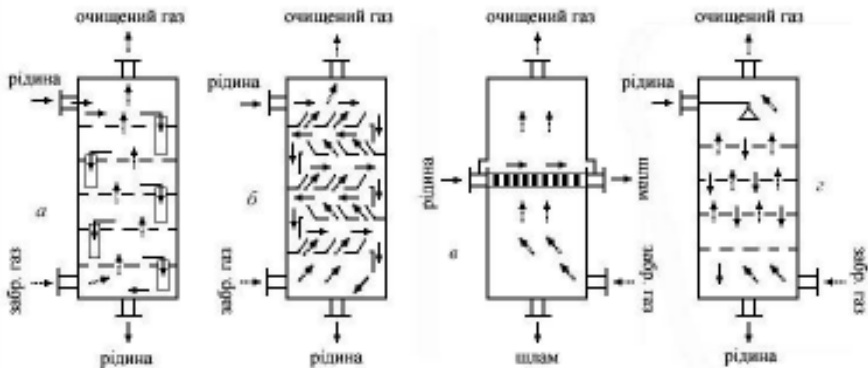


Рис.14. Типи тарільчастих скрубєрів:

a – з тарілками з перехресною течією; *б* – з рухом газу і рідини в одному напрямку; *в* – пінний; *г* – з провальними тарілками

У тарілках першого типу газ і рідина рухаються перехресним струменем (рис. 14,*а*) або в одному напрямку (рис. 14,*б*). Переливання рідини з тарілки на тарілку здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, наприклад, трубок, так що рідина на сусідніх тарілках рухається у протилежних напрямках. Газ поступає знизу і послідовно проходить крізь отвори кожної тарілки, перемішуючись з шаром рідини на ній. При контакті газу з рідиною відбувається масообмін – видалення з газу шкідливої речовини. Очишений газ виводиться з верхньої частини апарату.

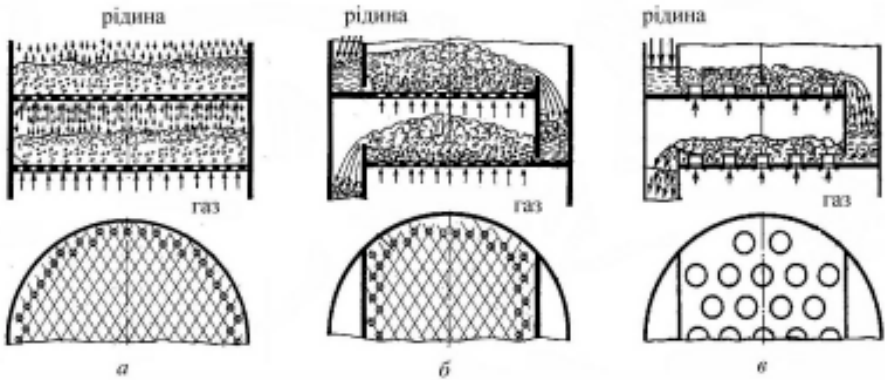


Рис. 15. Конструкції тарілок:

а – провальні; *б* – сітчаті переточні; *в* – клапанні.

У пилоуловлюванні можуть застосовуватися також пінні апарати (з підпиранням піни) (рис. 14,*в*), що є різновидом апаратів з перехресним рухом. У провальних тарілках газ і рідина проходять крізь одні й ті ж отвори (див. рис. 14,*в*). Існують і тарілки інших типів. Конструкції деяких тарілок зображено на рис. 15.

Тарілки з переливними засобами з підвищенням швидкості газу послідовно працюють у бульбашковому, пінному та інжекційному режимах. Найкращим з точки зору ефективності масообміну є пінний режим, при якому контакт між газом і рідиною відбувається на поверхні бульбашок газу і крапель рідини.

Провальні тарілки ефективно працюють в інтервалі швидкостей газу, при яких він барботує крізь шар рідини, що накопичується на тарілці (газ і рідина поперемінно проходять крізь ті ж самі отвори).

В скруберах з рухливою насадкою масообмін відбувається на повер-

хні легких насадкових тіл, наприклад, пластмасових куль. При подачі під опорні ґратки 1 в нижній частині апарату газу з певною швидкістю (рис.16) насадка 2 підіймається з ґраток, утворюючи псевдозріджений шар. Рідина, в свою чергу, зрошує насадку зверху за допомогою розпилювача 4. Хаотичні переміщення насадки сприяють турбулізації шару, а, відтак, і інтенсифікації масообміну, а також очищенню її елементів. Для запобігання внесенню насадкових тіл служать обмежувальні ґратки 3, а унесенню краплин рідини – бризкоуловлювач 5. Застосування зазначених апаратів особливо ефективно для очищення запиленого газу, тому що, внаслідок інтенсивного руху насадки, вона не забивається твердими частинками.

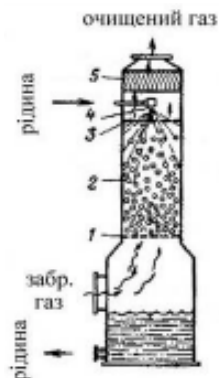


Рис.16. Скрубер з рухливою насадкою

4.3. Розпилюючі скрубери

Апарати цього типу поділяються, в залежності від способу розпилення рідини, на порожнисті (форсункові), швидкісні і механічні. В порожнистих скруберах розпилювання проходить за рахунок енергії рідини, що диспергується за допомогою форсунок, сопел і т.ін. в вертикальних і

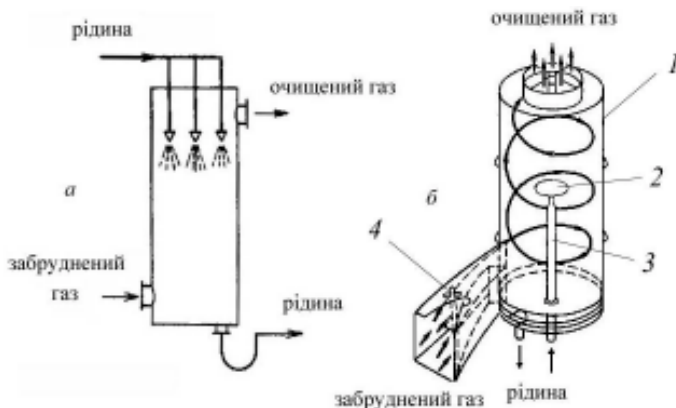


Рис.17. Порожністі скрубери:

а – форсунковий; *б* – циклонний:

1 – корпус; *2* – центральний диск; *3* – розпилюючий патрубок; *4* – заслонка.

горизонтальних камерах, де відбувається її контакт з забрудненим газом (рис.17,*а*). Для поліпшення рівномірності розподілу газу і використання ефекту плівкового поглинання застосовують скрубери циклонного типу (рис.17,*б*). Запилений газ тангенціально подається у нижню частину апарату і рухається в гору по гвинтовій лінії, а поглинач розбрискується через форсунки, встановлені на патрубку 3, відбиваючись від центрального диску 2. Уловлювання забруднень відбувається як плівкою рідини на стінках корпусу 1, так і краплинами поглинача в об'ємі скрубера.

В швидкісних розпилюючих скруберах рідина диспергується за рахунок кінетичної енергії газового потоку, що рухається з великою швидкістю (40...150 м/с). В цих апаратах розпилення відбувається або при струменевому чи плівковому режимі течії рідини (як правило у трубі Вентурі) (рис.18,*а*), або при ударі газу, що рухається з великою швидкістю, об поверхню рідини (рис.18,*б*). У трубі Вентурі газ, потрапляючи в конфузур, внаслідок поступового зменшення поперечного перетину поступово набуває великої швидкості, яка може досягати у горловині 3 значення 150 м/с. При подачі до такого потоку рідини остання буде розпилюватися до краплин невеличкого розміру, а також буде інтенсивно турбулізуватися. Таким чином, швидкість поглинання домішок зростатиме як за рахунок збільшення поверхні масообміну, так і за рахунок зростання швидкості турбулентної дифузії. В подальшому потік газу і рідини проходить через конфузур 4, де його швидкість (у зв'язку з розширенням труби) зменшується, до сепаратора 5, наприклад, циклонно-

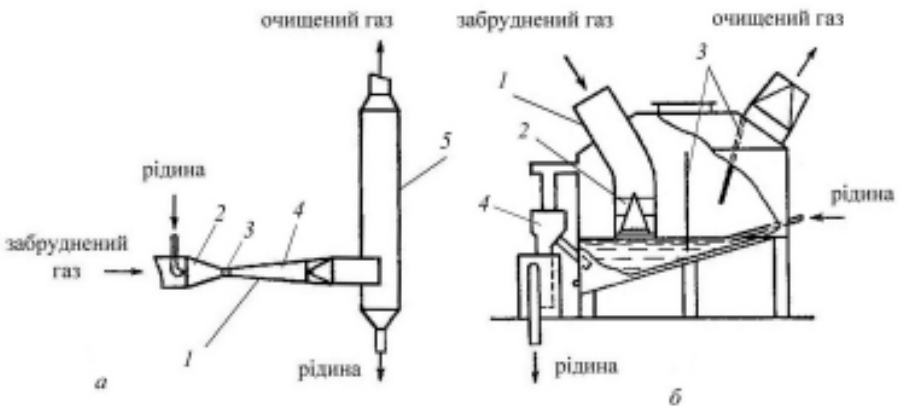


Рис.18. Швидкісні скрубери:
а – скрублер Вентурі; *б* – скрублер Дойля

го типу. Тут швидкість потоку різко падає, краплини рідини разом з поглинутими забрудненнями відділяються від газу та видаляються з нижньої частини апарату. Рідина *b* до труби Вентурі може подаватися у вигляді плівки, що переливається через край конфузору, у вигляді струминок рідини, що подаються через установлені по периферії горловини форсунки, сопла або отвори, або у вигляді струменя що подається через форсунки, розміщені біля горловини, або перед нею (див. рис.18,*a*). У скрубєрі Дойля (див. рис.18,*б*) газ поступає через трубу *1* у нижній частині якої встановлені конічні сопла *2* для прискорення газового потоку. В результаті забруднений газ з досить високою швидкістю (35...55 м/с) вдаряється об поверхню рідини, що подається у нижню частину апарату, утворюючи піну з розвинутою поверхнею масообміну. Далі очищений газ минає перегородки *3*, що служать для сепарації краплин рідини за рахунок інерційних сил та виходить через патрубок у верхній частині апарату, а вода видаляється за допомогою зливного пристрою *4*.

В механічних скрубєрах рідина розпилюється за рахунок підведення механічної енергії за допомогою дисків, занурених конусів, перфорованих циліндрів, лопатей, що насаджені на горизонтальні або вертикальні вали (рис.19,*б*). Так у механічному адсорбєрі з горизонтальним валом *1* (рис.19,*a*) на останньому закріплені диски *2*, які частково занурені у рідину-поглинач і при обертанні захоплюють та розбризкують її. Газ рухається паралельно вісі, очишуючись при контакті з краплинами поглинача і відділяючись від останніх при зміні напрямку руху навколо перегородок *3*. До апаратів цього типу відносяться також роторні відцентрові скрубєри. В них рідина-поглинач подається у центр ротора *2* – горизон-

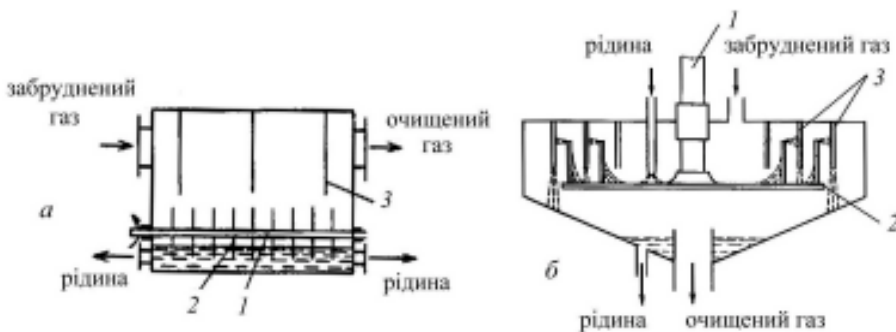


Рис.19. Механічні скрубєри:
a – дисковий скрубєр; *б* – відцентровий скрубєр

тального диска з концентричними лопатями, насадженого на вал 1 , що рухається. Статор також має лопаті 3 розміщені між лопатями ротору. При обертанні валу рідина переливається через кромку центральної лопаті ротору, розпилюється, потрапляє на нерухому лопать, зтікає з неї, розпилюється наступною лопаттю ротору і т.д. З останньої лопаті статора рідина потрапляє на стінку апарату та зтікає з неї вниз. Газ також подається у центральну частину ротора і рухається до периферії, проходячи через ряд аерозольних систем між нерухомими та рухомими лопатями, очишуючись від забруднень.

Для уловлювання пилу найбільш ефективним є використання скруб'єрів Вентурі. Широке застосування знайшли пінні, порожнисті, ударно-інерційні апарати, а також пилоуловлювачі з рухливою насадкою. Високоєфективне очищення повітря від газоподібних домішок досягається у різних типах насадкових, тарільчастих і швидкісних абсорберів.

5. АДСОРБЕРИ

Адсорбери – це апарати, в яких видалення з газового середовища газо- та пароподібних домішок відбувається внаслідок поглинання поверхневим шаром твердих речовин – адсорбентів.

Адсорбери поділяються на апарати періодичної дії (з нерухомим шаром адсорбенту) та безперервної дії – з шаром адсорбенту, що рухається або знаходиться у псевдозрідженому стані. В якості адсорбентів переважно використовуються активоване вугілля, силікагелі ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), алюмогелі ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), цеоліти ($\text{Me}_{2/n}\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$) та іоніти. Вибір типу адсорбенту зумовлений його здатністю до поглинання конкретного забруднення, а також особливостями проходження процесу.

Адсорбери з нерухомим шаром адсорбенту знайшли найбільш широке застосування у техніці газоочищення. При невеликих витратах парогазової суміші здебільшого використовують вертикальні (рис.20,а) а при великих – горизонтальні або кільцеві конструкції. Адсорбент розміщують на ґратках, а подачу газу здійснюють зверху вниз. Після повного насичення адсорбенту подачу парогазової суміші припиняють, і у зворотньому напрямку крізь шар поглинача пропускають десорбуючий агент. Якщо останнім є водяна пара, то після закінчення десорбції шар адсорбенту спочатку сушать, а потім охолоджують, пропускаючи крізь

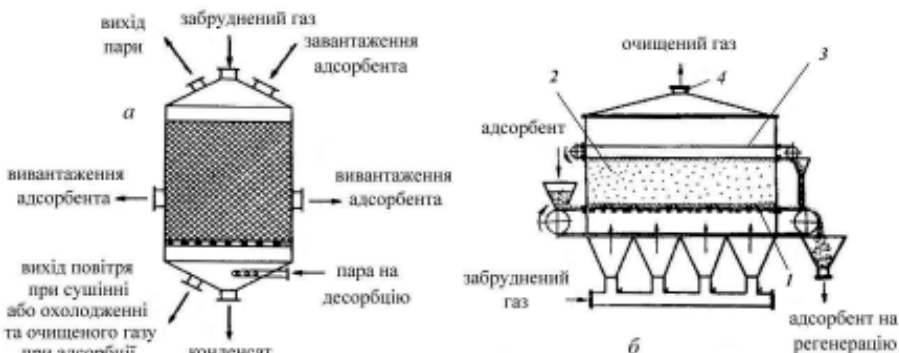


Рис.20. Конструкції адсорберів:

a – періодичної дії; *б* – з шаром адсорбенту, що рухається.

нього зверху вниз відповідно гаряче та холодне повітря. Сконденсована пара видаляється з нижньої частини апарату. Рекуперативні установки, як правило, включають в себе декілька таких апаратів, в кожному з яких послідовно проходять фази адсорбції, десорбції (регенерації поглиначем витісненням або випарюванням), сушіння (нагрітим повітрям) і охолодження (атмосферним повітрям). Існують установки, що працюють по трифазному (без сушіння або охолодження) або двофазному (адсорбція і десорбція) циклам. У будь-якому випадку частина адсорбентів постійно працює у режимі поглинання, так що установка діє безперервно.

Адсорбери безперервної дії можуть мати вигляд насадкової або тарільчастої колони (див. рис.13,14), куди протитечею подають адсорбент і газ, або фільтра з гранульованим шаром адсорбенту, що рухається, наприклад, за допомогою транспортеру вздовж апарату (рис.20,б). Забруднений газ подається у нижню частину адсорберу та проходить через розподільчі ґратки 1 та шар адсорбенту 2 і виводиться через вихідний штуцер 4. Для зниження винесення пилу з відхідними газами служить стрічковий фільтр 3. Апарати з псевдозрідженим шаром невеликих частинок адсорбенту бувають багатоканальними і, рідше, одноканальними. Всі установки безперервної дії повинні мати спеціальні десорбери, осушувачі та охолоджувачі або відповідні відділення у адсорбері. Так адсорбційна установка (рис.21) включає в себе адсорбер 1 та десорбер 2, що мають циліндричні корпуси з конічними днищами та розширеним сепараційним простором 5 у верхній частині. Газ, що поступає на очищення, змішується з регенованим поглиначем і поступає в ниж-

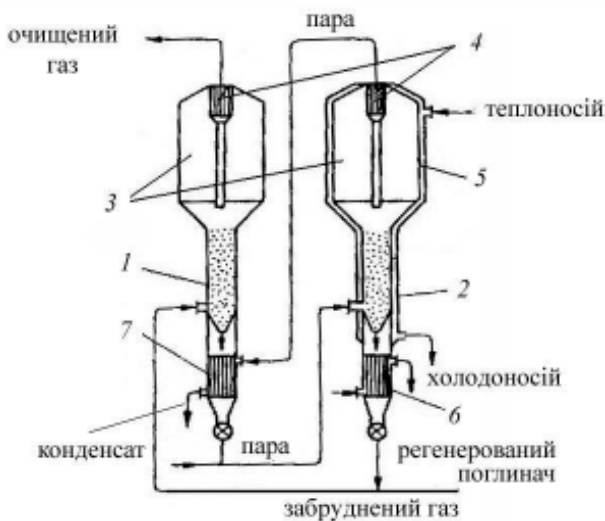


Рис.21. Установка для адсорбції і десорбції у псевдозрідженому шарі сорбенту

ню частину адсорберу 1 зі швидкістю, що відповідає режиму утворення псевдозрідженого шару. Після очищення газ через циклон 4 виводиться з апарату. Відпрацьований поглинач підігрівається у теплообміннику 7, видаляється з нижньої частини адсорберу, захоплюється десорбуючим агентом (водяною паром) і по трубі подається до десорберу 2 зі швидкістю, необхідною для підтримання адсорбенту у псевдозрідженому

стані. Десорбер підігрівається теплоносієм через оболонку 5, і під дією високої температури сорбент регенерується та після охолодження у холодильнику 6 повертається у цикл. Суміш парів води та десорбованих речовин через циклон 4 поступає в теплообмінник 7, де використовується як теплоносії і далі виводиться у конденсатор.

Протиструменеві колони мають обмежене застосування. Агрегати типу зображеного на рис.20,б ефективні при очищенні газів з високою концентрацією забруднюючих речовин. Адсорбція у псевдозрідженому шарі ефективна у багатостадійних процесах. Для підвищення ефективності адсорбційних апаратів розроблено комбіновані конструкції, де частина адсорбенту рухається, а частина знаходиться у псевдозрідженому стані, а також установки з віброкиплячим шаром, механічним перемішуванням, імпульсним подаванням адсорбенту та ін.

Адсорбційні методи дозволяють з високою ефективністю очищувати гази з порівняно невисокою концентрацією забруднюючих речовин.

6. ІОНООБМІННІ АПАРАТИ

Газоочищення в цих апаратах проводиться шляхом проходження забруднюючого газу через шар іонітів – високомолекулярних сполук, що мають просторову сітку з вуглеводних радикалів з фіксованими на ній катіоно- або аніонообмінними функціональними групами. При цьому відбувається комплекс сорбційних процесів. Іоніти періодично треба регенерувати промиванням водою або розчинами дешевих реагентів.

Найпоширенішими апаратами є іонітові фільтри, де полотно з іонітових волокон закріплено на вертикальних рамках, розділених порожніми каналами і розміщених у прямокутному корпусі, або (в установках безперервної дії) в секціях циліндричного ротору, що обертається навколо своєї вісі.

При цьому частина полотен працює у режимі поглинання, а інша – регенерації. Розроблено також апарати для поглинання домішок у псевдозрідженому шарі гранульованого іоніту з періодичною регенерацією лужними розчинами (рис.22).

Іонообмінні апарати здатні очищувати повітря від аерозолів, газів і парів з ефективністю до 98%.



Рис.22. Іонообмінний апарат з псевдозрідженим шаром іоніту

7. КАТАЛІТИЧНІ РЕАКТОРИ

Реактори, що використовуються у промисловості для очищення газів шляхом гетерогенного каталізу, є контактними апаратами поверхневого типу, з фільтруючим або зваженим шаром каталізатора або ж з пилоподібним каталізатором, що рухається.

Каталізатори для газоочищення виготовляють на основі міді, хрому, кобальту, марганцю, нікелю, платини, паладію та інших металів, що можуть бути нанесені на сітки або листи з нержавіючої сталі чи оксиду алюмінію, на керамічні стільники або ґратки, на гранули оксиду

алюмінію, або використовуватися безпосередньо у пилоподібному чи гранулоподібному вигляді.

Апарати поверхневого контакту з каталізатором у вигляді труб або сіток (рис.23,*а*) застосовуються тільки для швидких екзотермічних реакцій у зв'язку з невеликою активною поверхнею. Найбільш поширені реактори з фільтруючим шаром каталізатора, що нерухомо лежить на ґратках або у трубах і через які зверху або знизу пропускається забруднений газ (рис.23,*б*). Особливості конструкцій цих апаратів зумовлені переважно типом теплообмінників, необхідних для підтримання оптимального температурного режиму. Так використовуються внутрішні полицеві (ступеневий теплообмін у просторі між полицями) або трубчасті (безперервний теплообмін), а також зовнішні та комбіновані теплообмінники. Останнім часом широкого застосування набули апарати зі псевдозрідженим шаром каталізатора, які забезпечують кращу тепловіддачу за рахунок розміщення теплообмінника у киплячому шарі (рис.23,*в*), безперевне завантаження і вивантаження каталізатору і т.ін.

Установки з пиловидним шаром каталізатора забезпечують інтенсивне протікання реакції при русі потоку зависі каталізатора у забруд-

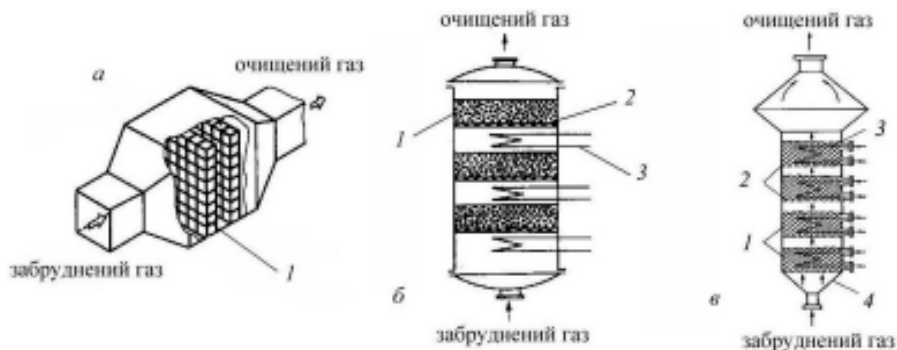


Рис.23. Контактні каталітичні апарати:

- а* – поверхневі: 1 – змінні ґратки з каталізатора;
- б* – з фільтруючим шаром каталізатора: 1 – фільтруючий шар; 2 – опорні ґратки; 3 – теплообмінники;
- в* – з псевдозрідженим шаром каталізатора: 1 – газорозподільчі ґратки; 2 – псевдозріджений шар каталізатора; 3 – теплообмінники; 4 – газорозподільчий конус

неному газі. Проте істотною вадою цих апаратів є винос частинок каталізатора, які треба уловлювати за допомогою циклона або електрофільтра і повертати у реактор.

8. АПАРАТИ ТЕРМІЧНОГО ЗНЕСКОДЖЕННЯ

8.1. Топкові пристрої

Топкові пристрої призначені для спалення органічного палива, тобто термічного окислення вуглеводневих компонентів до CO_2 та H_2 та зміни хімічної форми деяких інших шкідливих домішок.

Ці апарати використовуються для термічного знешкодження газових викидів. Промислове застосування знайшли камерні, циклонні печі зі струменевим змішенням газів, технологічні топки, регенеративні установки, а також комбіновані пристрої. В деяких конструкціях передбачено розміщення каталізатора у зоні реакції, а також установку рекуперативного теплообмінника з метою утилізації теплоти відхідних газів. Схеми камерних і циклонних печей зображено на рис.24,а,б. Камерна піч включає в себе камеру горіння 2 та камеру змішування 3, поєднану з газоходом 5. Забруднені гази потрапляють у камеру змішування, куди з топki надходять також продукти згоряння. При змішуванні цих потоків

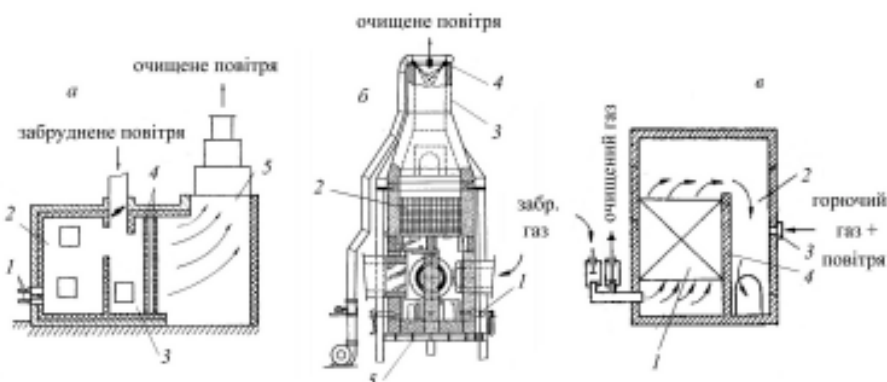


Рис.24. Топкова піч:

а – камерна піч; б – циклонна піч; в – регенеративна установка.

шкідливі компоненти окислюються до діоксиду вуглецю та води і через газохід та димову трубу видаляються в атмосферу.

У циклонну піч забруднений газ поступає через чотири діаметрально розташованих патрубка. Процес згоряння проходить у камері, де встановлено пальники 1. Через отвори 5 може подаватися повітря. Остаточне спалення шкідливих домішок відбувається на поверхні насадки 2 (шару битої цекли). Для регулювання тривалості проходження газу крізь шар через сопла 4 вдувають потік повітря. Знешкоджений газ виходить з димової труби 3.

В регенеративних установках (рис.24,в) забруднений газ спочатку підігрівається, проходячи крізь шари регенеративної насадки, а потім знешкоджується у камері згоряння і здійснює реверсивний рух, віддаючи тепло регенеративній насадці. Використання струменевого принципу утворення суміші компонентів згоряння забезпечує високоефективне знешкодження домішок у печах зі струменевим змішуванням.

Використання технологічних топков, наприклад котлів ТЕЦ, може бути ефективним для знешкодження агломераційних газів. Топкові пристрої застосовують для знешкодження газів від домішок, які токсичні та легко окислюються, або погано пахнуть, за умови, що відхідні гази не містять великої кількості речовин, що конденсуються, не утворюють вибухонебезпечних сумішей з повітрям і більш токсичних з'єднань при згорянні.

8.2. Факельні установки

Коли забруднюючі речовини (попутні гази, ацетілен, метан) неможливо знешкодити у печах, їх спалюють на висотних або наземних факельних установках.

До їх складу входять пальники, сепаратор для збору конденсата, факельні труби і регулююча арматура. Компоновка цих елементів залежить від тиску газової суміші, вмісту вологи та ряду інших факторів. Кисень може подаватися як у зону горіння, так і перед нею. Існують і комбіновані схеми.

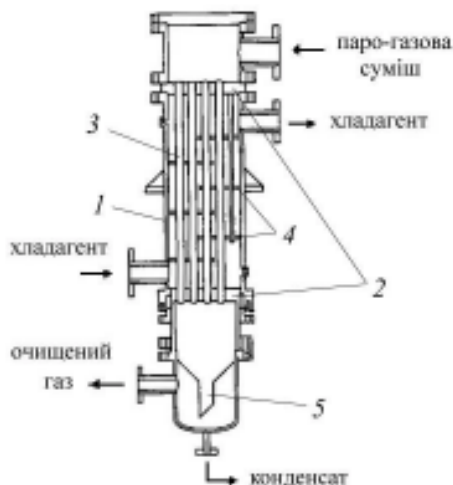
9. КОНДЕНСАТОРИ

Конденсаторами називаються теплообмінники, що призначені для переведення речовини з пароподібного стану у рідкий шляхом її охолодження.

Конденсацію проводять у поверхневих або контактних теплообмінниках. У контактних теплообмінниках газ безпосередньо стикається з холодоносієм. Найчастіше процес відбувається у скруберах аналогічних описаним у розд.4. Хладагент повинен погано змішуватися з речовиною, що конденсується, і мати низький тиск пари (для запобігання зворотнього масообміну). Важливим є питання недопущення утворення льоду в об'ємі конденсатора.

Поверхневі конденсатори використовують у тому випадку, коли пара, що конденсується, є основним компонентом газового потоку. Найчастіше використовують трубчасті теплообмінники з подачею хладагенту в середину трубок, які часто мають гофровану зовнішню поверхню. Можлива також конденсація парів у трубках 3 (рис.25), що закріплені у трубних ґратках 2. Парогазова суміш поступає у верхню частину конденсатора, розподіляється по трубках, і, поступово охолоджуючись хладагентом, що рухається протитечією у міжтрубному просторі, опускається вниз. Конденсат, що утворюється при цьому, відділяється від газу за допомогою конусної насадки 5. Для підвищення швидкості та збільшення шляху хладагенту у міжтрубному просторі служать перегородки 4. Крім вертикальних апаратів використовуються і горизонтальні, часто з нахилом для забезпечення стікання рідини. Інколи використовуються також теплообмінники з повітряним охолодженням.

Конденсація найбільш ефективна для осадження речовин, що ма-



ють достатньо високі температури кипіння в звичайних умовах і порівняно високу концентрацію (вуглеводні з'єднання). Для видалення більш летючих розчинів застосовується двостадійна конденсація з низькотемпературним охолодженням на другій стадії.

10. БІОФІЛЬТРИ

У біофільтрах очищення повітря здійснюється за рахунок аеробного або анаеробного розкладання та асиміляції шкідливих домішок мікроорганізмами.

Біофільтри можна поділити на земляні, з шаром зволоженого ґрунту, крізь який через перфоровані трубки пропускається забруднений газ (рис.26), і фільтри з інертною насадкою, на поверхні якої вирощується біоплівка. Апарати першого типу використовуються для видалення речовин, що погано пахнуть (аміак, метілмеркаптан) на м'ясокомбінатах, тютюнових і ферментних фабриках, для очищення відхідних газів каналізаційних камер.

Апарати другого типу, в залежності від процесів, що в них відбуваються, поділяються на аеробні і анаеробні. Вони застосовуються

для очищення відхідних газів, що утворюються при біологічній обробці стічних вод (метану, оксиду сірки та ін.). Конструктивно апарати представляють собою призматичний або циліндричний конус, в якому розміщена площинна (з листів, сіток, ґраток з металу, пластмаси, тканин) або об'ємна (керамзитова, гравійна) загрузка з біоплівкою,

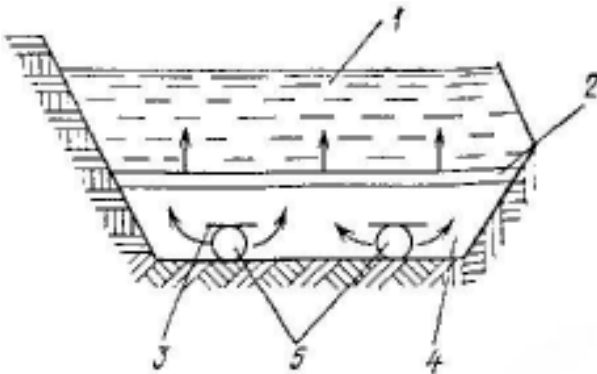


Рис.26. Біофільтр для дезодорації повітря:

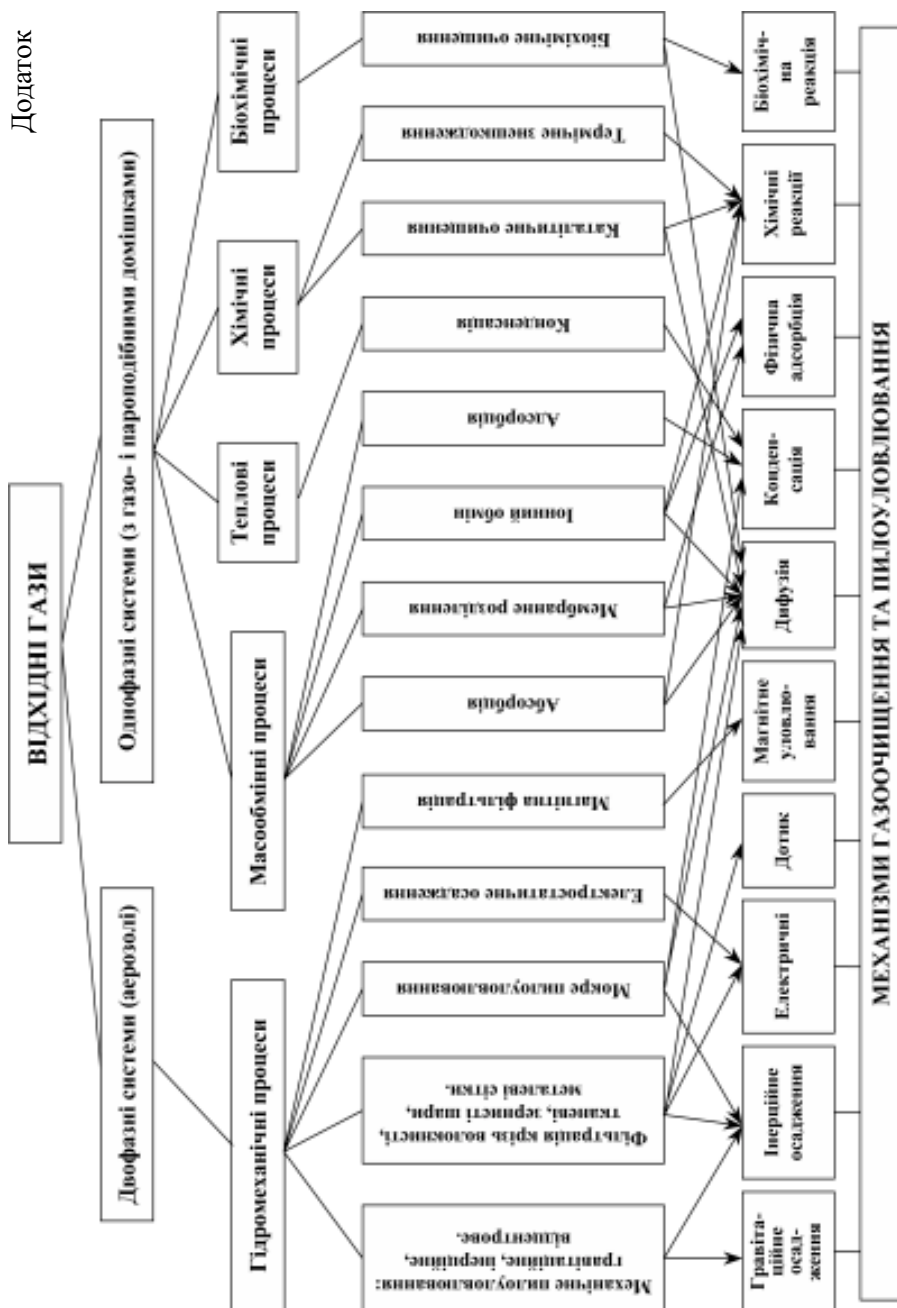
- 1 – свіжий компост; 2 – просіяний крупний компост;
- 3 – картон, просочений бітумом; 4 – крупний шлак;
- 5 – перфоровані бетонні труби

що має вигляд слизуватих обростань, утворених бактеріями, дріжджами, грибами, та іншими організмами. Апарати можуть бути багато-секційними, причому процеси в секціях можуть розрізнятися.

Крім біофільтрів для очищення газів від з'єднань сірки застосовуються абсорбери барботажного типу з водною суспензією активного мулу – колоїдної системи з живих організмів (бактерій, грибів, дріжджей і т.ін).

Рекомендована література

1. *Алиев Г.А.* Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. – М: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. *Балабеков О.С., Балтабаев Л.Ш.* Очистка газов в химической промышленности. – М: Химия, 1991. – 352 с.
3. *Дытнерский Ю.И.* Процессы и аппараты химической технологии. В 2-х ч. – М: Химия, 1995. – 466 с.
4. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. В 2-х ч. /Под редакцией *С. Калверта, Г.М. Инглунда.* – М: Металлургия, 1988. – 760 с.
5. Оборудование для санитарной очистки газов. / *И.Е. Кузнецов. и др.* – К: Техніка, 1989. – 304 с.
6. Оборудование и сооружения для защиты биосферы от промышленных выбросов. / *А.И. Родионов и др.* – М: Химия, 1985. – 352 с.
7. *Пирумов А.И.* Обеспыливание воздуха. – М: Стройиздат, 1981.– 296 с.
8. *Рамм В.М.* Адсорбция газов. – М: Химия, 1976 – 656 с.
9. Справочник по пыле- и золоулавливанню. / *Под ред. А.А. Русанова.* – М: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
10. *Страус В.* Промышленная очистка газов. – М: Химия, 1981. – 616 с.
11. Техника защиты окружающей среды. / *А.И. Родионов и др.* – М: Химия, 1989. – 512 с.
12. *Юдашкин М.Я.* Оборудование установок очистки газов и вентиляции. – К: Вища школа, 1991. – 288 с.



Зміст

Вступ	3
1. Апарати сухого механічного очищення газів	4
1.1. Пилоосаджувальні камери	4
1.2. Інерційні пилоуловлювачі	4
1.3. Циклони	5
1.4. Вихрові пилоуловлювачі	7
1.5. Ротаційні пилоуловлювачі	8
2. Електрофільтри	8
3. Фільтри	10
3.1. Тканеві фільтри	10
3.2. Волокнисті фільтри	11
3.3. Зернисті фільтри	14
4. Скрубери	15
4.1. Поверхневі скрубери	16
4.2. Барботажні скрубери	17
4.3. Розпилюючі скрубери	19
5. Адсорбери	22
6. Іонообмінні апарати	24
7. Каталітичні реактори	25
8. Апарати термічного знешкодження	27
8.1. Топкові пристрої	27
8.2. Факельні установки	28
9. Конденсатори	29
10. Біофільтри	30
Рекомендована література	31
Додаток	32

Сергій Сергійович РИЖКОВ
Юрій Миколайович ХАРИТОНОВ
Володимир Валентинович БЛАГОДАТНИЙ

АПАРАТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ

Видавництво УДМТУ. 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

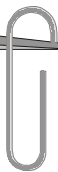
Свідоцтво ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції

Комп'ютерна правка і верстка М.Г. Мозговий

Підписано до друку 06.11.02. Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Умов. друк. арк. 2,0. Обл.-вид. арк. 2,1. Тираж 100 прим. Вид. № 44.
Зам. № 348. Ціна договірна.

Для заметок





ВИДАВНИЦТВО УКРАЇНСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО МОРСЬКОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



Шановні панове!

Запрошуємо вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого дозволяють оперативно і якісно виконати замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника у повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригінал-макету, що виконується на базі ІВМ РС, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ листопідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізка на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублікатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати **підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки**, – ми до ваших послуг.

© Український державний морський технічний університет

✉ Україна, 54002, м.Миколаїв, вул.Скороходова, 5,
видавництво УДМТУ

☎ 8(0512) 37-33-42; 39-81-46, 39-73-39, fax 8(0512) 39-73-26;

E-mail: publishing@usmtu.edu.ua