

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ПИЛОВЛОВЛЕННЯ ВІДЦЕНТРОВОІНЕРЦІЙНИХ АПАРАТІВ ВІД КОНСТРУКЦІЇ БУНКЕРА

Рассматриваются экспериментальные исследования центробежно-инерционных пылеуловителей с разной формой бункера для сбора пыли. Проведены сравнительные испытания для определения лучшей формы и типа бункера, позволяющие повысить эффективность улавливания пыли и снизить энерго- и металлоемкость.

In the article experimental researches are examined centrifugal-inertia пылеуловителей with the different form of bunker for collection of dust with the purpose of leadthrough of their comparative tests and selection of the best form and type of him, which will allow to promote efficiency of catching of dust, and to reduce energo and metal.

Постановка проблеми

Найбільші досягнення в галузі відцентрового вловлення твердих частинок з газових та рідинних потоків треба відзначити в частині апаратурного оформлення (конструювання), а не наукових розробок, що пояснюється, з одного боку, накопиченням багаторічного досвіду експлуатації промислових апаратів, а з іншого — великою складністю описування окремих явищ і характеристик гегерогенних систем: тверде тіло – газ, тверде тіло – рідина у відцентровому полі. Тому теорія роботи циклонів ще не вдосконалена і не дає можливості розраховувати циклони різних конструкцій. До цього часу тільки емпіричним шляхом вирішується питання про найвигідніші форми бункерів до них.

Аналіз останніх досліджень

Всі вдосконалення, які проводяться в циклонах, можна розділити на наступні групи: при підводі запиленого потоку в апарат (вхідний патрубок), сам корпус апарата, при відводі очищеного повітря з апарата (вихідний патрубок чистого повітря) і пил (бункер і вихідний патрубок виділеного в ньому пилу). Ми будемо розглядати тільки варіанти вдосконалень бункера апарата циліндрично-конічних апаратів, які складаються з циліндрично-конічного корпусу, розташованого співвісно з ним жалюзійного відокремлювача і відрізняються наявністю на виході патрубка для пилу, герметично з'єднаного з ним бункера. Недоліком апаратів без герметично під'єднаного бункера є те, що при виході пилу з пиловловлювача через пиловилуский патрубок існує: по-перше — підсмоктування газу в місці стику його з бункером, а по-друге — по центру пиловловлювача з бункера утворюється вторинний вихор, який рухається гвинтоподібно знизу вгору назустріч гвинтоподібному руху пилогозової суміші, яка рухається зверху вниз, але радіус її значно менший. Вторинний вихор захоплює вже виділений і зібраний в бункері пил, який

знов бере участь у процесі пилоочищення в апараті, тому що утворюється зона підвищеного тиску.

Руйнування великомасштабних турбулентних вихорів дозволяє апроксимувати рух пилогозового потоку макрохарактеристиками. Розміри жалюзі і відстані між ними визначають лінійні масштаби і інші характеристики великовихрвової турбулентності пилогозового потоку при його взаємодії з жалюзійним відокремлювачем.

Лінійні масштаби турбулентності, що характеризують переміщення поперек і вздовж потоку великих вихорів (L_{v0} , $L_{\omega0}$), можна отримати з формули Жуковського для аеродинамічної сили, прикладеної до вихору-циліндру одиничної довжини і направленої по нормалі до його осі:

$$P_y = \pi r_0^2 \rho_g U^2 A_0 / D_c, \quad (1)$$

де P_y — поперекова сила, H ; r_0 — радіус вихоря, m ; ρ_g — густина газу, kg/m^3 ; U — повздовжня швидкість обтікання вихоря (амплітуда пульсацій), m/s ; A_0 — параметр завихреності [1]; D_c — товщина шару зміщення, m .

Вага циліндра одиничної довжини дорівнює

$$m = \rho_g \pi r_0^2. \quad (2)$$

Імпульс сили Жуковського надає цій масі приріст кількості руху, що зводиться до формування поперечної відносної швидкості переміщення вихору:

$$P_y \Delta t_v = mV, \quad (3)$$

де V — поперекова швидкість обтікання вихора, m/s ; Δt_v — час поперекового зміщення осі вихора на відстань L_{v0} зі середньою швидкістю $0,5 V$, m/s , який дорівнює

$$\Delta t_v = 2 L_{v0} / V. \quad (4)$$

З (2) і (3) з врахуванням (4) отримуємо

$$V^2 = 2 L_{v0} U^2 A_0 / \Delta_c. \quad (5)$$

Знаходимо залежність поперекового зміщення L_{v0} осі вихору (амплітуду його поперечних коливань, що викликаються знакозмінністю пульсації швидкості і сили Жу-

ковського) від відносної величини квадрата поперечної швидкості:

$$\frac{L_{v0}}{\Delta_c} = \frac{V^2}{2A_0U^2} \quad (6)$$

Розраховано, що

$$V^2/U^2 = 0,65. \quad (7)$$

Відносне поперечне переміщення вихору викликає силу Жуковського, направлену по потоку або проти потоку, що призводить до повздовжнього переміщення вихору:

$$P_x = \pi r_0^2 g g V^2 A_0 / \Delta_c, \quad (8)$$

де P_x — сила повздовжнього переміщення вихору, H .

Причому

$$P_x \Delta t_u = mU, \quad (9)$$

де Δt_u — час переміщення вихору в повздовжньому напрямку, s ,

$$\Delta t_u = 2L_{u0}/U. \quad (10)$$

З (8) і (9) з врахуванням (10) виходить

$$U = 2L_{u0} \sqrt{A_0/D_c}. \quad (11)$$

Звідки

$$\frac{L_{u0}}{\Delta_c} = \frac{U}{2A_0V}. \quad (12)$$

Час переміщення вихору в поперечному і повздовжньому напрямках однаковий, а саме ($\Delta t_v = \Delta t_u$). При цьому з умов (12) отримуємо рівність відношення шляхів пробігу вихору кубу відношення відповідних компонент відносної швидкості, яке можна вважати таким, що дорівнює відношенню амплітуд пульсаційної швидкості:

$$\frac{L_{v0}}{L_{u0}} = \frac{V^3}{U^3}. \quad (13)$$

Підставляючи відношення компонент швидкості з (13) в (11), маємо для переміщень (шляхів пробігу) вихору наступні вирази:

$$\frac{L_{v0}}{\Delta_c} = \frac{0,325}{A_0}; \quad (14)$$

$$\frac{L_{u0}}{\Delta_c} = \frac{0,625}{A_0}. \quad (15)$$

При $A_0 = 2$ (для шару зміщення) $L_{v0} = 0,16\delta$; $L_{u0} = 0,31\delta$.

Товщина зони змішування в початковій ділянці згідно з дослідними даними дорівнює

$$\Delta_c = 0,27x. \quad (16)$$

Тому

$$\frac{L_{v0}}{x} = \frac{0,09}{A_0} \quad \text{і} \quad \frac{L_{u0}}{x} = \frac{0,17}{A_0}. \quad (17)$$

Знаючи розмах поперечних переміщень вихору і товщину зони змішування, можна оцінити величину радіусу вихоря. Поперечний переріз потоку заповнений трьома його складовими частинами: товщиною вихору $2r_0$ подвійним шляхом поперечного переміщення вихору $2L_{v0}$ і товщею потоку, оточуючого вихор Δy . Таким чином: $\Delta_c = 2r_0 + 2L_{v0} + \Delta y$.

З іншого боку, вісь вихору ділить товщину шару змішування на дві частини, величини яких відносяться, як

$$(r_0 + L_{v0} + \Delta y_1) / \Delta_c = 1/3. \quad (18)$$

Тут $\Delta y_1 < \Delta y$ — товщина тієї частини потоку, яка обтікає вихор з боку внутрішньої границі шару змішування. Внутрішній кордон є поверхнею стінки циклону, якої торкаються вихори при своєму поперечному русі, тобто $\Delta y_1 = 0$, звідси

$$r_0/\Delta_c + L_{v0}/\Delta_c = 1/3. \quad (19)$$

Тому можлива відносна величина радіусу вихору з врахуванням (19) складає при $A_0 = 2$

$$r_0/\Delta_c = 0,17.$$

Якщо збільшення вихорів відбувається за рахунок злиття кожний раз двох послідовно розташованих вихорів, то площі перетинів сусідніх вихорів повинні відрізнятись в два рази, тобто для їх радіусів справедливе співвідношення $r_2 = r_1 \sqrt{2}$, де r_1, r_2 — розміри вихоря відповідно до і після збільшення, m .

Злиття вихорів у шарі змішування, де послідовно розташовані вихори, мають одну і ту саму середню поступальну швидкість, може здійснюватися тільки за рахунок відносної швидкості U , але тоді відстань між сусідніми вихорами повинна складатись не більше двох амплітуд повздовжніх коливань, що з врахуванням (17) дає

$$\Delta x_0 = 2L_{u0} = 0,34x/A_0. \quad (21)$$

У дослідях отримано відстань між вихорами в плоскому шарі змішування $\Delta x = 0,37x$. Це означає, що не при кожному повздовжньому зміщенні відбувається зустріч і злиття сусідніх вихорів, а лише після 2–3 зміщень.

При постійній швидкості проходження пилоповітряного потоку в корпусі пиловловлювача зверху вниз при підході вихорів, утворених у ньому, до жалюзійного відокремлювача, вони стикаються з його жалюзьями і руйнуються: частина очищеного повітря проходить через щілини між жалюзьями, зменшуючи таким чином швидкість руху потоку вздовж жалюзійного відокремлювача і згідно закону Бернуллі при цьому збільшується статичний тиск навколо відокремлювача, а зменшені вже вихорі відкидаються до зовнішньої стінки корпусу апарата, де знов руйнуються при стиканні з нею.

Таким чином, зроблено теоретичне обґрунтування процесів руйнування вихорів у пилоочисних апаратах, що дозволяє розробити цілу низку конструкцій пиловловлювачів принципово нового типу, провівши аналіз роботи еталонного апарата, розробити конструкцію принципово нового пиловловлювача, переваги якого не викличуть сумнівів.

Основні результати досліджень

По «Єдиній методиці порівняльних випробувань пиловловлювачів» [1], що включає питання приготування пилу і визначення її параметрів, методу запилення повітря, що поступає в стенд, компонентів стенду, що визначають, потужності двигуна і число його обертів; типу вентилятора, ступеня деагломерації пилу при штучному запиленні повітря, яка є обов'язковою при проведенні такого роду досліджень, проведено порівняльні випробування 15 крапчик на сьогоднішній день апаратів «сухого» очищення.

Порівняльні випробування виділили як еталон циклон ЦН-11, дозволивши провести всі подальші дослідження порівняно з ним.

Аналіз ефективності роботи циклонів свідчить, що збільшення діаметру веде до зниження ефективності вловлювання пилу. Для отримання максимальної ефективності доводиться вдаватися до використання декількох циклонів, об'єднаних у батареї, що значно збільшує їх енерго- і металоемність, а також здорожчує конструкцію. Проте різні комбінації і варіанти конструктивного виконання схем пиловловлювання все одно не вирішують проблему вловлювання дрібнодисперсних частинок пилу. Частинки діаметром меншим за 10 мкм циклонами практично не вловлюються, а виносяться через вихлопний патрубок назовні.

Нами запропоновано конструкцію відцентрово-інерційного апарата з жалюзійним віддільником (рис. 1), проходження процесу сепарації, в якому можна представити таким чином.

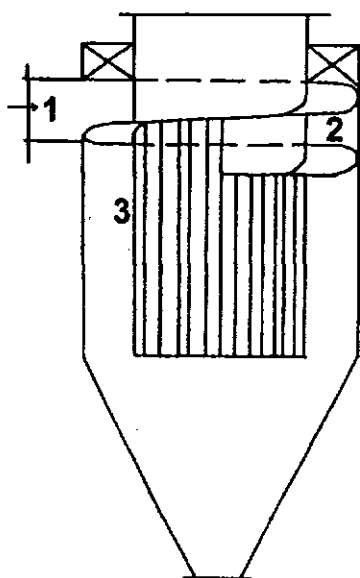


Рис. 1. Відцентрово-інерційний пиловловлювач.

На ділянці 1 пилогазова суміш рухається прямолінійно, запиленість по перетину апарата залишається рівномірною і швидкості руху частинок і газу однакові. На ділянці 2 під дією відцентрової сили частинки аерозолі відділяються від газу і відкидаються до стінки корпусу. Цьому процесу перешкоджає рикошет частинок від стінки. Чим більше початкова швидкість пилогазового

потoku, тим більше протидія їх відскоку з боку стінки, хоча частково це явище гаситься наступними частинками, які рухаються до стінки. У результаті на ділянці 2 відбувається пошарове розділення потоку: великі частинки аерозолі рухаються вздовж стінки корпусу апарата, а дрібні — навколо патрубка виходу чистого повітря. На ділянці 3 продовжує діяти відцентрова сила, але її вплив ослаблений через наявність радіального стоку. Залежно від переважання відцентрової або радіальної сили частинки будуть або рухатися спіралеподібно вздовж стінки корпусу зверху вниз, або ж рухатимуться до центру апарата. У будь-якому випадку потік, що рухається до жалюзійного віддільника, несе з собою дрібнодисперсний пил і проходить через отвори між його жалюзі, обтікаючи віддільник під можливо меншим кутом атаки (кутом між напрямком руху потоку і площиною кожної жалюзі). Частинки аерозолі, захоплені радіальним потоком, за рахунок своєї інерції не встигають за газом, стикаються з жалюзі віддільника, відбиваються нею, знову підхоплюються радіальним потоком, ударяються об наступну жалюзі, і так до тих пір, поки не потраплять у потік, який рухається зверху вниз уздовж стінки корпусу або ж не виявляться нижчими за віддільник, а потім будуть відтранспортовані в бункер апарата.

Застосування жалюзійного роздільника дало можливість:

1. Підвищити ефективність вловлювання дрібнодисперсних частинок аерозолі на 5–10%.
2. Збільшити оптимальну швидкість руху частинок в апараті до 25–30 м/с, що, у свою чергу, зменшило габарити апарата в порівнянні з циклоном ЦН-11 в 2,5 рази, а це в стільки ж разів зменшить металоемність.
3. Значно понизити гідравлічний опір апарата, тим самим зменшивши потужність вентилятора, що у свою чергу призвело до зниження енерговитрат.

Витікання газу з циклону здійснюється не по всьому перетину вихлопної труби, а по її кільцевій зовнішній поверхні. Дуже важливим є те, що після заповнення нижньої частини конуса корпусу пилом, що осів (у випадку відсутності бункера) до рівня, де радіальні складові швидкості потоку вже здатні розмивати осадок, осадження зупиняється. У зв'язку з цим для забезпечення безперебійної роботи апарата повинні додатково оснащуватись герметичними бункерами певної форми, що ми і пропонуємо.

Проведено дослідження трьох типів апаратів, які відрізняються формою бункера: 1 — циліндро-конічний, 2 — прямокутний, 3 — конусний (табл. 1). Переваги циліндрично-конічної форми бункера очевидні.

Нехай з тих чи інших причин тиск у корпусі і бункері різний, тоді там, де тиск менший, почнеться підсмоктування газу, і в апараті встановиться циркуляція підсмоктуваного газу в очищений газ, що веде до нерівномірності розподілення швидкостей і тисків. У бункері конусної форми менша інтенсивність циркуляції, що добре сприяє коагуляції дрібнодисперсних частинок, у ньому більш постійна швидкість радіального стоку. Але конусний бункер відразу звужує потік, тому для зменшення радіальних швидкостей руху потоку з метою виділення із нього частинок пилу нами запропоновано циліндрично-

конічна форма бункера з певним відношенням його радіусів і висот. Ці розміри вибрані експериментально залежно від діаметра і висоти самого апарата (табл. 2).

Таблиця 1
Визначення форми бункера циліндро-конічних апаратів

Розмір пилу, $1 \cdot 10^{-6}$ м	Швидкість повітря у вхідному патрубку, м/с	Ефективність вловлення пилу, %		
		при різній формі бункера		
		1	2	3
32	5	96.9	94.5	95.8
50	5	97.2	94.5	96.1
32	10	98.1	95.3	96.1
50	10	98.3	95.8	96.7
32	15	98.4	96.1	96.6
50	15	98.6	96.6	97.2
32	20	98.5	96.4	97.1
50	20	98.7	96.8	97.4
32	25	98.7	96.2	96.8
50	25	98.9	96.5	97.1

Таблиця 2
Визначення діаметра бункера циліндрично-конічних пиловловлювачів

Витрати повітря, м ³ /год	Розмір пилу, $1 \cdot 10^{-6}$ м	Діаметр корпусу, $1 \cdot 10^{-3}$ м	Діаметр бункера, $1 \cdot 10^{-3}$ м	Відношення діаметрів корпусу і бункера	Ефективність вловлення пилу, %
3000	32	800	800	1	97.0
3000	32	800	727	1.1	98.3
3000	32	800	700	1.143	98.7
3000	32	800	696	1.15	98.4
3000	32	800	690	1.16	96.8
3000	32	800	666	1.2	96.7
3000	32	800	640	1.25	96.3
3000	32	800	615	1.3	95.9
3000	32	800	593	1.35	95.3

Залежність ефективності роботи апарата від витрат повітря представлено на рис. 1, від медіанного діаметру — на рис. 2.

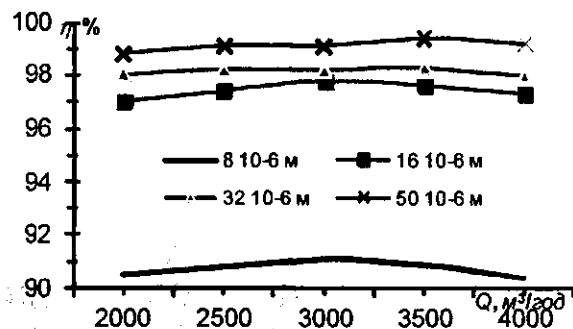


Рис. 1. Залежність ефективності роботи апарата від витрат повітря.

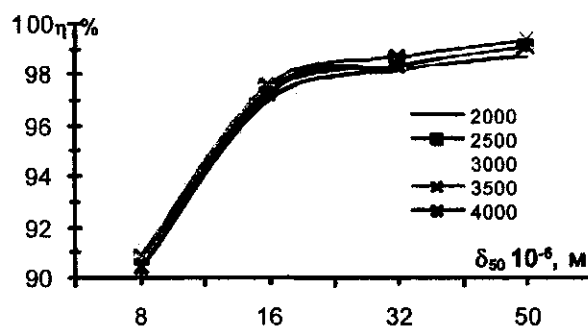


Рис. 2. Залежність ефективності роботи апарата від медіанного діаметру пилу.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Експериментальні дослідження запропонованих апаратів у порівнянні з найкращим із існуючих апаратів циклоном ЦН-11 дозволяють говорити про значне (до 4–7%) підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсного пилу у запропонованій системі пилоочистки, а це відкриває широкі перспективи для впровадження запропонованої конструкції і дозволяє знизити промисловий негативний вплив на атмосферу і зменшити загрозу глобальних наслідків для майбутніх поколінь, шляхом проведених серйозних інженерних рішень з попередження викидів дрібнодисперсних аерозолів.

Література

1. Батлук, В.А., Шелюх, Ю.Є., Мельников, А.В., Яцок, Р.А. Высокоэффективное улавливание полидисперсной пыли, образующейся при механической обработке сыпучих материалов и сред // Обработка дисперсных материалов и средовищ, теорія дослідження технології обладнання: Міжнародний періодичний збірник наукових праць. — Вип. 12. — Одеса: НПО «Вотум», 2002. — С. 101–104.

Надійшла 14.04.2010 р.