

УДК 621.928.93

О.С. Ковров, канд. техн. наук, доц.

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: kovrova@nmu.org.ua, kovrov@rambler.ru

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЦИКЛОНІВ ДЛЯ ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ

O.S. Kovrov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: kovrova@nmu.org.ua, kovrov@rambler.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION OF DEDUSTING CYCLONE OPERATIONAL PARAMETERS

Циклони є найпоширенішими апаратами сухої механічної очистки технологічних газів від пилу. Враховуючи широке використання циклонів у сучасних виробничих процесах, основним питанням щодо доцільності їх експлуатації залишається обґрунтований та вірогідний розрахунок основних технологічних параметрів, зокрема ефективності пиловловлювання. Аналіз вітчизняних та закордонних методик розрахунків відцентрових пиловловлювачів є корисним для розвитку науки й практики в галузі очистки газопилових викидів та охорони атмосфери.

Мета. Аналіз переваг і недоліків вітчизняної та закордонної методик розрахунку параметрів роботи відцентрових пиловловлювачів.

Методика. Робота базується на аналітичних дослідженнях альтернативних методик розрахунку циклонних пиловловлювачів та оцінки їх фракційної й загальної ефективності.

Результати. Виконано порівняльний аналіз інженерних методів оцінки ефективності роботи відцентрових пиловловлювачів за вітчизняною методикою та методом Лапле. Виконано типовий розрахунок фракційної та загальної ефективності циклону за різними інженерними методиками. Вітчизняна методика базується на виборі циклону відповідної марки та типорозміру з урахуванням кількісно-якісних характеристик газової суміші та дисперсного складу пилу. Альтернативна методика Лапле використовує напівемпіричний підхід і дозволяє обчислити фракційну та загальну ефективність пиловловлювання для високоефективних, звичайних та високопродуктивних циклонів у залежності від діаметру його циліндричної частини.

Наукова новизна. Аналіз різних підходів стосовно інженерного розрахунку циклонів дає можливість виявити пріоритетність та ступінь впливу окремих технологічних параметрів на ефективність пиловловлювання.

Практична значимість. Методика Лапле є сучасним алгоритмом вибору та обґрунтування циклонів, що враховує більш жорсткі екологічні вимоги стосовно вловлювання дрібних та середніх фракцій пилу, які є небезпечними для довкілля та безпеки життєдіяльності людини. Такий інженерний метод є доцільним для впровадження у програми професійної підготовки фахівців у галузі охорони атмосфери, проектування систем вентиляції та газоочистки.

Ключові слова: *циліндричний циклон НДЮГАЗ, методика розрахунку циклонів Лапле, фракційний розподіл пилу, фракційна ефективність пиловловлювання*

Постановка проблеми. Циклони завдяки дешевизні та простоті будови й обслуговування, порівняно невеликому опору й високій продуктивності є найпоширенішими апаратами сухого механічного пиловловлювання.

Циклонні пиловловлювачі мають значні переваги в сучасних технологіях, а саме:

- відсутність рухомих частин в апараті; надійне функціонування при температурах газів майже до 500°C без будь-яких конструктивних змін (якщо передбачається використання більш високих температур, то апарати можна виготовляти із спеціальних матеріалів);

- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті внутрішньої поверхні циклонів спеціальним покриттям;

- пил вловлюється в сухому виді;
- гідравлічний опір апаратів майже постійний;
- апарати успішно працюють при високих значеннях тиску газів;
- пиловловлювачі надто прості у виготовленні;
- зростання запиленості газів не приводить до зниження фракційної ефективності очищення.

Правильно запроектовані циклони можуть експлуатуватися надійно протягом багатьох років. Разом з тим необхідно мати на увазі, що гідравлічний опір високоефективних циклонів досягає 1250...1500 Па, тому частинки розміром менше 5 мкм вловлювати циклонами погано.

Ураховуючи широке використання циклонів у сучасних технологічних процесах, основним питанням щодо доцільності їх експлуатації залишається обґрунтований та вірогідний розрахунок основних параметрів, зокрема ефективності пиловловлювання. Тому порівняльний аналіз вітчизняних та закордонних методик розрахунків відцентрових пиловловлювачів є корисним для розвитку науки й практики в галузі очистки газопилових викидів та охорони атмосфери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі для технологічних розрахунків циклонів у системах вентиляції й очистки газопилових викидів використовують методику, представлену в „Довіднику з пило- та золоуловлювання“ [1]. У Довіднику представлено всі практичні задачі щодо очищення газів від пилу з використанням циліндричних (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24) і конічних (СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М і СДК-ЦН-33) циклонів НДЮГАЗ (Державний науково-дослідний інститут з промислового і санітарного очищення газів), ВЦНДІОП, Дніпродеревопрому тощо. Аналіз останніх досліджень і публікацій стосовно використання циклонів свідчить про те, що цей напрям є достатньо опрацьованим із позицій теоретичного знання та практичного застосування.

Формулювання цілей та постановка задач.

Мета роботи полягає у проведенні порівняльного аналізу традиційної [1] та альтернативної методик розрахунку циклонів для очистки технологічних газів від пилу.

Задачі роботи:

1. Виконати порівняльну характеристику інженерних методів розрахунку ефективності циклонів.
2. Виконати типовий розрахунок циклонів за різними методиками та проаналізувати результати.

Викладення основного матеріалу. На рис. 1. наведено схематичне зображення потоків повітря в циклоні.

Запилене повітря з великою швидкістю вводиться тангенціально в апарат. Сформований тут обертовий потік спускається кільцевим простором (утвореним циліндричною частиною циклону та вихлопною трубою) до його конічної частини, а потім, продовжуючи обертатися, виходить через вихлопну

трубу. Частинки, маса яких достатньо велика, відділяються від потоку, досягають стінок циклону й під дією гравітаційних та відцентрових сил опускаються до бункера циклону. Чим більші частинки, завислі в потоці, і чим інтенсивніший (у відомих межах) обертовий рух, тим ефективніше очищається газ.

За конструктивним виконанням циклони відзначаються великою різноманітністю влаштування підводу запиленого газу (тангенціальний, тангенціальний похилий, спіральний, осьовий з направляючим апаратом) і самого корпусу (циліндричний, перехідний у конус, з переважно розвинутою конічною частиною, конічний, з розширеною конічною частиною, з подвійною стінкою).

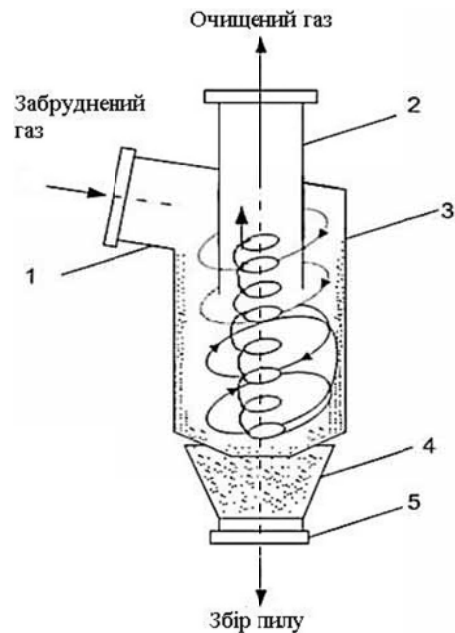


Рис. 1. Рух газового потоку у циклоні [2]: 1 – вхідний патрубок; 2 – вихлопна труба; 3 – корпус; 4 – пилоосаджувальний бункер; 5 – пиловий затвор

Методика розрахунку циклонів (вітчизняна).

Конструктивні розміри циліндричних циклонів НДЮГАЗ у частках внутрішнього діаметру D наведені в табл. 1. Для вищенаведених циклонів прийнятний ряд внутрішніх діаметрів D , мм: 200; 300; 400; 500; 600; 700; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2400 і 3000.

Продуктивність циклону залежить від його діаметру, збільшуючись зі зростанням останнього. Ефективність очищення циклонів серії ЦН зменшується зі збільшенням кута входу до циклону. Циліндричні циклони серії ЦН рекомендується використовувати для попереднього очищення газів і встановлювати перед фільтрами чи електрофільтрами.

Для розрахунку циклонів необхідні наступні вихідні дані:

- кількість газу Q_p , що очищається при робочих умовах, м³/с;

- густина газу ρ_g при робочих умовах, кг/м³;
- динамічна в'язкість газу μ при робочій температурі, Н-с/м²;
- дисперсний склад пилу, що задається двома параметрами d_{50} , мкм, і $lg\sigma_g$;
- запиленість газу, C , г/м³;
- густина часток пилу ρ_p , кг/м³;
- необхідна ефективність очищення газу η , %.

Розрахунок виконується методом послідовних наближень у такій послідовності.

1. Задаємося типом циклону та визначаємо оптимальну швидкість газу в апараті W_{opt} (м/с) за даними табл. 2.

2. Визначаємо необхідну площу перерізу циклону S (м²) за формулою

$$S = \frac{Q_p}{W_{opt}} \quad (1)$$

3. Визначаємо діаметр циклону D (м) за формулою

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (2)$$

Отримане за (2) значення D округлюється до величин: 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2400; 3000 мм. Якщо розрахунковий діаметр перевищує його максимально допустиме значення, то необхідно застосувати декілька N паралельно встановлених циклонів.

4. За обраним діаметром циклону знаходимо дійсну швидкість W_0 (м/с) газу в циклоні

$$W_0 = \frac{4Q}{\pi ND^2} \quad (3)$$

Отримане за (3) значення дійсної швидкості газу в циклоні не повинно відхилитися від оптимальної швидкості більше, ніж на 15%.

5. Із табл. 2 або 3 обирається коефіцієнт гідравлічного опору ξ , відповідний заданому типу циклону. Для циклонів НДЮГАЗ (одиначних чи груп) вводяться уточнюючі поправки за формулою

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500}^{c(n)} + K_3, \quad (4)$$

де $\xi_{500}^{c(n)}$ – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона діаметром 500 мм (табл. 3). У (4) індекс „с“ означає, що циклон працює в гідравлічній мережі, а „n“ – без мережі, тобто із безпосереднім викидом до атмосфери; K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклону, що для циклонів НДЮГАЗ діаметрами 150; 200; 300; 450; 500 мм дорівнює 0,85; 0,9; 0,93; 1,0; 1,0 відповідно; K_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газу (табл. 4); K_3 – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску для груп циклонів (табл. 5). Для одиночних циклонів $K_3 = 0$.

6. Втрати тиску в циклоні на вході та виході обчислюються за формулою

$$\Delta P = P_{ax} - P_{aux} = \frac{\xi \cdot \rho_g \cdot W^2}{2}, \quad (5)$$

де P_{ax} та P_{aux} – значення тиску на вході до циклону та на виході з апарату відповідно; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору циклону; густина газу ρ_g при робочих умовах.

Таблиця 1

Конструктивні розміри циліндричних циклонів (у частках діаметру D)

Геометричний розмір	Тип циклона		
	ЦН-15/ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Кут нахилу кришки й вхідного патрубку циклона, град.	15/15	24	11
Висота вхідного патрубку, параметри, ед. изм.	0,66/0,66	1,11	0,48
Висота вихлопної труби	1,74/1,5	2,11	1,56
Висота циліндричної частини циклона	2,26/1,51	2,11	2,06
Висота конусу циклона	2,0/1,5	1,75	2,00
Загальна висота циклона	4,56/3,31	4,26	4,38
Ширина вхідного патрубку в циклоні	0,2	0,20	0,20

Таблиця 2

Параметри, що визначають ефективність роботи циклонів

Параметри	Одиниці виміру	Циклони НДЮГАЗ				Циклони ВЦНДЮП і Дніпродеревпром		
		ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СЮП	ВЦНДЮП	Дніпродеревпром (тип Ц)
d_{50}^T	мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,6	8,6	4,12
$lg \sigma_\eta^T$	безрозм.	0,308	0,283	0,352	0,352	0,28	0,32	0,34
W_{opt}	м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	1,00	4,00	3,3
ξ	Н-с/м ²	75	165	155	245	1400	75	210

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів опору циклонів типу НДЮГАЗ, Н-с/м² (при D = 500 мм, W = 3 м/с)

Тип циклона	d/D	Без додаткових пристроїв		З кільцевим дифузором		З вихідним рав- ликом
		ξ_{η}^c	ξ_{η}^n	ξ_{η}^c	ξ_{η}^n	
ЦН-11	0,59	245	250	207	215	235
ЦН-15	0,59	155	163	132	140	150
ЦН-15У	0,59	165	170	140	148	158
ЦН-24	0,59	75	80	64	70	73

Якщо втрати тиску ΔP виявилися допустимими ($\Delta P_{дон} \leq 2500$ Па), далі виконується розрахунок повного опору очищення газу в циклоні. При цьому приймається, що коефіцієнт очищення газів в одиночному циклоні та у групі циклонів однаковий. У дійсності коефіцієнт очищення газів у групі циклонів може виявитися нижчим, ніж в одиночному циклоні за рахунок перетікання газу через загальний бункер.

7. За даними табл. 2 обирають параметри d_{50}^T та $lg \sigma_{\eta}^T$, обчислюють середній розмір часток пилу (медіанну тонкість очищення) d_{50} за робочих умов (діаметр циклона D, швидкість потоку W, густина пилу ρ_n , динамічна в'язкість газу μ) за наступною формулою

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D}{D_T} \cdot \frac{\rho_n^T}{\rho_n} \cdot \frac{\mu}{\mu_T} \cdot \frac{W_T}{W}}, \quad (6)$$

де d_{50}^T – розмір часток, що вловлюються умовним (типним) циклоном на 50%, для якого встановлені значення діаметра $D_T = 0,6$ м, середньої швидкості газу $W_T = 3,5$ м/с, щільності часток пилу $\rho_n^T = 1930$ кг/м³, динамічної в'язкості газу $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Н-с/м².

8. Ефективність пиловловлювання в циклоні η , %, знаходимо за формулою

$$\eta = 50 [1 + \Phi(x)], \quad (7)$$

де $\Phi(x)$ – таблицна функція залежності від параметру x, що дорівнює

$$x = \frac{lg \left(\frac{d_{pj}}{d_{50}} \right)}{\sqrt{lg^2 \sigma_{\eta}^T + lg^2 \sigma_{\eta}}}, \quad (8)$$

де d_{pj} – розмір часток пилу j-ї фракції газопилової суміші, мкм; $lg \sigma_{\eta}$ – ступінь полідисперсності пилу. Значення d_{50} і $lg \sigma_{\eta}$ для деяких видів пилу наведені в табл. 6.

9. Знаходимо значення нормальної функції розподілу $\Phi(x)$ ефективності очистки газу, відповідно, до розрахованого за (8) значень x [1]. Якщо розрахункове значення η виявиться меншим за необхідне з умов допустимого викиду пилу до атмосфери, то необхідно вибрати інший тип циклона з більшим значенням коефіцієнта гідравлічного опору.

Розрахункове значення ефективності η пиловловлювання в циклоні порівнюється з необхідним (проектним) показником ефективності η_{np} , з урахуванням концентрації пилу в газовій суміші до циклона та після апарату, що обчислюється за формулою

$$\eta_{np} = \frac{C_{ex} - C_{вих}}{C_{ex}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

де $C_{ex}, C_{вих}$ – концентрація пилу в газопиловій суміші на вході до циклона та на виході з апарату, г/м³.

Таблиця 4

Значення поправочних коефіцієнтів K_2 на запиленість газів при D = 500 мм

Тип циклона	Запиленість газів, C_{ex} , г/м ³						
	1	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86

Таблиця 5

Значення поправочних коефіцієнтів K_3 для груп циклонів ЦН

Характеристика групового циклона	Значення коефіцієнта K_3
Кругова компоновка, нижнє організоване підведення	60
Прямокутна компоновка, організоване підведення, циклонні елементи розташовані в одній площині. Відведення із загальної камери чистого газу	35
Прямокутна компоновка, равликове відведення із циклонних елементів	28
Прямокутна компоновка. Вільне підведення потоку в загальну камеру	60

Таблиця 6

Значення середнього розміру частинок (d_{50}) і полідисперсності ($lg\sigma_v$) для деяких видів пилу

Технологічний процес	Вид пилу	d_{50} , мкм	$lg\sigma_v$
Заточка інструменту	метал, абразив	38	0,214
Розмелювання в кулястому млині	цемент	20	0,468
Сушіння вугілля в барабані	кам'яне вугілля	15	0,334
Експериментальні дослідження	кварцовий пил	3,7	0,405

Таблиця 7

Фізичні розміри циклонів за методом Лапле

Показник	Тип циклона		
	Високоєфективний	Звичайний	Високопродуктивний
Діаметр циклона в циліндричній частині, D , м	1,0	1,0	1,0
Висота впускної труби, H , м	0,44 D	0,5 D	0,75 D
Ширина впускної труби, W , м	0,2 D	0,25 D	0,35 D
Діаметр газовипускного патрубку, D_e , м	0,4 D	0,5 D	0,75 D
Довжина випускного газоходу в циклоні, S , м	0,5 D	0,6 D	0,85 D
Довжина циліндричної частини циклона, L_b , м	1,5 D	2,0 D	1,7 D
Довжина конічної частини циклона, L_c , м	2,5 D	2,0 D	2,0 D
Діаметр бункерної частини циклона, D_d , м	0,4 D	0,25 D	0,375 D

Методика розрахунку циклонів методика Лапле.

В університетах Америки та Європи в рамках курсу з очистки газопилових викидів для розрахунку ефективності циклонів використовується методика Лапле, що дозволяє обчислити фракційну та загальну ефективність пиловловлювання та яка адаптована для високоєфективних, звичайних та високопродуктивних циклонів.

Умовні розміри циклонів за трьома типами наведено в табл. 7. Вибір розміру та типу циклону залежить від витрат газової суміші, проектної ефективності газоочистки, фракційного розподілу часток та інших параметрів.

У циклоні (рис. 2) газовий потік надходить тангенціально в результаті чого виникає ефект вихру.

Кількість обертів, що перетерплює частка пилу, обчислюється за формулою

$$N_e = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right], \quad (10)$$

де N_e – кількість обертів; H – висота впускної труби, м; L_b – довжина циліндричної частини циклона, м; L_c – довжина конічної частини циклона, м.

Час, протягом якого газ перебуває у вихровому потоці, дорівнює

$$\Delta t = \frac{2\pi R N_e}{V_i}, \quad (11)$$

де R – радіус циліндричної частини циклона, м; V_i – початкова швидкість газового потоку, м/с, що розраховується за наступною формулою

$$V_i = \frac{M}{W \cdot H}, \quad (12)$$

де Q_p – витрата суміші, м³/с; W та H – ширина та висота впускної труби відповідно, м².

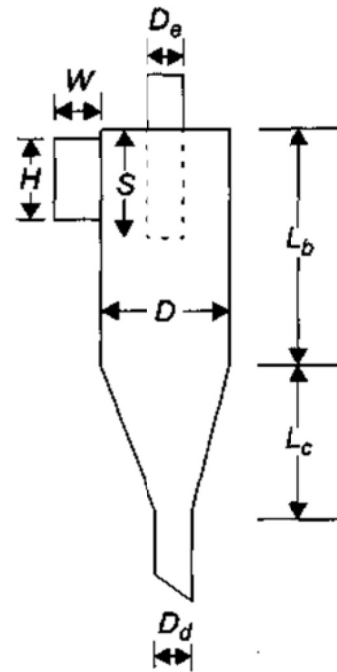


Рис. 2. Структурні елементи циклона: D – діаметр циліндричної частини; D_e – діаметр газовипускного патрубку; D_d – діаметр бункерної частини; H – висота впускної труби; L_b – довжина циліндричної частини; L_c – довжина конічної частини; S – довжина випускного газоходу всередині циклона; W – ширина вхідного газоходу

Унаслідок дії відцентрової сили розвивається максимальна швидкість частки в газовому потоці, коли відцентрова сила дорівнює силі тертя.

Максимальна відстань, яку частка проходить у циклоні з максимальною швидкістю, дорівнює ширині вхідного газоходу W . Таким чином, максимальна швидкість частки в радіальному напрямку

$$V_r = \frac{W}{\Delta t} \quad (13)$$

Швидкість будь-якої частки газового потоку може бути представлена як

$$V_r = \frac{d_p^2 (\rho_n - \rho_g) V_i^2}{18 \mu R} \quad (14)$$

де d_p – діаметр часток, м; ρ_n – щільність часток пилу, кг/м³; ρ_g – щільність газу, кг/м³; μ – коефіцієнт опору середовища, кг/(м·с).

Підставляючи рівняння 11 в 13 і дорівнюючи потім рівняння 13 й 14, отримаємо формулу 15 для визначення діаметру часток пилу, що вловлюються циклоном

$$d_p = \sqrt{\frac{9 \mu W_i}{\pi N_e V_i (\rho_n - \rho_g)}} \quad (15)$$

Теоретично d_p – діаметр найменшої частки, що вловлюється в циклоні, і будь-які частки з більшим розміром повинні вловлюватися на 100%. Однак на практиці досягти 100%-ї ефективності не можливо.

Для більш точних обчислень використовують напівемпіричну формулу Лапле для розрахунку часток пилу, що вловлюються на 50%, та обчислюються за формулою

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9 \mu W}{2 \pi N_e V_i (\rho_n - \rho_g)}} \quad (16)$$

Ефективність уловлювання часток будь-якого розміру обчислюється за наступною формулою

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} \quad (17)$$

де η_j – ефективність уловлювання часток j -го розміру, част. од.; d_{pj} – діаметр часток, м.

Загальна ефективність пиловловлювання цикло-ну $\eta_{заг}$, %, є сумою ефективностей уловлювання часток різних фракцій та обчислюється за формулою

$$\eta_{заг} = \sum_{j=1}^n \eta_j \cdot m_j \quad (18)$$

де m_j – масова частка часток j -го розміру, % [3].

Відповідно, викид в атмосферу часток пилу P , %, розраховується за наступною формулою

$$P = 100 - \eta_{заг} \quad (19)$$

Розв'язання типової задачі. Припустимо, що для очистки вентиляційного викиду від ділянки пересипу вугілля технологічного комплексу поверхні вугільної шахти необхідно встановити звичайний циклонний пиловловлювач з діаметром циліндричної частини

$D = 0,5$ м з проектною ефективністю не менше $\eta_{пр} = 85\%$. Потрібно розрахувати фракційну та загальну ефективність пиловловлювання.

Вихідні дані:

- кількість газу $Q_p = 6500$ м³/год (1,806 м³/с);
- густина газу при робочих умовах $\rho_g = 0,89$ кг/м³;
- густина часток пилу $\rho_n = 1750$ кг/м³;
- динамічна в'язкість газу $\mu = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м² = 0,08 кг/м·год;
- дисперсний склад пилу, заданий параметрами $d_{50} = 15$ мкм і $lg\sigma_g = 0,334$;
- запиленість газу $C^{ex} = 21,5$ г/м³.

Фракційний розподіл часток пилу за даними інвентаризації джерел викидів наведений у табл. 8.

Розв'язання. Для розрахунку цикло-ну за вітчизняним методом [1] обрано циклон марки ЦН-11 з діаметром циліндричної частини $D = 0,5$ м з параметрами, зазначеними в табл. 2–5. Для розрахунку цикло-ну за методом Лапле обрано звичайний циклон такого ж діаметру з фізичними розмірами, зазначеними в табл. 7.

Таблиця 8

Фракційний розподіл часток пилу

Усереднені значення фракційного складу пилу, d_{pj} , мкм	Фракційний розподіл часток (% маси), m_j
1	1,0
3	9,0
5	10,0
8	30,0
14	30,0
24	14,0
40	5,0
75	1,0

Як видно з табл. 9, представлені результати розрахунку питомої ефективності уловлювання пилу в циклоні, отримані за альтернативними методиками, мають відмінності для фракцій дрібнодисперсного пилу, проте для часток більших розмірів ці значення мають незначні відхилення.

Таблиця 9

Питома ефективність уловлювання пилу в циклоні

Діаметр часток, d_{pj} , мкм	Питома ефективність уловлювання пилу, $\eta_j \cdot m_j$, %	
	за вітчизняною методикою [1]	за методом Лапле
1	0,55	0,08
3	6,12	3,98
5	7,70	6,88
8	25,48	25,48
14	27,69	28,36
24	13,53	13,73
40	4,94	4,96
75	1,00	1,00
Загальна ефективність, $\eta_{заг}$	86,99	84,47

На рис. 3 представлено ефективність циклону, що є функцією фракційного розподілу пилу.

Фракційна та загальна ефективність циклону, що представлені на рис. 3, відрізняються в діапазоні розміру часток 3...55 мкм. Розбіжність значень загаль-

ної ефективності становить приблизно 3%. Як видно на рис. 3, методика Лапле ставить більш жорсткі вимоги до процедури вибору та використання циклонів, особливо для вловлювання дрібних (до 10 мкм) та середніх (10–40 мкм) фракцій пилу.

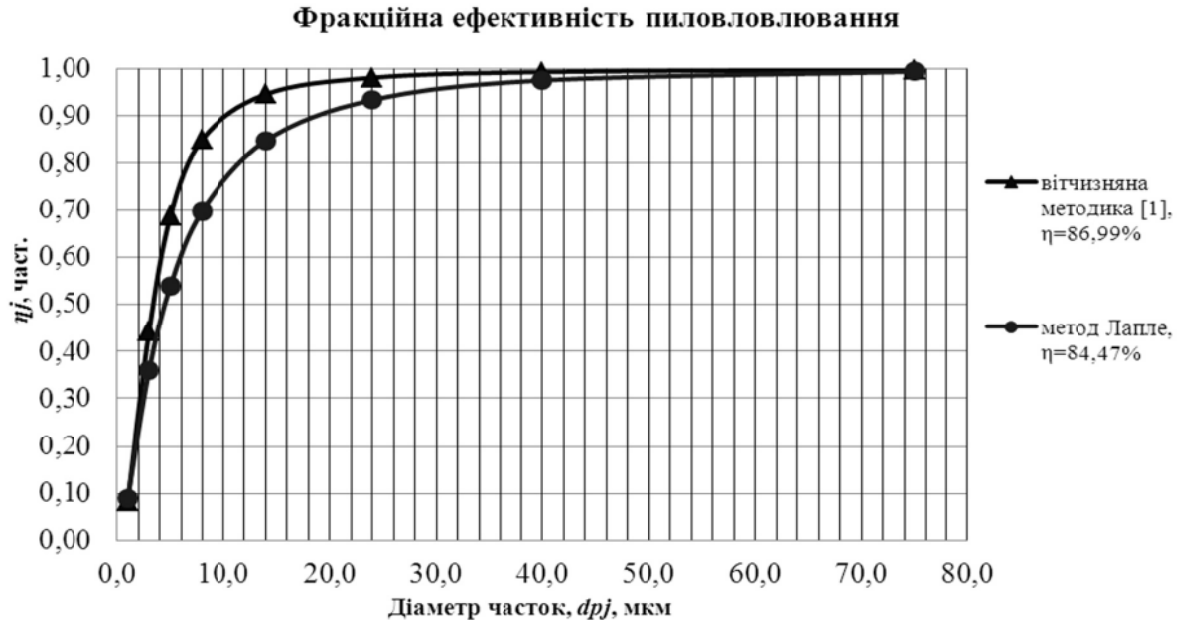


Рис. 3. Діаграма фракційної та загальної ефективності циклону за різними розрахунковими методиками

Висновки. Аналіз отриманих результатів розрахунку циклонів свідчить про те, що в цілому дві представлені альтернативні методики дають задовільні результати щодо оцінки загальної ефективності циклонів.

Вітчизняна методика [1] базується на виборі циклону відповідної марки та типорозміру з урахуванням кількісно-якісних характеристик газової суміші та дисперсного складу пилу. Критичним параметром при виборі типу циклону є значення обчисленої різниці тиску на вході та виході, що залежить від гідравлічного опору газового середовища.

Альтернативна методика Лапле використовує напівемпіричний підхід і дозволяє обчислити фракційну та загальну ефективність пиловловлювання для високоефективних, звичайних та високопродуктивних циклонів у залежності від діаметру його циліндричної частини. Критичним параметром при обґрунтуванні циклонного пиловловлювача є розмір часток пилу, що вловлюються на 50%.

У цілому, методика Лапле є сучасним та більш доцільним алгоритмом вибору та обґрунтування циклонів, що враховує більш жорсткі екологічні вимоги стосовно вловлювання дрібних та середніх фракцій пилу, що є небезпечними для довкілля та безпеки життєдіяльності людини.

Список літератури / References

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию / [Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. и др.]; под

общ. ред. А.А. Русанова. – [3-е изд.], перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с., ил.

Birger, M.I., Waldberg, A.Yu. and Myagkov, B.I. (1983), *Spravochnik po pylе- i zoloulavlivaniyu* [Reference Book on Dust and Ash Removal], Energoatomizdat, Moscow, Russia.

2. Природоохоронні технології. Захист атмосфери. Частина 1. [Петрук В.Г., Северин Л.І., Васильківський І.В., Безвозюк І.І.]. – Вінниця: „Універсум-Вінниця“, 2010. – 318 с.

Petruk, V.G., Severyn, L.I., and Vasylykivskiy, I.V., Bezvozyuk, I.I. (2010), *Pryrodoohoronni tehnologii. Zahyst atmosfery. Chastyna 1.* [Environmental Technologies. Vol.1. Air Pollution Control], “Universum-Vinnytsya”, Vinnytsya, Ukraine.

3. Cooper, C.D. and Alley, F.C. (2002), *Air Pollution Control: A Design Approach.* Waveland Press, Inc., Prospect Heights, Illinois.

Циклоны являются самыми распространенными аппаратами сухой механической очистки технологических газов от пыли. Учитывая широкое использование циклонов в современных производственных процессах, основным вопросом относительно целесообразности их эксплуатации является обоснованный и достоверный расчет основных технологических параметров, в частности эффективности пылеулавливания. Анализ отечественных и зарубежных методик расчетов центробежных пылеуловителей является полезным для разви-

тия науки и практики в области очистки газопылевых выбросов и охраны атмосферы.

Цель. Анализ преимуществ и недостатков отечественной и зарубежной методик расчета параметров работы центробежных пылеуловителей.

Методика. Работа базируется на аналитических исследованиях альтернативных методик расчета циклонных пылеуловителей и оценки их фракционной и общей эффективности.

Результаты. Выполнен сравнительный анализ инженерных методов оценки эффективности работы центробежных пылеуловителей по отечественной методике и методу Лапле. Выполнен типичный расчет фракционной и общей эффективности циклона по различным инженерным методикам. Отечественная методика базируется на выборе циклона определенной марки и типоразмера с учетом качественно-количественных характеристик газовой смеси и дисперсного состава пыли. Альтернативная методика Лапле использует полуэмпирический подход и позволяет вычислить фракционную и общую эффективность пылеулавливания для высокоэффективных, обычных и высокопроизводительных циклонов в зависимости от диаметра его цилиндрической части.

Научная новизна. Анализ разных подходов относительно инженерного расчета циклонов дает возможность выявить приоритетность и степень влияния отдельных технологических параметров на эффективность пылеулавливания.

Практическая значимость. Методика Лапле является современным алгоритмом выбора и обоснования циклонов, учитывающим более жесткие экологические требования применительно к улавливанию мелких и средних фракций пыли, которые являются опасными для окружающей среды и безопасности жизнедеятельности человека. Такой инженерный метод целесообразен для внедрения в программы профессиональной подготовки специалистов в области охраны атмосферы, проектирования систем вентиляции и газоочистки.

Ключевые слова: *цилиндрический циклон НИИОГАЗ, методика расчета циклонов Лапле, фракционное распределение пыли, фракционная эффективность пылеулавливания*

Cyclones are the most common devices for dry mechanical cleaning of technological gases from dust parti-

cles. Considering the widespread use of cyclones in modern industrial processes, the main question of the appropriateness of their application is reasonable and reliable design procedure for main technological parameters, the dust collection efficiency in particular. The analysis of domestic and international design techniques for centrifugal dust collectors is useful for the development of theory and practice in the field of gas and dust emissions control and atmosphere protection.

Purpose. To assess advantages and disadvantages of the domestic and foreign design procedures of centrifugal dust collector operating parameters.

Methodology. The article is based on the analytical study of alternative methods for design techniques of cyclone dust collectors and evaluation of their fractional and overall efficiency.

Findings. The comparative analysis of domestic engineering technique and international Lapple technique for assessment of centrifugal dust collector efficiency has been carried out. Typical engineering design of fractional and overall efficiency of a cyclone based on the different engineering techniques has been carried out. Domestic technique is based on the selection of a particular type of cyclone considering qualitative and quantitative characteristics of the gas and dust dispersion. An alternative technique of Lapple uses the semi-empirical approach that allows calculate the fractional and overall dust collection efficiency for high-performance, standard and high-production cyclone according to the diameter of its cylindrical part.

Originality. The analysis of different approaches with respect to engineering design of cyclones helps us to determine the priority and impact of certain process parameters on the efficiency of dust collection.

Practical value. The Lapple technique is a modern algorithm for selection and justification of cyclones that takes into consideration more stringent environmental requirements regarding capturing small and medium-sized dust particles, which are hazardous to environment and human life safety. This engineering technique is suitable for implementation into the training curriculum of specialists in the field of air pollution control, and design of ventilation and gas cleaning.

Keywords: *cylindrical cyclone NIIOGAZ, Lapple cyclone design technique, dust fractional distribution, fractional dust collection efficiency*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.С. Колесником. Дата надходження рукопису 17.12.12.