

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

О. С. Ковров

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Методичні рекомендації до виконання курсової роботи
для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»
зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища

Дніпро
НТУ «ДП»
2024

Технології захисту атмосферного повітря [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання курсової роботи для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища / уклад. О. С. Ковров ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 26 с.

Укладач:

О. С. Ковров, д-р техн. наук, проф.

Затверджено науково-методичною комісією зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища (протокол № 9 від 28.06.2024 р.) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 12 від 28.06.2024 р.).

Подано методичні рекомендації до виконання курсової роботи для студентів освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, варіанти завдань з рекомендаціями до їх виконання, питання для самоконтролю, список використаної та рекомендованої літератури.

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності здобувачів ступеня бакалавра зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища та закріплення практичних навичок у засвоєнні дисципліни «Технології захисту атмосферного повітря».

Відповідальний за випуск завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища О. О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.

З М І С Т

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	4
1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	5
1.1. Класифікація видів аерозольних забруднень атмосфери та способів очистки пилогазових викидів.....	5
1.2. Ефективність газоочисного обладнання.....	7
1.3. Циклони.....	8
1.4. Розрахунок циклону за методикою Лапле	9
1.5. Аерозольні скрубери.....	12
2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	14
2.1. Приклад розрахунку циклону.....	14
2.2. Приклад розрахунку аерозольного скрубера	18
2.3. Завдання на курсову роботу.....	19
2.4. Вимоги до оформлення курсової роботи.....	20
Питання для самоконтролю.....	20
3. Варіанти розрахункових завдань.....	21
3.1. Контрольне завдання для розрахунку циклону.....	21
3.2. Контрольне завдання для розрахунку аерозольного скрубера.....	21
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..	22
Додаток А. Зразок оформлення титульного аркуша курсової роботи.....	23
Додаток Б. Критерії оцінювання курсової роботи.....	24

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Дисципліна «Технології захисту атмосферного повітря» – складова фахової підготовки студентів за ОПП «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Головна мета курсу – формування у майбутніх фахівців умінь та компетенцій щодо аналізу різноманітних джерел забруднення атмосферного повітря за техніко-економічними характеристиками, а також кількісно-якісного складу газопилових сумішей, що надходять до атмосфери з урахуванням їх фізико-хімічних властивостей; оцінки доцільності впровадження певного засобу очистки технологічних газів на промисловому підприємстві; вміння розраховувати газоочисні пристрої та обґрунтовувати комплексні схеми очистки газопилових сумішей з оцінкою їх ефективності й усунених екологічних збитків.

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі, а також формування практичних навичок виконання курсової роботи щодо розрахунку параметрів циклону для сухої інерційної очистки від пилу і аерозольного скрубєру для мокрого пиловловлювання.

Методичні рекомендації містять процедури оформлення тексту курсової роботи, який викладено за типовою структурною схемою: тема, мета роботи, подання теоретичних положень за темою і завданнями, передбаченими для самостійного виконання.

В результаті виконання курсової роботи студенти - майбутні фахівці повинні оволодіти системним підходом до вибору та обґрунтування методів та технологій захисту атмосферного повітря у відповідності до вимог ОПП:

- ПР04 – Обґрунтовувати природозахисні технології, базуючись на розумінні механізмів впливу людини на навколишнє середовище і процесів, що відбуваються у ньому;

- ПР08 – Вміти продемонструвати навички вибору, планування, проектування та обчислення параметрів роботи окремих видів обладнання, техніки і технологій захисту навколишнього середовища, використовуючи знання фізико-хімічних властивостей поліутантів, параметрів технологічних процесів та нормативних показників стану довкілля;

- ПР13 – Вміти застосовувати основні закономірності безпечних, ресурсоефективних і екологічно дружніх технологій в управлінні природоохоронною діяльністю, в тому числі, через системи екологічного керування відповідно міжнародним стандартам.

Мета курсової роботи: надбання практичних навичок з розрахунку параметрів циклону для сухого інерційного очищення від пилу і аерозольного скрубєру для мокрого пиловловлювання з урахуванням фракційного розподілу твердих часток та технологічних характеристик процесу.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних завдань:

- ознайомлення з класифікацією атмосферних забруднюючих речовин та їх характеристик;
- ознайомлення з методикою розрахунку параметрів циклону для сухого інерційного очищення від пилу методом Лапле;
- ознайомлення з методикою розрахунку параметрів аерозольного скрубєру для мокрого пиловловлювання;
- самостійний розрахунок комплексної двоступеневої очистки пилогазового викиду в атмосферу з оцінкою доцільності та ефективності їх застосування.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Класифікація видів аерозольних забруднень атмосфери та способів очистки пилогазових викидів

Забруднення атмосфери внаслідок діяльності людини виникає або при спалюванні вуглевмісних речовин – вугілля і продуктів його переробки, нафти і деревини або як відходи виробництва хімічних речовин і цементу, металургійної та гірничодобувної промисловості, при спалюванні побутових відходів та ін. Найбільш типовими забруднювачами атмосфери є тверді частинки і рідкі краплини, що утворюють аерозолі в приземному шарі атмосфери (табл. 1).

Таблиця 1 – Класифікація атмосферних забруднень та розміри частинок

Аерозольні атмосферні забруднення	Характеристика та розміри часток пилу
Зола	Великі частинки, розміром більше 75 мкм
Пил	Частинки розміром більше 1 мкм і менше 75 мкм
Туман	Рідкі частинки, звичайно менші 10 мкм
Дим	Тверді частинки, звичайно менші 1 мкм
Імла (фог)	Тумани деколи називають фогом (імлою), якщо вони досить густі та сильно погіршують видимість
Кіптява	Летка зола, продукти неповного згорання у рідкому або твердому стані
Смог	Смог (англ. <i>smoke</i> - дим і <i>fog</i> - імла) – їдкий туман у приземному шарі атмосфери, який складається з дуже дрібних крапель кислот та завислих речовин
Сажа	Злиплі вугільні частинки пилу, які утворюються при неповному згорянні палива
Аерозолі	Будь-які суспензії в повітрі (раніше так називали дрібнодисперсні суспензії, відносно стабільні в повітрі).

Способи очищення викидів в атмосферу від шкідливих речовин можна об'єднати в такі групи:

- очищення викидів від пилу та аерозолів шкідливих речовин;
- очищення викидів від газоподібних шкідливих речовин;
- зниження забруднення атмосфери відхідними газами від двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів та стаціонарних установок;
- зниження забруднення атмосфери в процесі транспортування, навантаження та вивантаження сипких вантажів тощо.

Механічні методи застосовують для очищення вентиляційних та інших газових викидів від грубодисперсного пилу. Основними механізмами осадження завислих частинок є дія сил гравітації, інерції, дифузії, а також відцентрових сил та сил зчеплення.

Осадження під дією сил гравітації (седиментація) зумовлено вертикальним осіданням частинок внаслідок дії сили ваги в процесі переміщення їх через газоочисний апарат.

Осадження під дією відцентрової сили відбувається в процесі криволінійного руху аеродинамічного потоку, коли виникають відцентрові сили, під дією яких частинки пилу відкидаються на внутрішню поверхню апарату.

Інерційне осадження відбувається у випадку, коли маса частинок або швидкість руху настільки незначні, що вони вже не можуть рухатися разом з газом за лінію течії, що охоплює перешкоду. Намагаючись за інерцією продовжувати свій рух, частинки пилу стикаються з перешкодою і осаджуються на ній.

Дифузійне осадження відбувається внаслідок того, що дрібні частинки пилу зазнають безперервної взаємодії з частинками газів, які знаходяться в броунівському русі. В результаті цієї взаємодії відбувається осадження частинок на поверхні обтічних тіл або стінок пиловловлювача.

Осадження частинок за рахунок зчеплення спостерігається тоді, коли відстань від частинки, що рухається у газовому потоці, до обтічного тіла, не перевищує її радіус.

В технологічних вентиляційних та енергетичних викидах на підприємствах найбільш часто зустрічаються діоксид сірки, оксиди азоту, оксид та діоксид вуглецю, сірководень, хлор, хлористий водень, пари ртуті, фенолів, синтетичних та лакофарбних матеріалів тощо.

Методи очищення викидів від газоподібних речовин за характером фізико-хімічних процесів з середовищами, які очищуються, поділяються на групи:

- промивання викидів розчинниками, що не вступають в хімічну взаємодію з забруднювачами (метод абсорбції);
- промивання викидів розчинами, які вступають в хімічну взаємодію з забруднювачами (метод хемосорбції);
- поглинання газоподібних забруднювачів твердими активними речовинами (метод адсорбції).

1.2. Ефективність газоочисного обладнання

Ефективність обладнання газоочистки визначається його здатністю видаляти забруднюючі речовини з відпрацьованих газів або димових газів. Ця ефективність може бути виміряна за допомогою різних параметрів, таких як ефективність затримання (відсоток забруднень, що видаляються), ступінь очищення повітря виходячи з обладнання, витрати енергії на очищення та інші.

З табл. 2 видно, що ефективність газоочисного обладнання залежить суттєво від фракційного розподілу часток пилу.

Таблиця 2 – Ефективність обладнання газоочистки залежно від фракційного розподілу часток пилу

Тип обладнання	Загальна ефективність, %	Ефективність уловлювання, %				
		< 5 мкм	5-10 мкм	10-20 мкм	20-40 мкм	> 40 мкм
Пиловідсаджувальна камера	58,6	7,5	22	43	80	90
Звичайний циклон	65,3	12	33	57	82	91
Циклон з подовженим конусом	84,2	40	79	92	95	97
Електрофільтр	97,0	72	94,5	97	99,5	100
Аерозольний скруббер	98,5	90	96	98	100	100
Скруббер Вентурі	99,5	99	99,5	100	100	100
Рукавний тканинний фільтр	99,7	99,5	100	100	100	100

На промислових підприємствах отримали поширення апарати сухої інерційної очистки, зокрема одинарні чи батарейні циклони, для уловлювання середніх та крупних фракцій пилу розміром 10-75 мкм. При цьому, загальна ефективність очищення не перевищує 70-80% для одиночних циклонів і 85% – для батарейних пиловловлювачів. Дрібнодисперсний пил з розміром часток до 10 мкм практично не уловлюється в таких пристроях газоочистки і потрапляє у довкілля, створюючи різноманітні феномени аерозольного забруднення приземного шару атмосфери. Також при сухій інерційної очистки газоподібні сполуки, такі як сірчистий ангідрид (SO_2), оксиди азоту (NO_2 , N_2O , NO , N_2O_5), сірководень (H_2S), окис і двоокис вуглецю (CO , CO_2) не уловлюються, що є істотним недоліком газоочистки.

Одним з найбільш оптимальних варіантів газоочистки на об'єктах теплоенергетики, котельнях, та в інших термічних технологіях є використання

двоступеневого очищення газів: групових або батарейних циклонів та аерозольних скрубєрів (рис. 1). Застосування такої комбінованої схеми дозволить не тільки вловлювати дрібні частки пилу, а також газоподібні речовини, що утворюються внаслідок спалювання органічного палива.

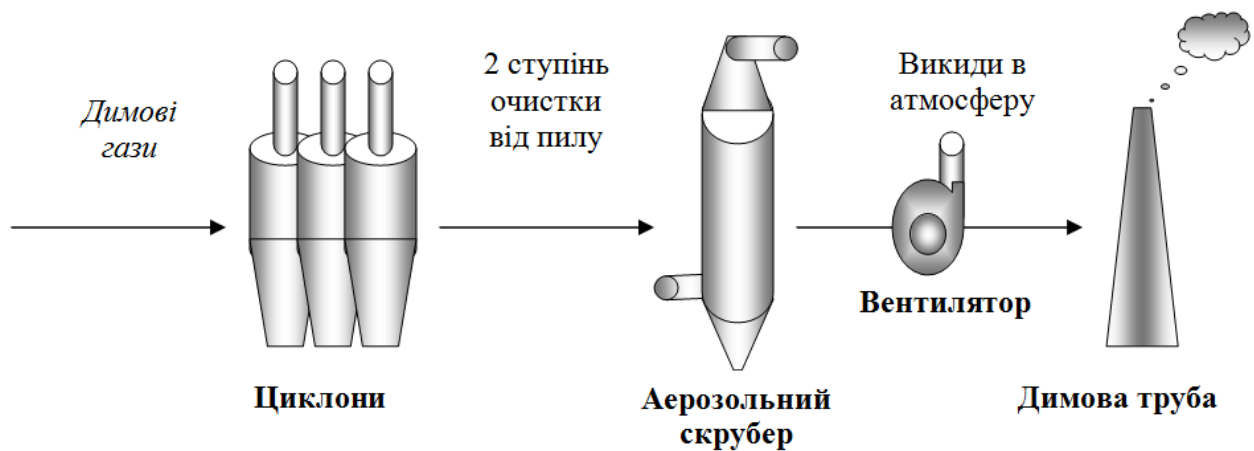


Рис. 1. Схема двоступеневої очистки газів котельні

Запровадження двоступеневої газоочистки має певні переваги, тому що в процесі адсорбції та хемосорбції водорозчинні газу, зокрема і низка парникових газів, переходять у водний розчин з подальшим перетворенням в осад.

1.3. Циклони

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

На рис. 2 представлено схему циклона та зображено напрямки потоків повітря в ньому. Як бачимо, запилене повітря з великою швидкістю вводиться тангенціально в апарат. Сформований тут обертовий потік спускається по кільцевому простору (утвореному циліндричною частиною циклона й вихлопною трубою) в його конічну частину, а потім, продовжуючи обертатися, виходить через вихлопну трубу. Частинки, маса яких достатньо велика, відділяються від потоку, досягають стінок циклона і під дією гравітаційних та відцентрових сил опускаються в його бункер. Чим більші частинки, завислі в потоці, і чим інтенсивніший (у відомих межах) обертовий рух, тим ефективніше очищується газ.

Залежно від конструктивного виконання в циклонах може бути по-різному влаштовано підведення запиленого газу (наприклад, тангенціальне, тангенціальне похиле, спіральне, осьове із спрямовувальним апаратом) форма корпусу циклонів теж може бути різною (циліндрична, така, що переходить у конус, з переважно розвинутою конічною частиною, конічна, з розширеною конічною частиною, з подвійною стінкою).

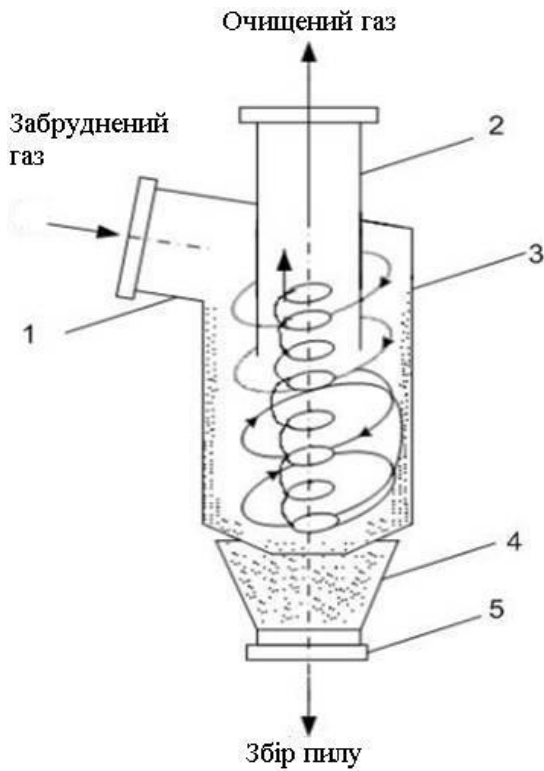


Рис. 2. Принципова схема будови та дії циклона:

1 – вхідний патрубок; 2 – вихлопна труба; 3 – корпус; 4 – пилоосаджувальний бункер; 5 – пиловий затвор

1.4. Розрахунок циклону за методикою Лапле

Методика розрахунку Лапле дозволяє обчислити фракційну та загальну ефективність пиловловлювання. Вона адаптована для оцінювання роботи високоефективних, звичайних та високопродуктивних циклонів (рис. 3).

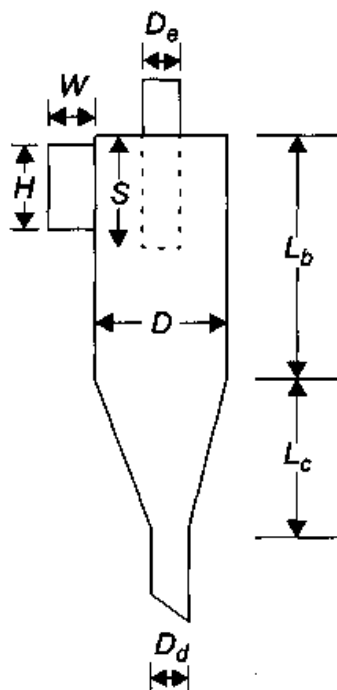


Рис. 3. Принципова схема будови циліндричного циклона:

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

Умовні розміри циклонів, визначені за методикою Лапле, наведено в табл. 3. Вибір розміру й типу циклона залежить від параметрів витрати газової суміші, ефективності газоочищення, фракційного розподілу частинок та інших величин.

Таблиця 3 – Фізичні розміри відцентрованих циклонів

Показник	Тип циклона		
	Високоєфективний	Звичайний	Високопродуктивний
Діаметр циліндричної частини 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 L_b , м	1,5 D	2,0 D	1,7 D
Довжина конічної частини L_c , м	2,5 D	2,0 D	2,0 D
Діаметр бункерної частини D_d , м	0,4 D	0,25 D	0,375 D

Газовий потік надходить у циклон тангенціально, унаслідок чого виникає ефект вихору. Скільки обертів робить при цьому частинка пилу, можна визначити за такою формулою:

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

де 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:

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

де R – радіус циліндричної частини циклона, м; V_i – початкова швидкість газового потоку, м/с, що розраховується таким чином:

$$V_i = \frac{M}{W \cdot H}, \quad (3)$$

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

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

Найбільша відстань, яку частинка проходить у циклоні з максимальною швидкістю, дорівнює ширині вхідного газоходу W . Таким чином, максимальна швидкість переміщення частинки в радіальному напрямку:

$$V_t = \frac{W}{\Delta t}, \text{ м/с.} \quad (4)$$

Швидкість будь-якої частинки газового потоку може бути подана таким виразом:

$$V_t = \frac{d_p^2 (\rho_n - \rho_g) V_i^2}{18 \mu R}, \text{ м/с} \quad (5)$$

де d_p – діаметр частинок, м; ρ_n – щільність частинок пилу, кг/м³; ρ_g – густина газу, кг/м³; μ – коефіцієнт опору середовища, кг/(м·с). Підставивши рівняння (2) у вираз (4) та зрівнюючи між собою вирази (4) й (5), отримуємо формулу (6) для визначення діаметра частинок пилу, що вловлюються циклоном, тобто:

$$d_p = \sqrt{\frac{9 \mu W V_t}{\pi N_e V_i (\rho_n - \rho_g)}}. \quad (6)$$

Теоретично величина d_p являє собою діаметр найменшої частинки, що вловлюється в циклоні, а значить будь-які частинки більшого розміру начебто повинні вловлюватися на 100 %. Однак на практиці досягти цього не можливо.

З метою отримання більш точного результату використовують напівемпіричну формулу Лапле для розрахунку діаметра частинок пилу, які вловлюються на 50 %, а саме:

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9 \mu W}{2 \pi N_e V_i (\rho_n - \rho_g)}}. \quad (7)$$

Ефективність уловлювання частинок будь-якого розміру обчислюють за формулою:

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2}, \quad (8)$$

де η_j – ефективність уловлювання частинок j -го розміру, %, d_{pj} – діаметр частинок, м.

Загальна ефективність пиловловлювання в циклоні $\eta_{заг}$, %, являє собою суму значень ефективності вловлювання частинок різних фракцій, а саме:

$$\eta_{заг} = \sum_{j=1}^n \eta_j \cdot m_j, \quad (9)$$

де m_j – масовий вміст частинок пилу j -го розміру, % [4].

Отже, викид в атмосферу частинок пилу після проходження пилогазової суміші через циклон розраховують таким чином:

$$P = 100 - \eta_o, \%. \quad (10)$$

1.5. Аерозольні скрубери

В аерозольних скруберах запилені гази пропускають через завісу розпилюваної рідини. При цьому частинки пилу захоплюються краплинами промивної рідини й осаджуються в промивачі, а очищені гази видаляються з апарата. У протитечійному газопромивнику (рис. 4) краплини з форсунок подають назустріч запиленому потоку газів. Вони повинні бути настільки великими, щоб не виносились газовим потоком, швидкість якого становить від 0,6 до 1,2 м/с. У разі перевищеної зазначеної межі після газопромивника необхідно встановлювати краплевловлювач.

Вміст пилу у викиді після очищення в аерозольному скрубері (від 0 до 1) обчислюється за такою формулою:

$$Pt_d = \exp\left(-\frac{3Q_L V_{td} z \eta_d}{4Q_G r_d (V_{td} - V_G)}\right) = \exp\left(-\frac{A_d V_{td} \eta_d}{Q_G}\right) \%, \quad (11)$$

де Q_L – об’ємна витрата рідини, м³/с; Q_G – об’ємна витрата газу, м³/с; V_G – поверхнева швидкість переміщення газу, см/с; V_{td} – кінцева швидкість осадження крапель рідини, см/с (рис. 5); η_d – ефективність уловлювання окремої фракції пилу (від 0 до 1); r_d – радіус крапель, см; z – довжина контактної зони в скрубері, см; A_d – площа поверхні всіх крапель у скрубері, см², яку визначають за такою формулою:

$$A_d = \frac{3Q_L z}{4r_d (V_{td} - V_G)}. \quad (12)$$

Фракційну ефективність уловлювання розраховують таким чином:

$$\eta_d = \left(\frac{K_p}{K_p + 0,7}\right)^2. \quad (13)$$

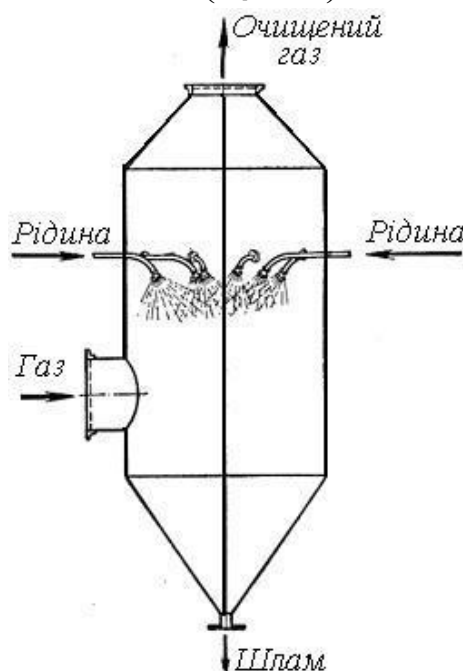


Рис. 4. Схема будови й роботи вертикального аерозольного скрубера

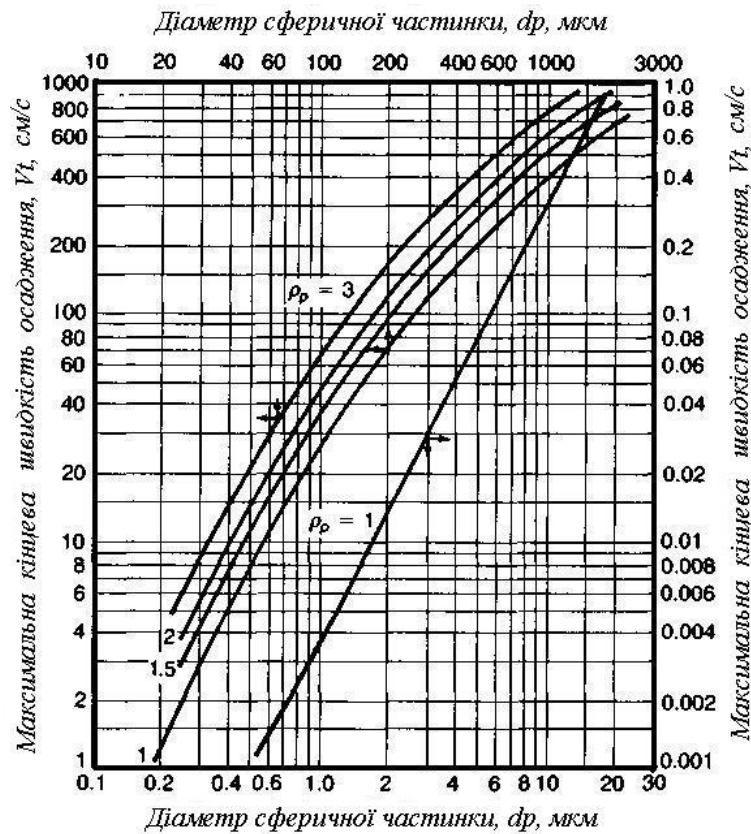


Рис. 5. Значення максимальної швидкості осадження частинок [4]

Коефіцієнт K_p , що враховує ефект інерційного зіткнення частинок пилу з краплями рідини, обчислюють за таким співвідношенням:

$$K_p = \frac{C \rho_p d_p^2 V_{p,d}}{9 \mu_G d_d} = \frac{\rho_w d_a^2 V_{p,d}}{9 \mu_G d_d} \quad (14)$$

де C – поправковий коефіцієнт Каннінгема, безрозмірний (табл. 4);
 ρ_p – щільність частинок, г/см³; d_p – фізичний діаметр частинок, см;
 $V_{p,d}$ – швидкість руху частинок (по відношенню до крапель), см/с;
 d_d – діаметр крапель, см; μ_G – опір газового середовища, г/см·с (табл. 5);
 d_a – аеродинамічний діаметр частинки, см; ρ_w – густина води, г/см³.

Таблиця 4 – Залежність коефіцієнта Каннінгема C від розміру частинок d_p

d_p , мкм	C	d_p , мкм	C	d_p , мкм	C	d_p , мкм	C
0,01	22,5	0,10	2,89	1,0	1,166	5,0	1,033
0,05	5,02	0,50	1,334	2,0	1,083	10,0	1,017

Примітка. Для частинок пилу, фізичний розмір яких $d_p \geq 10$ мкм, поправковий коефіцієнт Каннінгема $C = 1$.

Аеродинамічний діаметр частинки d_a визначається як діаметр сфери, що має таку саму швидкість осадження, як і фізична частинка, щільність якої $\rho_p = \rho_w = 1000$ кг/м³, та розраховується за такою формулою:

$$d_a = \sqrt{\frac{18\mu v_t}{C\rho_w g}} \text{ м,} \quad (15)$$

де μ – в'язкість газу, кг/м·с;

v_t – гранична швидкість осідання частинки, м/с;

ρ_w – густина води, кг/м³;

g – гравітаційне прискорення, г/с².

Таблиця 5 – Значення в'язкості повітря залежності від температури

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	В'язкість μ	
	кг/м·год	г/см·с
10	0,064	0,000178
20	0,065	0,000181
30	0,067	0,000186
40	0,070	0,000194
50	0,071	0,000198
60	0,071	0,000198
70	0,074	0,000207
80	0,076	0,000211
90	0,077	0,000215
100	0,079	0,000219

У вертикальних скруберах швидкість переміщень частинок по відношенню до крапель відповідає кінцевій швидкості осадження крапель рідини, тобто $V_{p,d} = V_{t,d}$ [4].

Загальну ефективність скрубера $\eta_{заг}$, %, можна обчислити за формулою (9), а викид в атмосферу частинок пилу P , %, за формулою (10).

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Приклад розрахунку циклону

Визначити загальну ефективність високоефективного циклона, діаметр циліндричної частини якого $D = 0,2$ м, беручи до уваги такі параметри: витрата газової суміші $M = 250$ м³/год; орієнтовна швидкість руху газового потоку $V_i = 1200$ м/хв; коефіцієнт опору середовища $\mu = 0,075$ кг/(м·год); густина газу $\rho_g = 1,01$ кг/м³; щільність частинок пилу $\rho_p = 1600$ кг/м³. Фракційний розподіл часток пилу представлено у табл. 6.

Вихідні дані для розрахунку фізичних розмірів частин циклона залежно від проектного діаметру представлені у табл. 7. Фізичні розміри складових частин циклону, зокрема довжину циліндричної і конічної частини, висоту і ширину впускного газоходу, визначають залежно від величини діаметра циліндричної частини циклону D .

Таблиця 6 – Фракційний розподіл частинок пилу у викидах

Розмір частинок пилу, мкм	Середнє значення розміру частинок пилу, d_{pj} , мкм	Вміст частинок пилу у викидах, m_j , % від маси
0 ... 5	2,5	12
5 ... 10	7,5	15
10 ... 20	15,0	22
20 ... 30	25,0	15
30 ... 40	35,0	11
40 ... 50	45,0	9
50 ... 60	55,0	7
60 ... 70	65,0	5
70 ... 80	75,0	3
75 ... 100	87,5	1

Таблиця 7 – Фізичні розміри складових частин циклона

Показники	Відносні значення	Абсолютні розміри циклону при $D = 0,2$ м
Діаметр в циліндричній частині, D	1	0,2
Висота впускної труби, H	$0,44D$	0,088
Ширина впускної труби, W	$0,2D$	0,04
Діаметр газовипускного патрубку, D_e	$0,4D$	0,08
Довжина випускного газоходу всередині циклона, S	$0,5D$	0,1
Довжина циліндричної частини, L_b	$1,5D$	0,3
Довжина конічної частини, L_c	$2,5D$	0,5
Діаметр бункерної частини, D_d	$0,4D$	0,08

Розв'язок прикладу:

1. Визначимо кількість ефективних обертів, які робить частинка:

$$N_e = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right] = \frac{1}{0,088} \left[0,3 + \frac{0,5}{2} \right] = 6,25.$$

2. Початкова швидкість газового потоку на вході в циклон:

$$V_i = \frac{M}{W \cdot H} = \frac{250 \text{ м}^3 / \text{ч}}{0,04 \text{ м} \cdot 0,088 \text{ м}} = \frac{250 \text{ м}^3 / \text{ч}}{0,00352 \text{ м}^2} = 1200 \text{ м/хв.}$$

3. Обчислюємо діаметр частинок, які уловлюються циклоном:

$$d_p = \sqrt{\frac{9\mu W}{\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0,075 \cdot 0,04}{3,14 \cdot 6,25 \cdot 72000 \cdot (1600 - 1)}} = 3,46 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 3,46 \text{ мкм.}$$

4. Розраховуємо розмір частинок, які уловлюються даним циклоном на 50 %, а саме:

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9\mu W}{2\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0,075 \cdot 0,04}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,25 \cdot 72000 \cdot (1600 - 1)}} = 2,44 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 2,44 \text{ мкм.}$$

5. Визначаємо ефективність уловлювання частинок усіх розмірів, виконавши такі обчислення:

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{2,5}\right)^2} = 0,5112 \quad (\text{для частинок діаметром } 2,5 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{7,5}\right)^2} = 0,9040 \quad (\text{для частинок діаметром } 7,5 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{15}\right)^2} = 0,9741 \quad (\text{для частинок діаметром } 15 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{25}\right)^2} = 0,9905 \quad (\text{для частинок діаметром } 25 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{35}\right)^2} = 0,9951 \quad (\text{для частинок діаметром } 35 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{45}\right)^2} = 0,9971 \quad (\text{для частинок діаметром } 45 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{55}\right)^2} = 0,9980 \quad (\text{для частинок діаметром } 55 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{65}\right)^2} = 0,9986 \quad (\text{для частинок діаметром } 65 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{75}\right)^2} = 0,9989 \quad (\text{для частинок діаметром } 75 \text{ мкм});$$

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2,44}{87,5}\right)^2} = 0,9992 \quad (\text{для частинок діаметром } 87,5 \text{ мкм}).$$

6. Визначаємо загальну ефективність циклона таким чином:

$$\eta_o = \sum_{j=1}^n \eta_j \cdot m_j = \sum_{j=1}^n 0,5112 \cdot 12 + 0,9040 \cdot 15 + 0,9741 \cdot 22 + 0,9905 \cdot 15 +$$

$$+ 0,9951 \cdot 11 + 0,9971 \cdot 9 + 0,9980 \cdot 7 + 0,9986 \cdot 5 + 0,9989 \cdot 3 + 0,9992 \cdot 1 =$$

$$= 6,13 + 13,56 + 21,43 + 14,86 + 10,95 + 8,97 + 6,99 + 4,99 + 3,00 + 1,00 = 91,88 \%$$

7. Отже, в атмосферу надходить така частка пилу:

$$P = 100 - 91,88 = 8,12 \%$$

Результати обчислень зводимо в табл. 8.

Таблиця 8 – Результати розрахунків ефективності циклона

j	d_{pj}	m_j	d_{pc}	d_{pc}/d_{pj}	n_j	$n_j \cdot m_j$
1	2,5	12	2,44	0,978	0,5112	6,13
2	7,5	15	2,44	0,326	0,9040	13,56
3	15	22	2,44	0,163	0,9741	21,43
4	25	15	2,44	0,098	0,9905	14,86
5	35	11	2,44	0,070	0,9951	10,95
6	45	9	2,44	0,054	0,9971	8,97
7	55	7	2,44	0,044	0,9980	6,99
8	65	5	2,44	0,038	0,9986	4,99
9	75	3	2,44	0,033	0,9989	3,00
10	87,5	1	2,44	0,028	0,9992	1,00
					Σ	91,88

Таким чином, розрахункова ефективність пиловловлювання циклона та вміст пилу у викиді становлять 91,88% і 8,12% відповідно.

Так, графік ефективності уловлювання циклоном частинок пилу залежно від фракційного розподілу і типу матеріалу свідчить, що вибір газоочисного обладнання є специфічним для певного технологічного процесу (рис. 6).

Слід зазначити, що ефективність циклону залежить як від його геометричних розмірів, так і від розміру частинок пилу. Геометричні розміри циклону, такі як його діаметр, довжина та конусний кут, можуть впливати на ефективність розділення частинок. Оптимальні розміри циклону допомагають забезпечити належний рівень обертового потоку, що сприяє ефективному відокремленню частинок.

Розмір частинок пилу також має велике значення. Частинки пилу різного розміру можуть мати різні швидкості осадження в газовому потоці. Тому циклони зазвичай оптимізовані для відокремлення певного діапазону розмірів частинок, а розмір циклону та його параметри обираються враховуючи цей діапазон.

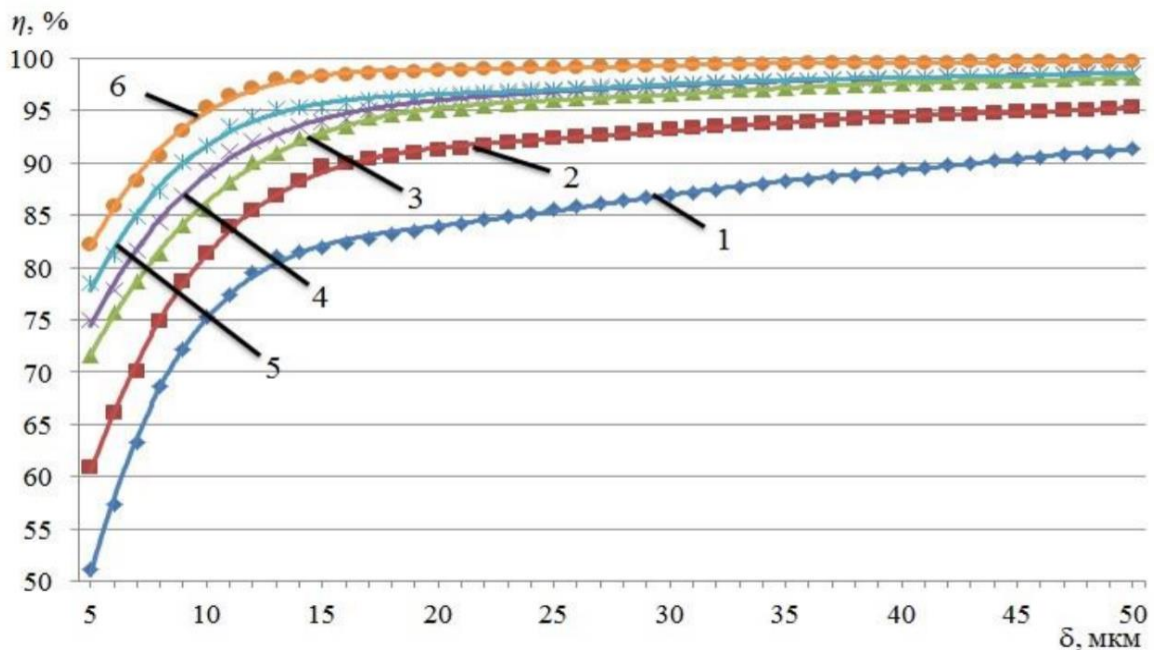


Рис. 6. Залежність ефективності циклону від фракційного складу часток пилу різних матеріалів:
 1 – кокс; 2 – каолін; 3 – вапно; 4 – цемент; 5 – лігнін; 6 – пісок

2.2. Приклад розрахунку аерозольного скрубера

Розрахувати вміст фракції пилу розміром 5 мкм у викидах після очищення у вертикальному скрубери за наступних технологічних умов: $Q_L/Q_G = 1$ л/м³ або 0,001 м³/м³; поверхнева швидкість газу $V_G = 20$ см/с; $d_d = 300$ мкм; $z = 300$ см; $T = 70$ °С; $V_{td} = 120$ см/с (визначається за номограмами осадження частинок залежно від їх щільності та діаметра; $\mu_G = 0,074$ кг/м·год = 0,000206 г/см·с; $\rho_p = 1,5$ г/см³).

Розв'язок прикладу:

1. Визначаємо аеродинамічний діаметр частинок d_a таким чином:

$$d_a = \sqrt{\frac{18\mu V_t}{C\rho_w g}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,074 \text{ кг/м} \cdot \text{год} \cdot 0,3 \text{ см/с} \cdot 0,01 \text{ см/м}}{3600 \text{ с/год} \cdot 1,033 \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2}} = \sqrt{\frac{0,003996}{36481428}} = \sqrt{1,095e^{-10}} = 1,047 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 10,47 \text{ мкм}.$$

2. Обчислюємо значення коефіцієнта K_p , тобто:

$$K_p = \frac{C\rho_p d_p^2 V_{p,d}}{9\mu_G d_d} = \frac{1,033 \cdot 1,5 \text{ г/см}^3 \cdot (0,0005 \text{ см})^2 (120 \text{ см/с})}{9 \cdot 0,000206 \text{ г/см} \cdot \text{с} (0,030 \text{ см})} = \frac{0,000046485}{0,00005562} = 0,84.$$

3. Визначаємо фракційну ефективність скрубера, а саме:

$$\eta_d = \left(\frac{K_p}{K_p + 0,7} \right)^2 = \left(\frac{0,84}{0,84 + 0,7} \right)^2 = 0,298, \text{ тобто } 29,8 \text{ \%}.$$

4. Розраховуємо вміст частинок пилу у викиді таким чином:

$$P_{t_d} = \exp\left(-\frac{3Q_L V_{td} z \eta_d}{4Q_G r_d (V_{td} - V_G)}\right) = \exp\left(-\frac{3(0,001)(120)(300)(0,298)}{4(0,015)(120 - 20)}\right) =$$

$$= 2,718^{\left(\frac{-32,132}{6}\right)} = 2,718^{(-5,355)} = 0,00473 \text{ або } 0,47\%.$$

Отже, ефективність уловлювання частинок пилу діаметром 5 мкм становить 99,53%.

2.3. Завдання на курсову роботу

1. Ознайомитись з класифікацією схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових підприємствах;

2. Опанувати методику розрахунку основних параметрів звичайного циклону та його ефективності за методикою Лапле, враховуючи фракційний розподіл часток пилу;

3. Опанувати методику розрахунку основних параметрів аерозольного скрубера та його ефективності, враховуючи динаміку рідини і газу;

4. Обґрунтувати доцільність використання пристроїв сухої інерційної та мокрої очистки для уловлювання пилогазових викидів в атмосферу з визначенням переваг і недоліків кожного із способів;

5. Оцінити доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на техногенних територіях;

6. Самостійно:

- розрахувати параметри циклону для сухого інерційного очищення від пилу методом Лапле та оцінити вплив фракційного розподілу на ефективність очищення;

- згідно з отриманими результатами розрахунку побудувати діаграму залежності ефективності циклона від фракційного складу пилу.

- розрахувати параметри аерозольного скрубера для мокрого пиловловлювання та оцінити вплив газодинамічних чинників і фракційного розподілу пилу на ефективність очищення;

- на підставі самостійного розрахунку комплексної двоступеневої очистки пилогазового викиду в атмосферу оцінити доцільність та ефективність застосування зазначеної схеми для конкретного технологічного процесу, наприклад промислової котельні, що працює на органічному паливі.

Номер варіанту та вихідні дані для розрахунку циклону і аерозольного скрубера представлені в табл. 9 і 10 відповідно.

2.4. Вимоги до оформлення курсової роботи

Текст пояснювальної записки набирається на комп'ютері в текстовому редакторі Word Office на листах формату А4 (210x297 мм), через 1,5 інтервал, інтервал до та після абзацу – 0 пт, шрифт Times New Roman 14 кегля (поля зліва, справа, зверху та знизу – 20 мм). Абзацний відступ – 1,25 см. Вирівнювання тексту – по ширині.

Нумерація сторінок – у правому верхньому куті аркуша. На першому (титульному) аркуші номер сторінки не проставляється.

Курсова робота повинна включати такі складові:

- титульний аркуш, оформлений згідно з останніми вимогами стандартів закладів вищої освіти (Додаток А);
- зміст;
- мету роботи;
- завдання на курсову роботу;
- розрахунок основних параметрів циклону та його ефективності за методикою Лапле;
- розрахунок основних параметрів аерозольного скрубера;
- таблиця результатів розрахунків;
- висновки.

Оцінювання курсової роботи здійснюється відповідно до критеріїв, наведених у додатку Б.

Питання для самоконтролю

1. Опишіть будову відцентрового циклона та принцип його роботи.
2. Поясніть значення фракційного розподілу пилу в практиці очищення газопилових викидів.
3. Назвіть основні галузі й напрями використання апаратів сухого очищення газів від механічних частинок пилу.
4. Охарактеризуйте пил за фізико-механічними властивостями.
5. Чому недоцільно використовувати циклони для вловлювання дрібнодисперсних частинок пилу розміром менше 10 мкм?
6. Які вихідні дані є пріоритетними у технологічних розрахунках параметрів циклонів?
7. Опишіть схему аерозольного скрубера та принцип його роботи.
8. У чому полягає перевага аерозольних скрубєрів перед апаратами сухого очищення газів?
9. Назвіть основні сфери й напрями використання апаратів мокрого очищення газів від механічних частинок пилу.

3. Варіанти розрахункових завдань

3.1. Контрольне завдання для розрахунку циклону

1. Розрахувати фракційну й загальну ефективність циклона відповідно до варіанта завдання, наведеного в табл. 9, та користуючись даними про їх фракційний розподіл з табл. 6, а решту параметрів для розрахунку взяти з вихідних даних до розв'язування типової задачі.

Таблиця 9 – Вихідні дані для розрахунку параметрів циклона

№ вар.	Діаметр циліндричної частини циклону D , м	Витрата газоповітряної суміші M , м ³ /ч	Коефіцієнт в'язкості μ , кг/м·год	Щільність	
				газу, ρ_g , кг/м ³	часток, ρ_p , кг/м ³
1	0,6	21000	0,075	1,01	1550
2	0,7	29000	0,075	1,02	1600
3	0,8	43000	0,075	1,03	1650
4	0,9	48000	0,075	1,01	1680
5	1,0	58000	0,075	1,02	1700
6	1,1	69000	0,075	1,03	1600
7	1,2	80000	0,075	1,01	1680
8	0,6	20000	0,075	1,02	1800
9	0,7	30000	0,075	1,03	1700
10	0,8	40000	0,075	1,01	1550
11	0,9	50000	0,075	1,02	1600
12	1,0	60000	0,075	1,03	1650
13	1,1	70000	0,075	1,01	1680
14	1,2	80000	0,075	1,02	1700
15	0,6	20000	0,075	1,03	1600
16	0,7	30000	0,075	1,01	1680
17	0,8	40000	0,075	1,02	1800
18	0,9	50000	0,075	1,03	1700
19	1,0	60000	0,075	1,01	1550
20	1,1	70000	0,075	1,02	1600

Примітка. Номер варіанта кожен студент обирає за своїм порядковим номером у списку академічної групи.

2. Згідно з отриманими результатами розрахунку побудувати діаграму залежності ефективності циклона від фракційного складу пилу.

3. Визначити частку викидів пилу в атмосферу.

3.2. Контрольне завдання для розрахунку аерозольного скрубера

1. Розрахувати загальну ефективність очищення газів в аерозольному скрубери відповідно до варіанта завдання, наведеного в табл. 10.

Таблиця 10 – Вихідні дані для розрахунку аерозольного скрубера

№ вар.	Питома витрата рідини, Q_L/Q_G , м ³ /м ³	Поверхнева швидкість газу V_G , см/с	Кінцева швидкість осадження крапель, V_{td} , см/с	Опір газового середовища, μ_G , г/см-с	Довжина контактної зони в скрубери, z , см	Діаметр крапель, d_d , см
1	0,001	20	120	0,00018	300	300
2	0,002	25	125	0,00020	320	300
3	0,003	30	130	0,00022	330	300
4	0,004	15	115	0,00018	340	300
5	0,001	25	110	0,00020	350	300
6	0,002	30	135	0,00022	360	300
7	0,001	40	130	0,00025	380	300
8	0,002	35	125	0,00018	400	300
9	0,001	30	120	0,00020	280	300
10	0,002	20	125	0,00022	300	300
11	0,003	25	130	0,00025	320	300
12	0,004	30	115	0,00015	330	300
13	0,001	40	110	0,00018	340	300
14	0,002	35	135	0,00020	350	300
15	0,001	30	130	0,00022	360	300
16	0,002	20	125	0,00025	380	300
17	0,003	25	120	0,00015	300	300
18	0,004	30	125	0,00018	320	300
19	0,001	25	130	0,00020	330	300
20	0,002	30	115	0,00022	340	300

Примітка. Номер варіанта кожен студент обирає за своїм порядковим номером у списку академічної групи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Процеси та апарати природоохоронних технологій : підручник у 2 т. / Л.Д. Пляцук, Р.А. Васькін, В.П. Шапорев та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – Т. 2. – 521 с.
2. Клименко М.О. Техноекоекологія : підручник. / М.О. Клименко, І.І. Залеський. – Херсон : ОЛДІ ПЛЮС, 2017. – 348 с.
3. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: навч. посіб. / О.І. Герасимов. – Одеськ. держ. екол. ун-т. – Одеса : ТЕС, 2018. – 228 с.
4. Технології захисту атмосферного повітря. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2019. – 24 с.

Додаток А. Зразок оформлення титульного аркуша курсової роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет

«Дніпровська політехніка»

Інститут природокористування

Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища



КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни «Технології захисту атмосферного повітря»

НА ТЕМУ: РОЗРАХУНОК ДВОСТУПЕНЕВОЇ ОЧИСТКИ

ПИЛОГАЗОВОГО ВИКИДУ В АТМОСФЕРУ

Варіант _____

Виконав(ла): студент(ка) гр. _____
(група)

(прізвище та ініціали
студента/студентки)

Перевірив: _____
(посада, прізвище та
ініціали викладача)

Дніпро

(рік виконання)

Додаток Б. Критерії оцінювання курсової роботи

Оцінювання курсової роботи здійснюється за рейтинговою (100-бальною) та інституційною шкалами.

Шкали оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП»

Рейтингова	Інституційна
90...100	відмінно / Excellent
74...89	добре / Good
60...73	задовільно / Satisfactory
0...59	незадовільно / Fail

Курсова робота зараховується, якщо здобувач отримав підсумкову оцінку не менше 60 балів. За виконання розрахунків та оформлення пояснювальної записки курсової роботи студент/ка може отримати 100 балів.

Критерії оцінювання курсової роботи наведені в таблиці нижче та враховують основні структурні елементи: складові роботи, орфографія, пунктуація та граматики, правильність виконання завдань, термінологія та одиниці виміру, висновки.

Критерії оцінювання курсової роботи на тему «Розрахунок двоступеневого очищення пилогазового викиду в атмосферу»

Критерії	Вага критерія (%) та бали			
	Вищий стандарт (100%)	Відповідає стандартам (75%)	Наближення до стандартів (50%)	Нижче стандартів (25%)
1. Складові курсової роботи	Присутні всі обов'язкові складові роботи (титульний аркуш, мета роботи, завдання на роботу, хід виконання розрахунків, висновки та додаткові коментарі до розрахунків тощо).	Всі обов'язкові елементи присутні (титульний аркуш, мета роботи, завдання на роботу, хід виконання, висновки)	Відсутній один обов'язковий елемент, але є додаткові елементи (наприклад, вдумливі коментарі, пояснення).	Бракує декількох обов'язкових елементів
Макс. 20 балів	20	15	10	5
2. Орфографія, пунктуація та граматики	У роботі немає помилок чи є по одній помилці (або менше) у написанні, пунктуації та граматиці.	У роботі є дві або три помилки в орфографії, пунктуації та граматиці.	У роботі є чотири помилки в орфографії, пунктуації та граматиці.	У роботі є більше 4 помилок в орфографії, пунктуації та граматиці.
Макс. 20 балів	20	15	10	5
3. Правильність виконання завдань	90-100% розв'язаних завдань не мають математичних помилок.	Більшість (85-89%) розв'язаних завдань не мають математичних помилок.	Більшість (60-84%) розв'язаних завдань не мають математичних помилок.	Понад 40% розв'язаних завдань мають математичні помилки.
Макс. 20 балів	20	15	10	5
4. Термінологія та одиниці виміру	Студент/ка завжди використовує правильну термінологію та усі розрахунки містять одиниці виміру, що дозволяють легко зрозуміти, що було зроблено.	Студент/ка використовує правильну термінологію, розрахунки містять правильні одиниці виміру, але з неточностями.	Студент/ка припускається помилок у використанні термінів, деякі розрахунки не містять одиниць виміру	Студент/ка використовує замало термінології та більшість розрахунків не містять одиниць виміру
Макс. 20 балів	20	15	10	5
5. Висновки	Студент/ка детально описує отримані результати та надає їх інтерпретацію і майбутнє використання у життєвих ситуаціях. Висновки зроблені вірно	Студент/ка описує отриману інформацію та можливе її застосування у життєвій ситуації. Є певні неточності, але висновки зроблені вірно	Студент/ка коротко описує отриману інформацію або у висновках є помилки.	Підсумки відсутні.
Макс. 20 балів	20	15	10	5
ВСЬОГО	100	75	50	25

Навчальне видання

КОВРОВ Олександр Станіславович

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Методичні рекомендації до виконання курсової роботи
для здобувачів ступеня бакалавра
освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього
середовища» зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього
середовища

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання 16.07.2024. Авт. арк. 1,87.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.