

УДК 622.807

к.т.н., доц. **Олександр Любарець**,
apl_knuba@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1905-9283,
аспір. **Максим Микитенко**,
maxim305@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2891-6136,
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СТАН ЗНЕПИЛЕННЯ АСПІРАЦІЙНИХ ВИКИДІВ

Значну частину промисловості займає технологія, яка задіяна в процесах виготовлення продукції, наприклад завод санітарно-технічних виробів, ливарство, хімічна чи цукрова промисловість. На таких підприємствах утворюється велика кількість запиленого повітря, яке поступає від різноманітних технологічних процесів. Для очищення запиленого повітря використовують пилогазолловувальні апарати. В залежності від стану запилення пилогазоповітряного потоку, його фракції, дисперсності пилу та способу вловлення використовують різні аспіраційні апарати. Аспіраційні апарати поділяють за способом вловлення пилу на мокрі чи сухі. Кожен з цих типів аспіраційних апаратів має свої переваги та недоліки які розглядаються у даній статті, таких як підвищений аеродинамічний чи гідравлічний опір, регенерація апарату, розмір вловлювальної фракції, необхідність використання промивної рідини та ін. Класифікація типів установок для підбору до певного технологічного процесу чи потреб залежить від найбільш ефективного способу вловлення, дисперсності часток та енергоефективності пиловловлювального апарату. Мокрі пиловловлювачі мають більш різноманітні форми, конструкції виконання та способи застосування ніж сухі. Мокрі пиловловлювальні апарати ділять на групи залежно від стану фази рідини (апарати у яких осадження пилу відбувається на плівку рідини, пінні апарати, турбулентні пиловловлювачі чи конденсаційні апарати) та від способу диспергування рідини (форсуночні скрубери, апарати у яких дроблення здійснюється за рахунок енергії газоповітряного потоку чи динамічні газопромивачі). У даній статті розглядаються конструкції та особливості роботи різноманітних мокрих пиловловлювальних апаратів кожної з цих груп відповідно з їх характеристиками по уловленню пилу, витраті рідини та недоліками в конструкціях. На основі робіт низки дослідників графічно наведена характеристика фракційного ступеня очищення повітря від пилу для визначення найбільш ефективного апарату для уловлення дрібних фракцій. Виконані висновки та поставлені подальші задачі та плани по проведенню необхідних дослідів та аналізу даних робіт вчених.

Ключові слова: пилогазоочистка; пиловловлювальні апарати; аспірація; аспіраційні апарати; аспіраційні викиди; мокрі пиловловлювачі.

Вступ. Ефективним способом захисту навколишнього середовища від пилу та шкідливих газів, що викидаються в атмосферу промисловими чи іншими підприємствами, є освоєння більш досконалих технологічних процесів та енергетичних установок, що запобігають шкідливим викидам.

Попри впровадження технологічних процесів, що дозволяють знизити кількість шкідливих викидів, все ж таки на різноманітних підприємствах вентиляційні викиди характеризуються великими концентраціями пилу після технологічних процесів.

Очищення повітря займає один із важливих заходів щодо створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці, а для низки виробництв є радикальним засобом підвищення якості продукції та надійності роботи обладнання.

Комплекси пиловловлювальних апаратів, що застосовуються в наш час, при правильній їх експлуатації дозволяють отримувати задовільний ефект очищення. За способами пиловловлення розділяють сухий та мокрий способи.

Так для сухого способу пиловловлення розроблені різні типи оригінальних апаратів з тканинних матеріалів, ступінь очищення в яких забезпечується до 99 % для дрібнодисперсного пилу.

Застосування сухого очищення газів від пилу тканинними фільтрами в ряді випадків обмежене через властиві їм недоліки: високий аеродинамічний опір, обмежений термін служби, складність регенерації, необхідність попереднього очищення при високих початкових концентраціях пилу, значні капітальні та експлуатаційні витрати. Найбільш поширеними є інерційні апарати сухого очищення - циклони, мало ефективні для очищення від дрібнодисперсного пилу діаметром частинок менше $10 \cdot 10^{-6}$ м.

У ряді випадків ефективним способом пиловловлення є мокрий спосіб. Серед способів мокрого пиловловлення суттєвими перевагами володіє фільтрація запиленних потоків через високошвидкісний факел водяних крапель, що формується дисковими розпилювачами рідини [1].

У статті викладено аналіз вітчизняних та закордонних досліджень мокрих пиловловлювачів, а також дано характеристику основних технічних засобів уловлювання пилу з газів та звернуто особливу увагу аналізу механізму взаємодії пилогазового потоку з дисперговою рідиною.

Мета і методи. Основними джерелами забруднення атмосфери на підприємствах будівельної індустрії є пил, що утворюється в процесі приготування будівельних сумішей та при проведенні інших технологічних

процесів, пов'язаних з термічним та механічним впливом на частки сировини.

Особливо інтенсивним пилоутворенням супроводжуються процеси сушіння, помелу, просіювання, транспортування та змішування окремих компонентів сумішей. Велика кількість пилу утворюється при обробці виробів на абразивних, повстяних та матер'яних колах, у галтувальних барабанах і дробоструминних камерах та ряду інших операцій. Для кожного виду пилу, які відрізняються своїм складом, дисперсністю та способом вловлення використовують різні пиловловлювальні установки. Відомо, що очищення пилу є достатньо енерговитратною та коштовною, тому для визначення найбільш ефективних апаратів слід проаналізувати їхні конструкції, принципи дії та ефективність пилогазоочистки.

Попередні дослідження говорять про те що найбільш ефективними є апарати мокрого очищення з розпиленням розчину, що дозволяють використовувати отримані розчини вловлених речовин для повернення їх у виробництво будівельних матеріалів. Разом з тим, ці апарати (пиловловлювачі) є одними з найбільш енерговитратних. Витрата енергії в цих апаратах залежить від способу розпилення рідини та часу контакту фаз в апараті, що потребує значних швидкостей запиленого потоку для отримання інерційної складової часток з метою їх подальшого контакту з мікрокраплями води.

Розгляд цих питань дозволить визначитись з перспективними конструкціями апаратів мокрого очищення.

Сучасна водяна криза ставить задачу про використання у апаратах не чистої а вже відпрацьованої води яка містить домішки. Це може впливати на диспергацію (розпилення) рідини і на ефективність пиловловлення.

Для аналітичного опису процесу пиловловлювання з метою підвищення його ефективності в перспективних конструкціях пиловловлювачів слід проаналізувати існуючі роботи вчених з даного питання.

Для найбільшого розуміння процесу пиловловлення аналізують процеси осадження частинок на краплях розпиленої рідини. В даній статті розглянуто основні конструкції різноманітних пиловловлювальних апаратів, розглянуто їх конструкції, характеристики, принцип роботи та недоліки. Необхідно проаналізувати конструктивні рішення пиловловлювальних апаратів. На основі цих даних слід поставити задачі по майбутнім дослідженням з детальним аналізом робіт вчених та дослідників. Також необхідно розглянути, проаналізувати та запропонувати вдосконалення існуючих конструкцій пиловловлювачів для усунення їх недоліків.

Результати і пояснення. Для кожного виду пилу, які відрізняються своїм складом, дисперсністю та способом вловлення використовують різні пиловловлювальні установки.

Дисперсний склад пилу є однією з найважливіших характеристик твердої фази аерозолів. Більші частинки є продуктом механічного винесення сировинної суміші, дрібніші частинки утворюються при конденсації лужних та інших сполук, що виганяються в зоні високих температур. Дисперсність пилу вкрай непостійна та залежить від технологічного режиму.

Пил що виділяється від різних промислових процесів має різні фізико-хімічні властивості. Залежно від джерела забруднення, складу пилу та дисперсності його можна розділити на наступні групи:

- а) аерозолі, що утворюються при дробленні та транспортуванні (при пересипанні) матеріалів, які характеризуються високою дисперсністю твердої фракції (зміст фракції, розміром менше ніж 5 мкм до 65 %) при вмісті вологи і температурі навколишнього середовища;
- б) аерозолі сушильних барабанів для піску та добавок, що містять як великі, так і дрібні частинки і мають температуру (від 70 до 150°C) при підвищеному вмісті вологи газу (до 110 г/кг ц.р.);
- в) аерозолі, що виділяються при очищенні чавунних виробів, які характеризуються наявністю як великих, так і дрібних частинок, сажистих і металевих включень і продуктів зкріплювачів, що розклалися;
- г) аерозолі, що виділяються при емальованні чавунних та сталевих виробів;
- д) аерозолі, що виділяються при шліфуванні та поліруванні виробів, які відрізняються наявністю волокнистого пилу при вологовмісті та температурі навколишнього середовища;
- е) аерозолі, що утворюються в процесі фарбування виробів (є пожежо- та вибухонебезпечними).

Дисперсний склад пилу, що містяться у вентиляційних викидах ливарних цехів чавуноливарних заводів та складових цехів скляної промисловості, представлений на рис.1.1. Розташування кривих дисперсного складу пилу у III та IV зоні класифікаційної номограми [2] показує, що вони належать до середньо- та дрібнодисперсного пилу. Характерно, що за хімічним складом понад 50 % становить двоокис кремнію. Цей пил є силікоzoneбезпечними і становить значні технічні труднощі при уловлюванні.

Дуже ефективними апаратами для уловлювання дрібнодисперсного силікоzoneбезпечного пилу (рис. 1) є мокрі пиловловлювачі.

Серед наявних апаратів для очищення повітря від пилу мокрі пиловловлювачі відрізняються найбільшою різноманітністю конструкцій та форм виконання. Наявність великої кількості модифікацій цих апаратів пояснюється різноманіттям поєднань конструктивних форм пиловловлювача та станів рідкої фази. Рідка фаза при цьому може бути в апараті у вигляді плівки, піни, крапель або у вигляді поєднання різних її станів. Залежно від стану фази

рідини пиловловлювальні апарати можна розділити на групи:

- 1) апарати, у яких осадження пилу відбувається на плівку рідини;
- 2) пінні апарати;
- 3) турбулентні пиловловлювачі, в яких частинки пилу взаємодіють з краплями рідини;
- 4) конденсаційні апарати.

У більшості пиловловлювачів поряд з будь-яким основним ефектом використовуються також інші (допоміжні), тому наведена класифікація є умовною. У всіх апаратах основним механізмом пиловловлення є інерційний.

Апарати першої групи (у яких осадження пилу відбувається на плівку рідини) можна розділити на дві підгрупи:

- а) апарати, у яких розвиток поверхні водяної плівки здійснюється шляхом насадок;
- б) апарати, у яких водяна плівка створюється на криволінійній поверхні корпусу апарату.

Характерною особливістю апаратів підгрупи «а» є процес осадження аерозолів на змочені поверхні в результаті численних поворотів пилогазового потоку при русі через насадки. До них відносяться конструкції скрубєрів з різними насадками (з рейок, гравію, кілець Рашига) ударно-змивні апарати типу УСД-ЛІОТ та ін.

У скрубєрах з насадкою газу зазвичай вводяться знизу, а промивна рідина зверху. За експериментальними даними [3] каоліновий пил з 42-х процентним вмістом частинок розміром $5 \cdot 10^{-6}$ м уловлюється на 76 %. При швидкостях газу близько 0,8-1,25 м/с апарати громіздкі, а гідравлічний опір сягає 800 Па.

Пиловловлювач ударно-змивної дії УСД-ЛІОТ вловлює пил внаслідок використання інерції частинок, що рухаються прямолінійно, і відцентрових сил, що виникають при різких поворотах повітряного потоку між поверхнями, покритими водяною плівкою, що безперервно змінюється. Апарат ефективно вловлює пил більший за $10 \cdot 10^{-6}$ м при питомій витраті води 0,26-0,51 кг/м³ [4]. Аеродинамічний опір пиловловлювача становить 440-640 Па.

У скрубєрах з псевдозрідженою кульовою насадкою взаємодія газів з рідиною і порожнистими кулями відбувається дуже інтенсивно, бо насадка, що циркулює в робочому об'ємі, турбулізує його та сприяє кращому контакту фаз при багаторазовому онов-ленні міжфазної поверхні [5]. Ефективність у цих апаратах досягає 99 % при уловлю-ванні частинок пилу розміром $2 \cdot 10^{-6}$ м. Однак, ці апарати мають значний гідравлічний опір порядку 1500-2000 Па.

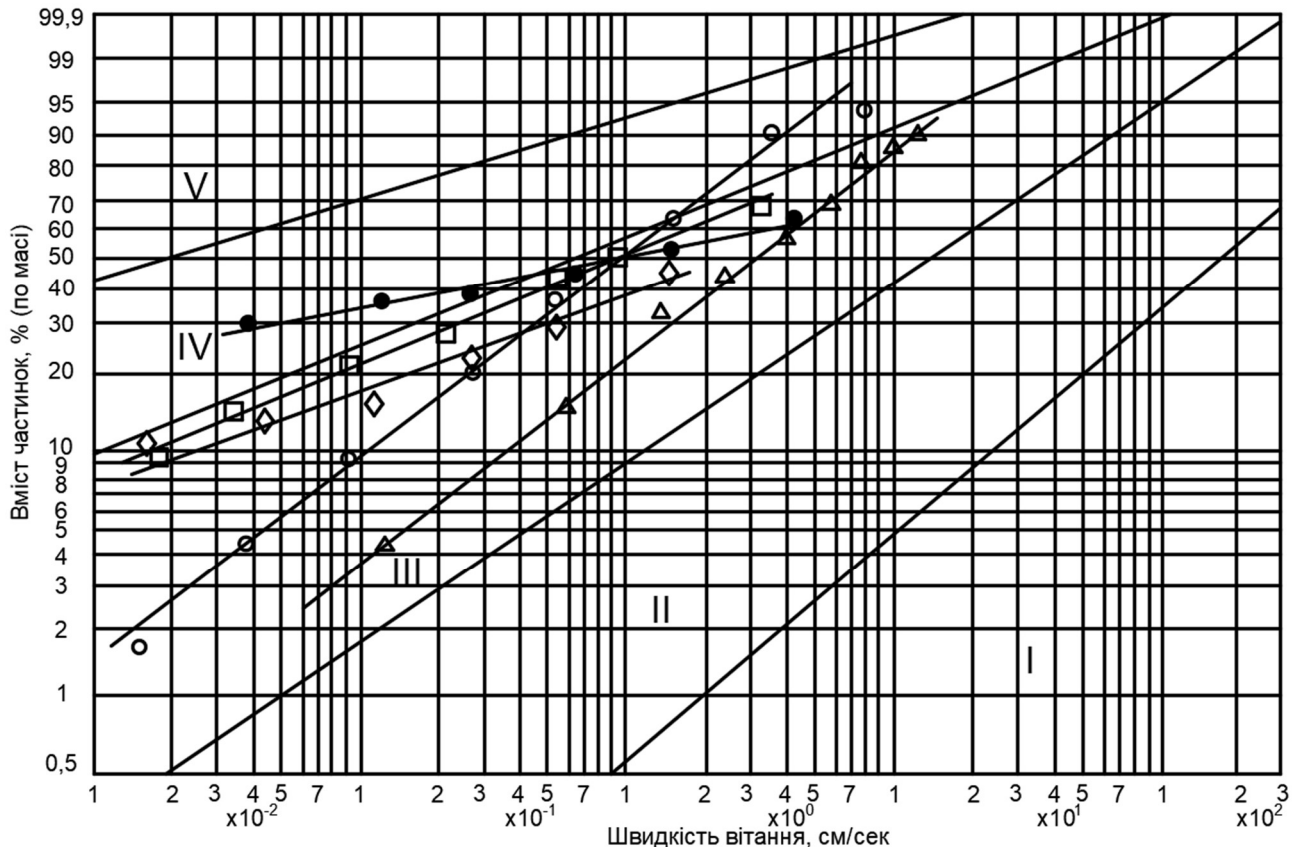


Рис. 1. Класифікаційна номограма (I-V групи пилу по їх дисперсності):
 Δ - ливарний пил в викидах заводу "Кайтра"; o - пил кварцевого піску в вентиляційних викидах Львівського мехсклозаводу; ◇, ● - пил у зоні обслуговування ваг та змішувача шихти на Львівському мехсклозаводі; □ - пил обпаленого доломіту у викидах Київського механізованого склотарного заводу.

До підгрупи "б" відносяться апарати, в яких використовується відцентровий ефект ви-ділення пилу з пилоповітряного потоку на криволінійну поверхню, змочену водою. Характерними представниками даного типу пиловловлювачів є циклон ЛІОТ з водяною плівкою, відцентровий скруббер ВТІ-Промбудпроект, циклон-промивач СІОП та ін., які широко поширені на заводах промисловості санітарно-технічного обладнання та ливарства.

Циклони ЛІОТ з водяною плівкою ефективно вловлюють частинки з діаметром по-над $10 \cdot 10^{-6}$ м та з гідравлічним опором 400-840 Па.

Більш ефективним є циклон ЛІОТ з підвищеною швидкістю, але водночас має вищий гідравлічний опір - 840-2060 Па [6].

Крім циклону з водяною плівкою відомі інші конструкції мокрих відцентрових пиловловлювачів, які називаються мокрими відцентровими скруберами. Відцентрові скрубери, що застосовуються на практиці, конструктивно можна розділити на два види: апарати з тангенціальним підведенням газів (скруббер ВТІ) та апарати, в яких обертання газового потоку

здійснюється за допомогою спеціальних напрямних лопаток.

За конструктивним виконанням відцентровий скруббер ВТІ аналогічний конструкції циклону ЛЮТ з водяною плівкою.

Відмінна особливість циклону-промивача СЮП полягає в тому, що пиловловлення частково збільшується шляхом промивання повітря водою, що розпорошується повітряним потоком. Ефективність очищення аспіраційних викидів, що містять пил з медіанним діаметром частинок $5 \cdot 10^{-6}$ м, при номінальній витраті повітря за даними [7] становить 90 %. Аеродинамічний опір апарату при цьому досягає 1300 Па.

Однак, у циклоні-промивачі СЮТ при дробленні води повітряним потоком виходять крупнодисперсні краплі.

Другу групу апаратів складають пиловловлювачі різних конструктивних модифікацій, в яких як фільтрувальний шар використовується рухома водяна піна. Ці апарати мають значний гідравлічний опір, який у барботажних досягає 2900 Па при витраті води $0,4-1,0$ кг/м³ повітря, що очищається [9].

До недоліків пінних апаратів слід віднести велику металомісткість і значний бризок.

Пінні пиловловлювачі, що широко застосовуються для технологічного очищення га-зів, та широкого поширення на заводах промисловості санітарно-технічного обладнання та ливарства не отримали.

Залежно від способу диспергування рідини пиловловлювальні апарати 3-ї групи можна розділити на три підгрупи:

- а) форсуночні скрубери, де диспергування здійснюється за допомогою форсунок, за рахунок енергії рідини;
- б) апарати, у яких дроблення рідини здійснюється за рахунок енергії газоповітряного потоку;
- в) динамічні газопромивачі, де диспергування рідини здійснюється за рахунок механічної енергії ротора-розпилювача, що обертається.

Характерними представниками підгрупи «а» є: форсуночні скрубери різних модифікацій (відцентровий мокрий пиловловлювач [10], мокрий пиловловлювач конструкції “Центрогіпрошахт”, порожнистий скруббер конструкції “Гипроцветмету”, циклонний зрошувальний скруббер “Піз-Антоні” та ін.

У форсуночних скруберах (рис. 2 а, б) до-сить ефективно вловлюються частинки пилу розміром більше $10 \cdot 10^{-6}$ м. Частинки свинцевого пилу розміром $2 \cdot 10^{-6}$ м уловлюються на 60 % [11]. Скрубери набули широкого поширення переважно для охолодження та зволоження газу, необхідних для подальшого тонкого очищення газу.

У циклонному зрошувальному скрубери “Піз-Антоні” (рис. 2 г) ступінь очищення промислових викидів підвищується за рахунок використання

відцентрових сил обертового потоку. За даними Уайта П. і Сміта С. [12] ступінь очищення газу від пилу з $b_{50}=4 \cdot 10^{-6}$ м становила 92 %. Гідравлічний опір апарату досягав 500-1500 Па при питомій витраті води 0,4-1,3 кг/м³ газу, що очищається. Недоліком скрубєрів зрошувального типу є:

- а) недосконалість якості розпилу рідини;
- б) засмічення форсунок, за наявності рідини механічних домішок.

До підгрупи «б» пиловловлювальних апаратів можна віднести такі: барботажно-вихрові пиловловлювачі (барботажно-вихровий пиловловлювач [13], мокрий пиловловлювач [14]), пиловловлювач з повітроочисним каналом ПВМ, ротоклон типу N, оміврон "Шнакенберг", скрубєр ФРН [15], скрубєр Вентурі та ін, конструктивні варіанти яких наведені на рис. 3.

У поширених барботажно-вихрових пиловловлювачах пилогозова суміш прориває шар води, дробить при цьому частину рідини на краплі, разом з якими рухається далі каналами складної форми. Ступінь очищення газу, що досягається до 99 % [11], наприклад, у ротоклоні типу "N" (рис. 3 г), визначається швидкістю газів у каналі, яка не перевищує 15 м/с. Рідина, захоплена газовим потоком, переміщається вздовж каналу як турбульованого шару. Розмір крапель, що утворюються при цьому, становить $(300-400) \cdot 10^{-6}$ м при витраті води 0,3 кг/м³ газу, що очищається.

Всі пиловловлювачі цієї підгрупи характеризуються наявністю в їх конструкції ємності, заповненої водою. Повітря, що очищається, контактує з водою, насичуючи її пилом. Шлам, що накопичується в нижній частині ємності, видаляється механічним транспортером або зливається періодично.

У промисловості санітарно-технічного обладнання застосовуються пиловловлювачі типу Оміврон. Апарати цієї підгрупи мають значний гідравлічний опір порядку 1500 Па [16] і металоємністю, яка в Омівроні, наприклад, становить 350 кг на 1000 м³/год повітря, що очищається [12].

Особливо слід зазначити турбулентні промивачі скрубєри Вентурі (рис. 4.). Широке застосування в інших галузях промисловості пояснюється високим ступенем очищення газу навіть за уловлюванням дуже дрібних частинок. У конфузорі та горловині труби Вентурі відбувається дроблення води газовим потоком великої швидкості (60-150 м/с) на дрібні крапельки $(1-10) \cdot 10^{-6}$ м, швидкість переміщення яких менша за швидкість руху частинок пилу. Різниця швидкостей частинок пилу та крапель рідини, а також висока турбулентність потоку сприяє зіткненню частинок пилу з краплями та їх інтенсивної коагуляції.

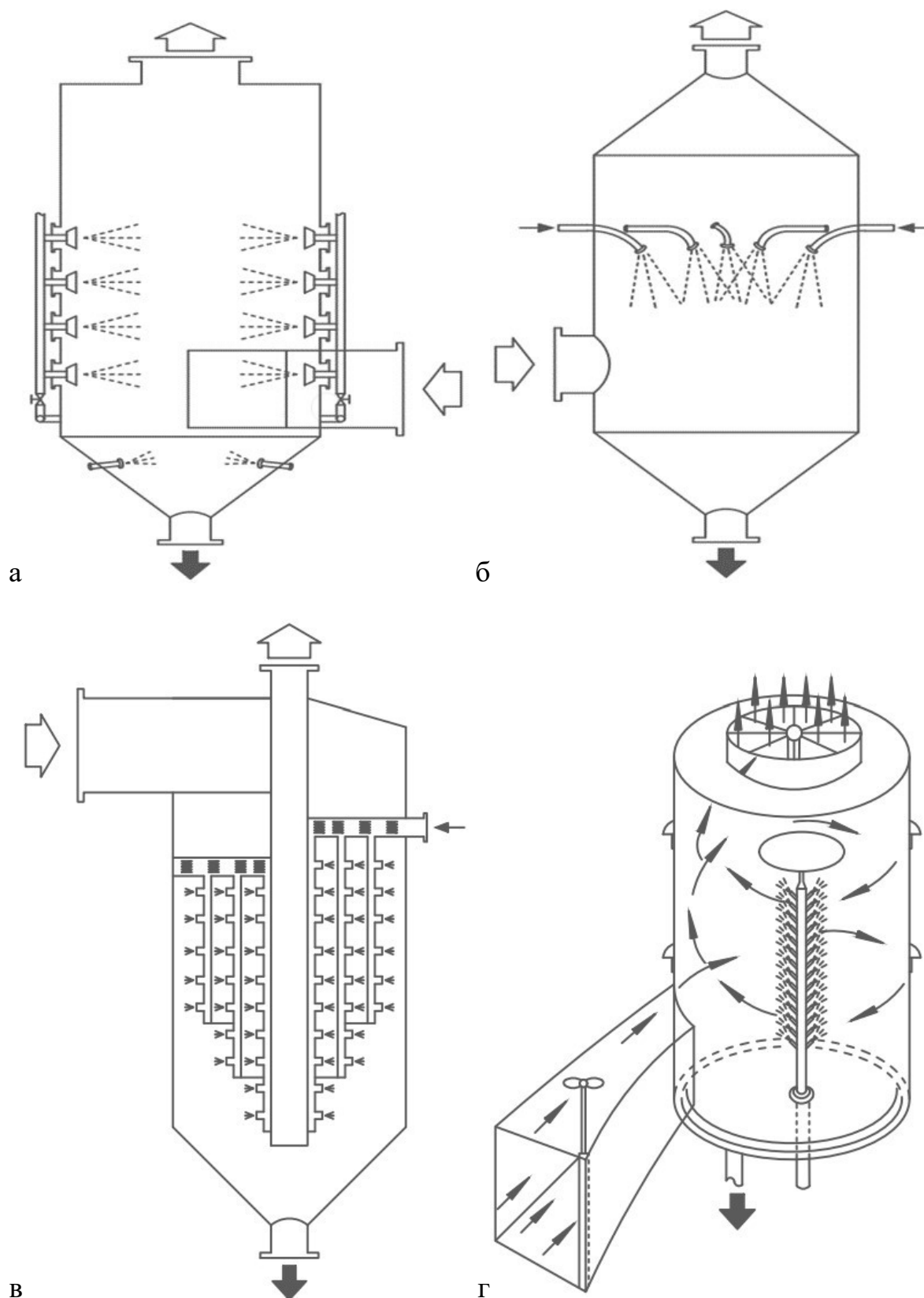


Рис. 2. Апарати з форсунковим диспергуванням рідини:
а - форсуночний скруббер з вертикальним розпилем рідини; б - скруббер з бічним розташуванням форсунок; в - відцентровий мокрий пиловловлювач; г - циклонний зрошувальний скруббер "Пиз-Антони".

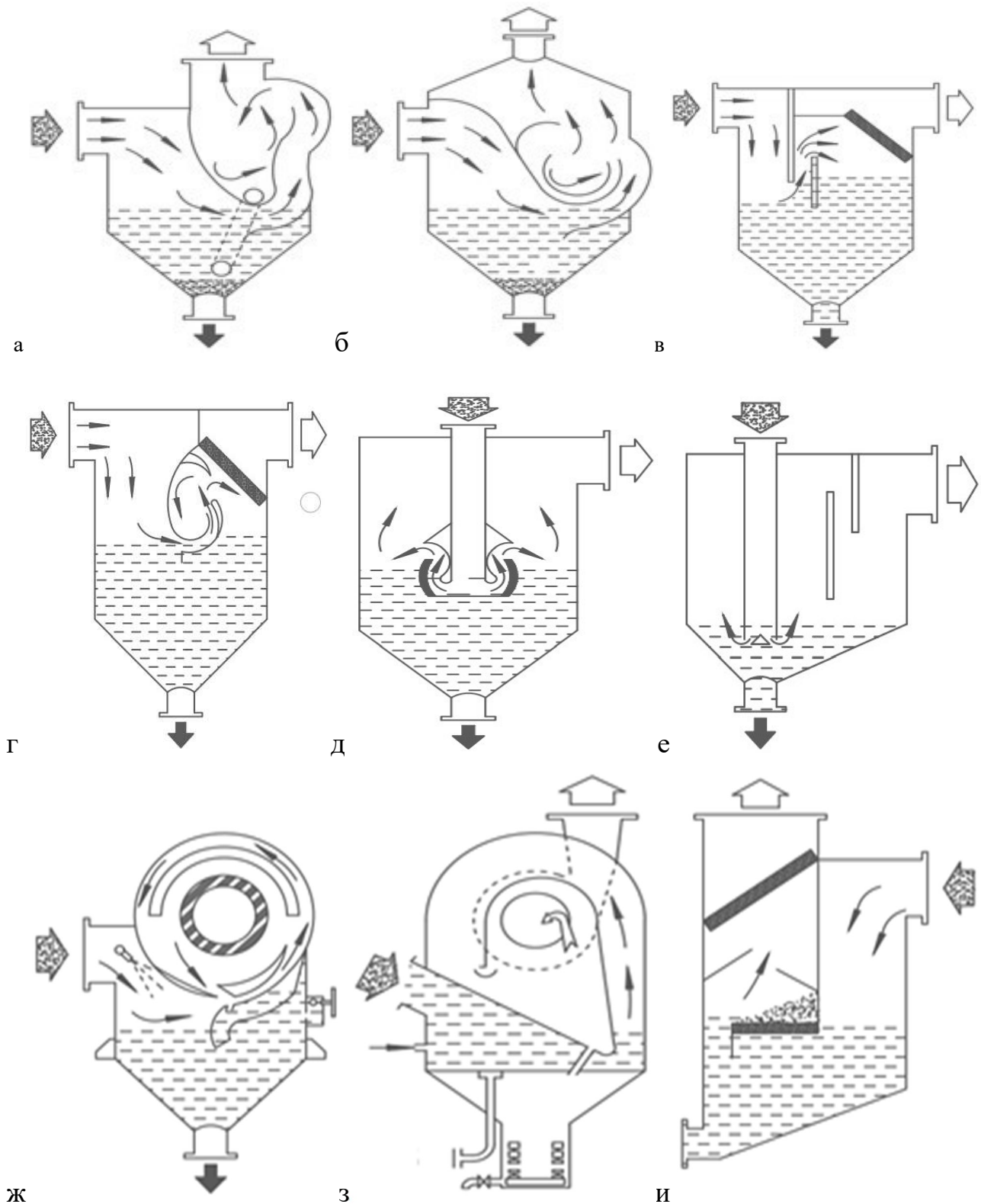


Рис. 3. Конструктивні варіанти барботажно-вихрових пиловловлювачів:
а - барботажно-вихровий пиловловлювач; б - мокрий пиловловлювач; в -
пиловловлювач ПВМ; г - ротоклон; д - "Омікрон"; е - скруббер Дойля;
ж - скруббер ФРГ; з - пиловловлювач "Fluomix" (Франція); и - пиловловлювач
Гінцветмета.

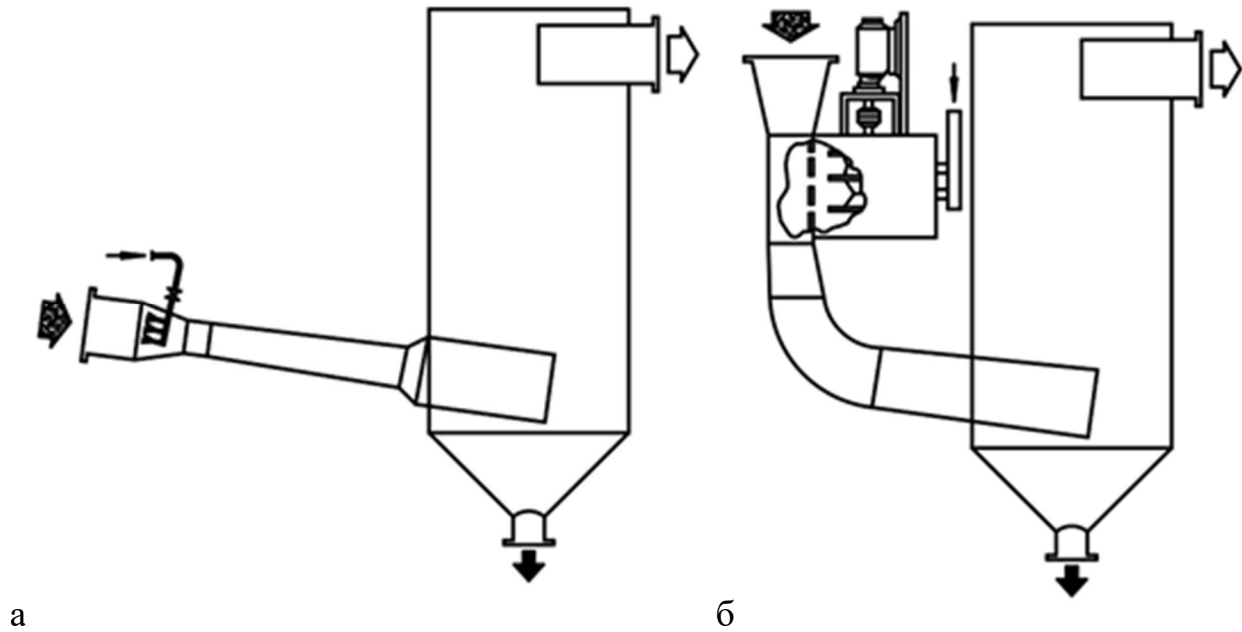


Рис.1.4. Конструктивні схеми скруберів Вентурі:
 а - труба Вентурі з краплевловлювачем; б - труба Вентурі з дисковим розпилювачем та краплевловлювачем.

Особливо слід зазначити турбулентні промивачі скрубери Вентурі (рис. 4). Широке застосування в інших галузях промисловості пояснюється високим ступенем очищення газу навіть за уловлюванням дуже дрібних частинок. У конфузорі та горловині труби Вентурі відбувається дроблення води газовим потоком великої швидкості (60-150 м/с) на дрібні крапельки $(1-10) \cdot 10^{-6}$ м, швидкість переміщення яких менша за швидкість руху частинок пилу. Різниця швидкостей частинок пилу та крапель рідини, а також висока турбулентність потоку сприяє зіткненню частинок пилу з краплями та їх інтенсивної коагуляції.

Скрубери Вентурі характеризуються високим ступенем очищення газу (рис.1.4 а), великими гідравлічними втратами до 15000 Па [11] та необхідністю встановлення краплевловлювачів. Через велику енергоємність скрубери Вентурі не знайшли застосування в промисловості санітарно-технічного обладнання чи ливарства.

Турбулентні газопромивачі застосовуються, головним чином, для очищення промислових викидів від мікронного та субмікронного пилу. Менш енергоємні труби Вентурі з дисковими розпилювачами [17] (рис 4 б) поширені на асфальтобетонних заводах.

Дану підгрупу складають апарати, в яких диспергування здійснюється механічними розпилювачами: вентиляторні мокрі пиловловлювачі (вентиляторні пиловловлювачі ВМП ЛІОТ, ротоклон W (США), дезінтегратори), і апарати з поверхнею контакту фаз, що утворюється у вільному обсязі.

Відмінною рисою вентиляторних апаратів є застосування для

пилловловлювання зрошуваних водою лопатей колеса вентилятора або дезінтегратора, що обертаються, і вплив на частинки пилу коріолісових сил, які за своєю величиною можуть бути зрівнянні з відцентровими силами.

Гідравлічний опір пилловловлювача ВМП-ЛПОТ залежить від швидкості повітря на вході у вентилятор і коливається в межах 200-500 Па [18].

Недоліком таких пилловловлювачів є швидке зношування колеса при роботі з абразивним пилом.

У закордонній практиці (США) знепилювання широко застосовується вентиляторний мокрий скруббер (ротоклон W із зволоженням) [19]. Під дією відцентрової сили частинки пилу відкидаються з відігнутої частини лопатей і вловлюються плівками рідини, що стікають по них, а потім відводяться в відстійник. Витрата рідини становить 0,13-0,2 кг/м³ газів. Споживана електроенергія для обробки 1000 м³/год газів становить 0,8 кВт/год. Ефективність очищення за даними [12] досягає 85 % для часток пилу діаметром $2,5 \cdot 10^{-6}$ м. Гідравлічний опір ротоклону становить 1600-2300 Па.

Ефективність дезінтеграторів за даними [20] досягає 90-95 % при уловлюванні частинок розміром $10 \cdot 10^{-6}$ м та питомій витраті води 0,5-1,5 кг/м² газу. Однак, для досягнення очищення із залишковою концентрацією пилу $50 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ в дезінтегратор необхідно подавати охолоджений до 60 °С газ із вмістом пилу не більше $2 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Широке поширення знайшли апарати з поверхнею контакту фаз, що утворюється у вільному обсязі, конструктивні варіанти представлені на рис. 5.

У хімічній промисловості, наприклад, знайшли широке застосування ряд конструкцій абсорберів з розпилювачами, що обертаються (абсорбери Фельда і Сафріна, див. рис. 5 а, б) [21], призначених як очищення газів від газових домішок, так охолодження і очищення доменних газів [22]. У таких апаратах було отримано високі коефіцієнти масопередачі при абсорбції вуглекислого газу та ацетону.

Конструкція фільтра для очищення газового потоку від пилу (рис. 6 а) [23] дозволяє диспергувати рідину, що містить тверді домішки. Однак, суттєвим недоліком є великодисперсний розпил, що спричиняє зниження ступеня очищення газового потоку від пилу та збільшує каплевинос (витрату води).

У вентиляційній техніці перші дослідження з інженерними рішеннями питань використання фільтрувальної можливості смолоскипа розпиленої рідини для очищення вентиляційних викидів з температурою до 40 °С виконані С.І. Прийомовим [24].

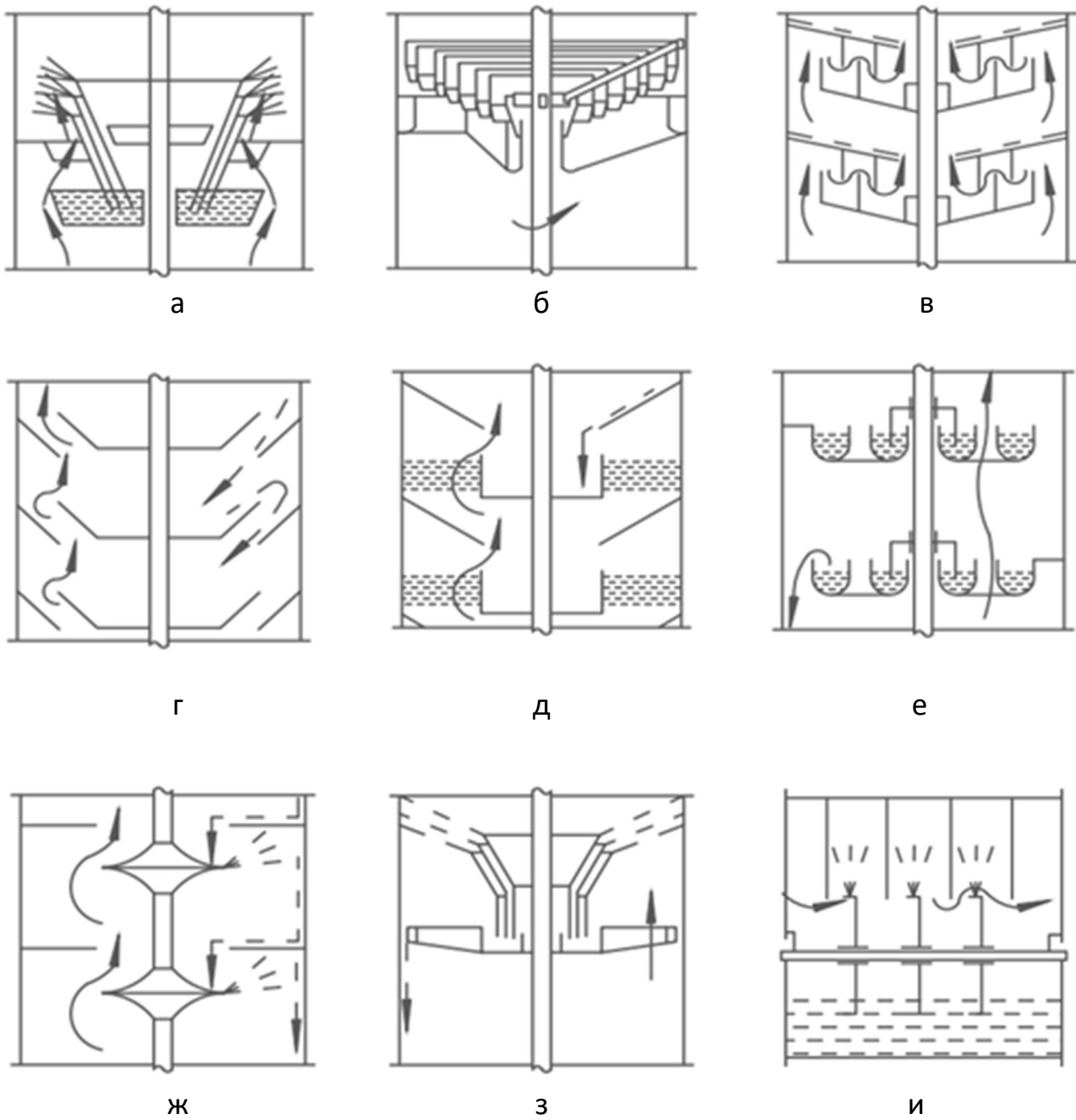


Рис. 5. Конструктивні схеми апаратів з поверхнею контакту фаз у вільному об'ємі:

а - абсорбер Фельда з занурювальним конусом, що обертається; б - абсорбер Сафріна з занурювальним конусом, що обертається; в - роторний апарат системи В.С. Ніколаєва; г - апарат з обертовими та нерухомими перегородками; д - апарат з обертовими корзинами та нерухомими перегородками; е - ударно-розпилювальний контактний пристрій Кіршбаумана та Штора; ж - апарат з дисками, що обертаються; з - апарат з тарілками, що обертаються; и - апарат з мішалками, що обертаються.

У пиловловлювачі з дисковим розпилювачем (рис. 6 б) здійснено перехресний струм взаємодіючих середовищ. При очищенні аспіраційних викидів з температурою понад 50 °С ступінь очищення в таких пиловловлювачах недостатня через короткий період перебування частинок у факелі розпилу.

Мокрий пиловловлювач [25, 26] (рис. 6 в), що знайшов застосування переважно на цукровій промисловості, неможливо з таким же успіхом поширювати в промисловості будівельних матеріалів за експлуатаційними умовами: по-перше, через схильність до засмічення отворів у конічній частині розпилювача при наявності в оборотній воді механічних домішок (що викликає нерівномірність розпилу) і, по-друге, при витраті рідини близько 5 м³/год дисперсність факела розпилу зменшується і внаслідок цього знижується ступінь очищення.

Пиловловлювач з сіткою, що обертається [27] можна застосувати для очищення промислових викидів підприємств з виробництва санітарно-технічного обладнання. Однак, він має недолік, що полягає в можливості засмічення сітки та форсунок під час роботи на оборотній воді. Крім того, відбувається знос сітки, що фільтрує. Поруч із продуктивністю даного апарату лімітується окружною швидкістю обертання сітки (рис. 6 г).

Особливу четверту групу складають пиловловлювачі, в яких використовується ефект конденсації парів на частинках пилу. Внаслідок цього частинки пилу укрупнюються до таких розмірів, що можуть бути легко виловлені під впливом інерційних чи гравітаційних сил. У режимі конденсації можуть працювати також пінні, турбулентні та ряд інших пиловловлювачів.

При виборі пиловловлювачів для очищення вентиляційних викидів від пилу особливе значення має здатність апаратів уловлювати найдрібніші силікозонебезпечні фракції пилу. У зв'язку з є цим роботи низки дослідників [6, 7], у яких порівнюються ефективності очищення мокрих пиловловлювачів за однакових умов. Слід зазначити, що найбільш повно характеризує той чи інший пиловловлювач, фракційний ступінь очищення. З рис. 7 фракційного ступеня очищення повітря від пилу видно, що найбільш ефективним апаратом для уловлювання дрібних фракцій є скруббер Вентурі. Поряд з цим слід особливо відзначити що в свою чергу, скруббер Вентурі має найбільший гідравлічний опір (до 15000 Па), від величини його залежать витрати електроенергії при експлуатації пиловловлювальної установки. Серйозним недоліком пиловловлювачів труб Вентурі, так само як і пінних, є велика витрата води, що досягає до 1-2 л/м³ повітря, що очищається. Внаслідок контакту із запиленим повітрям вода забруднюється пилом.

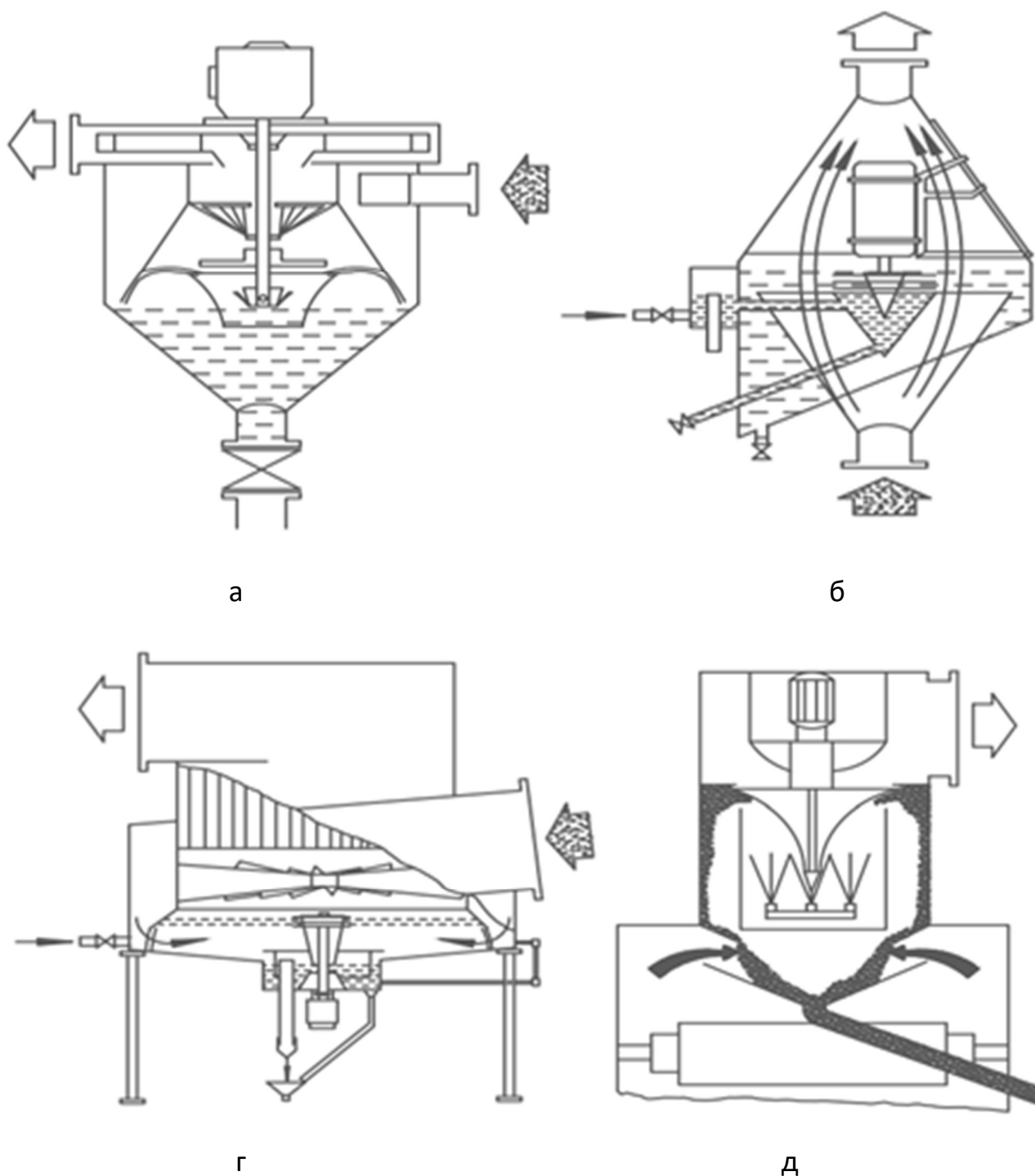


Рис. 6. Конструктивні схеми пиловловлювачів з розпилом рідини:
а - фільтр для очистки газового потоку від пилу; б - пиловловлювач з перехрестною взаємодією контактуючих фаз; в - мокрий пиловловлювач; г - пиловловлювач з сіткою що обертається.



Рис. 1.7. Пофракційна ефективність очищення повітря від пилу в пилоловлювачах:

1 - пінний апарат; 2 - циклон-промивач СІОТ; 3 - ротоклон типу "N"; 4 - пилоловлювач прямооточного типу з дисковим розпилувачем; 5 - вентиляційний мокрий пилоловлювач ВМП-ЛІОТ; 6 - скрубер Вентурі.

Велика кількість забрудненої води фільтрується з метою повторного використання для пилоловлювання, це вимагає встановлення пристрою системи оборотного водопостачання з очищенням води. Якщо в ротоклонах і подібних до пилоловлювачів наявність механічних домішок в оборотній воді мало впливає на надійність їх роботи, то в пилоловлювачах іншого принципу дії це відіграє істотну роль.

Так для нормальної роботи пилоловлювальних установок (відцентрових скруберів ВТІ, циклонів-промивачів СІОТ, циклонів ЛІОТ з водяною плівкою, скруберів Вентурі та ін.) залишкова концентрація механічних домішок після очищення у водоочисних спорудах не повинна перевищувати 100-400 мг/л.

З іншого боку, як свідчать дослідження В.Н. Ужова, А.Ю. Вальдберга [11] та В.А. Орлова [28], наявність механічних домішок в оборотній воді до 4000 мг/л підвищує ступінь очищення.

Для подальшого визначення необхідного пилоловлювального апарату необхідно розрахувати та проаналізувати процес осадження пилових частинок, їх швидкість в потоці та діаметр частинок.

Висновки та рекомендації. Аналіз конструктивних рішень пилоловлюючих апаратів показав, що мокрі пилоловлювачі мають нижчу вартість ніж тканинні та електричні. У мокрих пилоловлювачах усувається небезпека займання деяких пилів, вторинний пиловинос і одночасно з твердими частинками вловлюються паро- і газоподібні компоненти. Поряд з цим у пилоловлювачі необхідно подавати відносно чисту воду (з вмістом механічних домішок до 400 мг/л) з метою запобігання засміченню зрошувальних пристроїв.

Це призводить до необхідності обробки стічних вод і, отже, до подорожчання процесу очищення повітря.

Систематизований аналіз теоретичних та експериментальних досліджень осадження аерозолів краплями розпиленої рідини призводить до висновку про перспективність використання високорозвиненої поверхні крапель рідини та великих відносних швидкостей крапель рідини та порошин з метою підвищення ступеня очищення промислових викидів.

Існуючі пиловловлювачі типу скрубера Вентурі, в яких використовується принцип високорозвиненої поверхні крапель, дуже енергоємні.

Ступінь очищення промислових викидів з підвищеною температурою в апаратах з перехресним факелом рідини, що диспергується, і частинок пилу недостатня через нетривалий період контакту.

При аналізі осадження аерозолів краплями розпиленої рідини встановлено, що немає вичерпних відомостей про вплив механічних домішок у воді на ефективність пиловловлення.

Відсутність рівнянь, що описують турбулентний рух пилоповітряних потоків у циклонних камерах при взаємодії з факелом розпиленої рідини не дозволяє теоретично вирішити багатофакторні залежності щодо визначення ефективності пиловловлення. Отже, розкриття функцій щодо визначення ефективності пиловловлення слід здійснювати методом експериментальних досліджень.

Основними завданнями майбутній досліджень та аналізів є:

- дослідження дисперсності крапель розпиленої рідини, що містить механічні домішки;
- дослідження впливу вмісту вологи, вмісту запилених потоків і механічних домішок в оборотній воді на ступінь очищення;
- дослідження впливу на процес пиловловлювання гідродинамічних умов роботи пиловловлювачів з дисковими розпилювачами.

References

1. Petrychenko N.Y., Tkachuk A.Ya., Pryemov S.Y., Senko P.M. "Raspyilitel zhidkosti" Patent of USSR 266182. 01 november 1968. (in Russian)
2. Riabov A.V. Ventyliatsiia vyrobnychych prymishchen, Astroprint, 2002. (in Ukrainian)
3. Solodovnikova E.N., Semenov V.S., Senko P.M. "O tselesoobraznosti primeneniya kontaknyih vodyanyih ekonomayzerov na predpriyatiyah stroitelnyih materialov". Sanitarnaya tehnika, Kiev, Budivelnik, Iss. 8, 1969, pp. 86-89. (in Russian)
4. Ratushniak H.S., Lialiuk O.H. Zasoby ochyshchennia hazovykh vykydiv. IVNVKP «Ukrheliotekh», 2009. (in Ukrainian)
5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Operation and Maintenance, 2nd Edition. Cincinnati, Ohio, USA, 2020.
6. Neil R. MacIntyre, Richard D. Branson. Mechanical Ventilation, Elsevier Canada, 2008.
7. Howard D. Goodfellow, Yi Wang. Industrial Ventilation Design Guidebook, Academic Press, Canada 2021.
8. Zynych P. L. Ventyliatsiia hromadskykh budivel: navch. posib. KNUBA, 2002. (in Ukrainian)
9. Bondar S. Yu., Hordiienko A. S., Mykhailov V. O., Nimych H. V. Avtomatyzatsiia system ventyliatsii ta kondytsiuvannia povitria, Kyiv: TOV "Vydavnychi budynok "Avanpost-Prym"", 2005. (in Ukrainian)
10. Patent of Germany 1232178, 1969. (in German)
11. Chen, Building and environment. United Kingdom, 2009.
12. P.A.F. White, S.E. Smith, High-Efficiency Air Filtration, Butterworths, London, 1964.
13. I.Z. London, S.V. Morozov. "Barbotazhno-vihrevoy pyileulovitel" Patent of USSR 174938. 01 january 1965. (in Russian)
14. N.F. Duloladov. "Mokryiy pyileulovitel" Patent of USSR 233634. 01 january 1969. (in Russian)
15. Patent of Germany 1287042, 1969. (in German)
16. Hadzhyiev E.N., Varlamov Ye.M. Dyspersiinyi analiz pylu v systemakh aspiratsii pid chas vyrobnytstva teploizoliatsiinykh materialiv iz zastosuvanniam udoskonalenoj eksperymentalnoi ustanovky, Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut ekolohichnykh problem, Kharkiv, 2017. (in Ukrainian)
17. L.N. Chesnokov i dr. "Ustroystvo dlya ulavlivaniya pyili" Patent of USSR 584880. 07 august 1985. (in Russian)
18. Kouzov P.A., Savina A.A. Ventilyatornyiy pyileulovitel, LIOT, 1964. (in Russian)
19. Type W. Roto-Clone Dynamic Precipitator, American Air Filter Bulletin 274-F, Louisville, Kentucky, 1965.
20. Rice O.R., Bigelow C.G. Desentegrators for Fine Cleaning Blast Furnace Gas. Am. Inst. Mining Memall., Feb., 1950.

21. Sager T.M. et al. Improved method to disperse nanoparticles for in vitro and in vivo investigation of toxicity. *Nanotoxicology*. 2007. V. 1. №. 2. P. 118–129.
22. Ordonez A. et al. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. V. 44. №. 2. 2003.
23. Kalejaiye O. et al. Effectiveness of dust dispersion in the 20-L Siwek chamber. *Journal of loss prevention in the process industries*. V. 23. №. 1. P. 46–59. 2010.
24. Priemov S.I. Issledovanie raboty mokrogo pyileulovitelya s diskovym raspylitlem pri ochistke ventilyatsionnyih vyibrosov. Diss. Kyiv National University of Construction and Architecture, 1971. (in Ukrainian)
25. P.A. Lyubarets. I.I. Prilutskiy, “Pyileulovitel. Vsesoyuznnyiy nauchno-issledovatel'skiy institut saharnoy promyishlennosti” Patent of USSR 599829. 30 march 1978. (in Russian)
26. P.A. Lyubarets. I.I. Prilutskiy, “Mokryiy pyileulovitel” Patent of USSR 1044317. 30 september 1983. (in Russian)
27. N.F. Dudoladov, B. Ya. Kruglyak, V.R. Harkov, V.F. Lyubeznov, “Filtr dlya ochistki gazovogo potoka ot pyili” Patent of USSR 192175. 06 november 1967. (in Russian)
28. Sateri J., Heikkinen J. and Pallari M., "Feasibility of Ventilation Heat Recovery in Retrofitting Multi-Family Buildings", in *Proceedings: Implementing the Results of Ventilation Research*, 16 th, Air Infiltration and Ventilation Centre Conference, Palm Springs, USA, September 19-22, 1995.

UDC 622.807

PhD, Assoc. Prof. **Aleksandr Liubarets**,
apl_knuba@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1905-9283,
PG. Maksym Mykytenko,
maxim305@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2891-6136,
Kyiv national University of Construction and Architecture

ANALYSIS OF CONSTITUENT FACTORS AFFECTING THE STATE OF DEDUSTING OF ASPIRATION EMISSIONS

A significant part of industry is occupied by technology that is involved in the processes of manufacturing products, for example, sanitary ware factory, foundry, chemical or sugar industry. At such enterprises a large amount of dusty air is generated, which comes from various technological processes. Dust and gas collecting devices are used to purify dusty air. Depending on the state of dust and air flow, its fraction, dust dispersion and the method of collection, different aspiration devices are used. Aspiration devices are divided by the method of dust collection into wet or dry. Each of these types of aspiration devices has its own advantages and disadvantages, which are discussed in this article, such as increased aerodynamic or hydraulic resistance, regeneration of the device, the size of the trapped fraction, the need to use flushing fluid, etc. The classification of plant types for selection to a specific process or needs depends on the most efficient method of collection, particle dispersion and energy efficiency of the dust collector. Wet dust collectors have more diverse forms, designs and applications than dry dust collectors. Wet dust collectors are divided into groups depending on the state of the liquid phase (devices in which dust deposition occurs on a film of liquid, foam devices, turbulent dust collectors or condensation devices) and on the method of dispersion of the liquid (nozzle scrubbers, devices in which crushing is carried out due to the energy of the gas-air flow or dynamic gas washers). In this article, the designs and operating features of various wet dust collectors of each of these groups are considered in accordance with their characteristics of dust collection, liquid flow rate and design shortcomings. On the basis of the works of a number of researchers, the characteristics of the fractional degree of air purification from dust are graphically presented to determine the most effective apparatus for capturing fine fractions. The conclusions are made and further tasks and plans for conducting the necessary experiments and analysis of the data of scientists' works are set.

Keywords: dust and gas cleaning; dust collection devices; aspiration; aspiration devices; aspiration emissions; wet dust collectors.