

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичних занять та виконання розрахункового завдання
з навчальної дисципліни «Екологія енергетики»
для здобувачів спеціальності G4 «Енерговиробництво»
за спеціалізацією G4.02 «Теплоенергетика»
усіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 19.02.2026 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2026

Методичні вказівки для практичних занять та виконання розрахункового завдання з навчальної дисципліни «Екологія енергетики» для здобувачів спеціальності G4 «Енерговиробництво» за спеціалізацією G4.02 «Теплоенергетика» усіх форм навчання / уклад.: Т.М. Пугачова, О.В. Круглякова, О.В. Кошельнік. – Харків : НТУ «ХП», 2026. – 28 с.

Укладачі: Т.М. Пугачова
О.В. Круглякова
О.В. Кошельнік

Рецензент О.Ю. Єгорова

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

Залежно від ресурсів, що використовуються, підприємства енергетичної галузі по-різному впливають на навколишнє середовище: викликають хімічне забруднення атмосфери, водоймищ; сприяють тепловому й електромагнітному впливу; призводять до вилучення, відчуження та забруднення земель. Виробництво електричної та теплоенергії пов'язано зі споживанням природних енергоносіїв у величезних кількостях. Характер і масштаби впливу енергетики визначаються не тільки технологіями виробництва енергії, а й станом обладнання, структурою використовуваного палива, загальними економічними умовами роботи галузі.

Методичні вказівки призначені для виконання практичної роботи та розрахункового завдання здобувачами усіх форм навчання спеціальності G4 «Енерговиробництво» за спеціалізацією G4.02 «Теплоенергетика» з навчальної дисципліни «Екологія енергетики».

1 ПІДБІР ТИПУ ЦИКЛОНА Й РОЗРАХУНОК ЙОГО ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1.1 Принцип дії та конструкція циклонів

Найбільшого поширення в системах пилоочистки отримали циклони, тобто апарати, що працюють за принципом осадження пилу під дією відцентрової сили. Циклони широко застосовуються для очищення від пилу вентиляційних і технологічних викидів в багатьох галузях промисловості.

Принцип роботи циклона полягає в спіральовидному закручуванні потоку запиленого газу в циліндричній або конічній частини циклона, де під дією відцентрової сили частки пилу притискаються до стінок і під впливом сил тяжкості опускаються вниз в бункерний пристрій, з якого пил періодично видаляється через пиловий затвор.

Перевагами циклонів є простота пристрою та його обслуговування, порівняно невеликий аеродинамічний опір, висока продуктивність і невелика вартість.

До недоліків необхідно віднести малий відсоток вловлювання частинок пилу розміром менш ніж 5 мкм.

Ефективність очищення газу в циклонах в основному визначається дисперсним складом і щільністю частинок пилу, що вловлюється, а також в'язкістю газу, яка залежить від його температури. При зменшенні діаметра циклона і підвищенні до певної межі швидкості газу в ньому ефективність очищення зростає. Тому діаметри циклонів, що серійно випускаються, не перевищують 5 м. Для циклонів прийнятий стандартизований ряд внутрішніх діаметрів D : 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 та 3000 мм.

Конструктивно циклони можуть бути виконані поодинокими, груповими та батарейним. Серед поодиноких і групових циклонів найбільшого поширення набули циклони типів ЦН (рис. 1.1, а) і СК-ЦН (рис. 1.1, б) продуктивністю 600 – 230 000 м³/год, а серед батарейних циклонів - БЦ, ПБЦ продуктивністю від 12 000 до 480 000 м³/год.

Широке поширення одержали циліндричні циклони типу ЦН. Цифрове позначення циклона відповідає куту нахилу кришки апарата й патрубка, що підводить запилений потік. Для даних циклонів характерна подовжена циліндрична частина корпусу. Циклон ЦН-15у має укорочену конічну частину. Його застосовують при наявності обмежень по висоті встановлення.

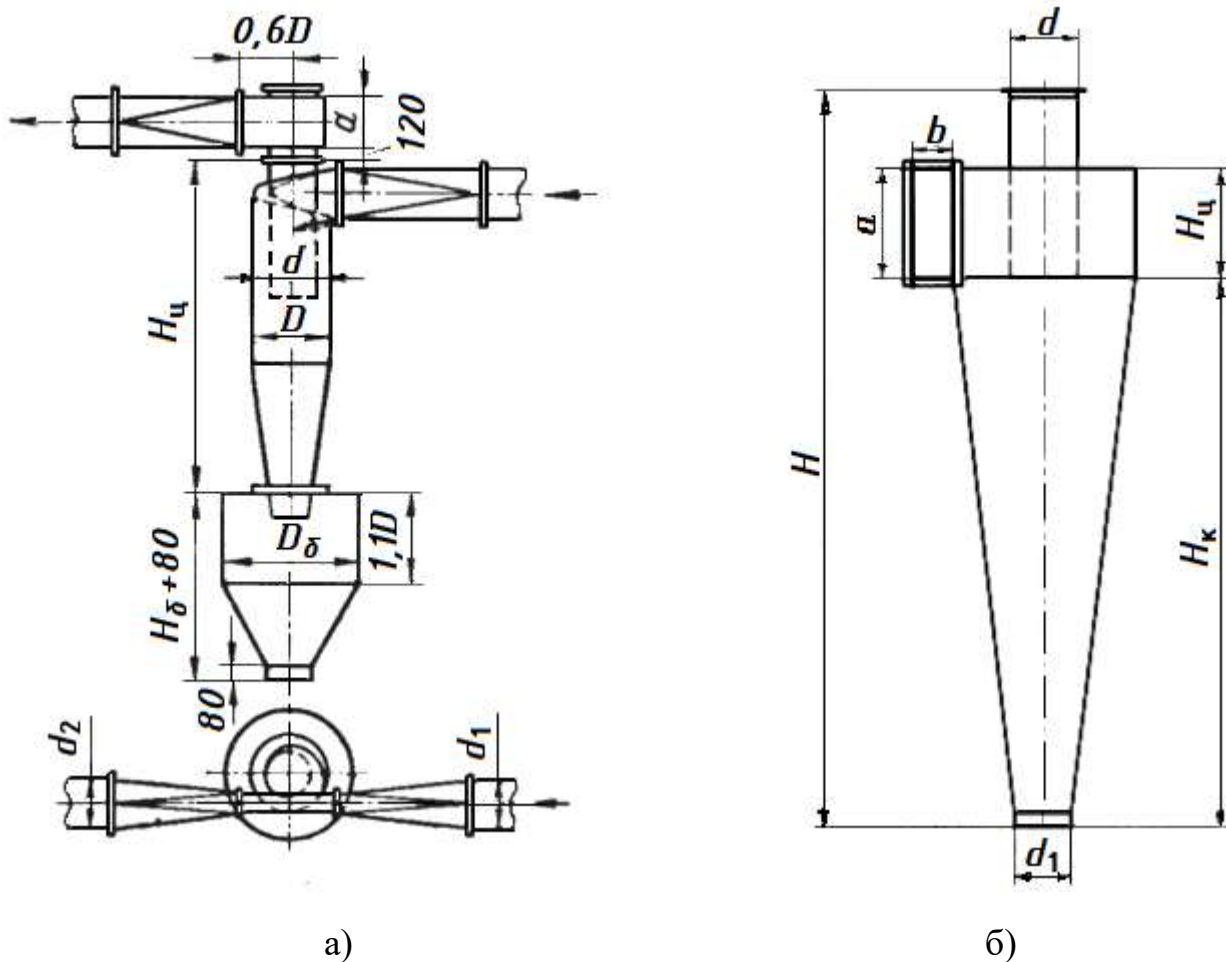
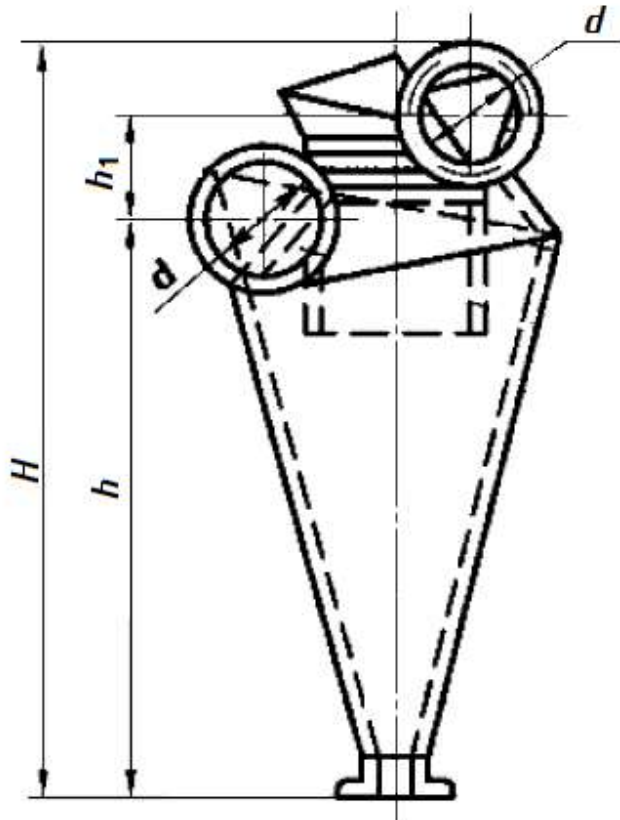


Рисунок 1.1 – Циклони типу ЦН (а) та СК-ЦН (б)

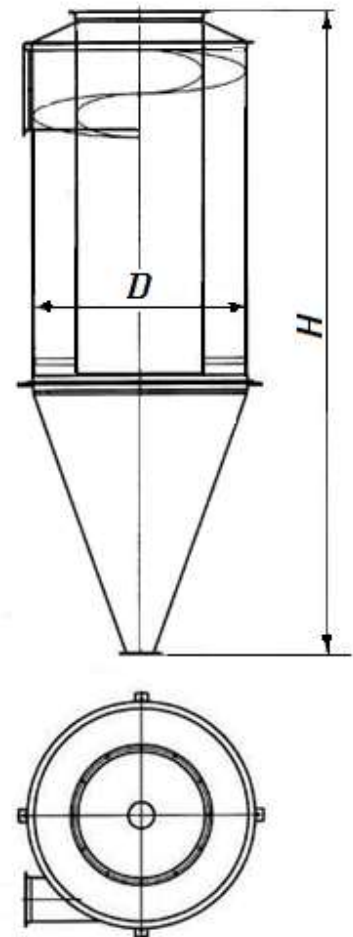
Циклони типу СК-ЦН мають подовжену конічну частину та спіральний вхідний патрубок. Вони призначаються в основному для вловлювання сажі і відрізняються високою ефективністю очищення.

Циклони СІОТ не мають циліндричної частини (рис. 1.2, а). Вихлопна труба опущена у верхню частину конуса. Вхідний патрубок має трикутний перетин. При установці циклона на всмоктуючій лінії вентилятора очищений газ (повітря) виходить з апарату через розкручувач із гвинтовою кришкою, а при установці на нагнітальній лінії – через шахту з ковпаком або розкручувачем у вигляді плоского щита.

Циклони типу ЛІОТ (рис. 1.2, б) застосовується для грубого та середнього очищення повітря від сухого пилу, що не злипається. Циклони можуть встановлюватися як на всмоктуванні, так і на нагнітанні. Під час встановлення на всмоктування з'єднання циклону з вентилятором відбувається через равлик.



а)



б)

Рисунок 1.2 – Циклони типу СІОТ (а) та ЛІОТ (б)

1.2 Мета розрахунку та вихідні дані

Мета розрахунку: за вихідними даними визначити необхідні технологічні параметри роботи та розміри циклона для очищення газів від пилу з ефективністю уловлювання не менше 85 %.

Вихідні дані.

- номер вихідних даних (N) – номер здобувача в списку навчальної групи;
- кількість викидів (газів) $L = 7500 + 850N$, м³/год;
- температура викидів $t = 27 + 3N$, °С;
- початкова концентрація пилу $C_{п} = 12 + 2N$, г/м³;
- густина пилу $\rho_{п} = 1800 + 50N$, кг/м³;
- медіанний діаметр частинок пилу $d_m = 10 + N$, мкм.

1.3 Порядок виконання розрахунку

За видом пилу вибирається тип циклона з табл. А.1 згідно із номером N студента в списку навчальної групи. З табл. А.2 за обраною маркою циклона визначається оптимальна швидкість газів в перерізі циклона v_0 .

Необхідна площа перерізу циклона, m^2 , знаходиться за формулою

$$F = \frac{L}{3600 \cdot v_0}, \quad (1.1)$$

де L – кількість викидів через циклон, $m^3/год$; v_0 – оптимальна швидкість газів в перерізі циклона, m/c .

Далі необхідно задатися кількістю циклонів n та визначити діаметр циклону D , m :

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{F}{n}}. \quad (1.2)$$

Для циклонів діаметри нормуються в наступному порядку: 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400 і 1600 mm . З цього номенклатурного ряду приймається найближчий більший стандартний діаметр циклона D_1 .

Визначається дійсна швидкість газів в циклоні, m/c :

$$v'_0 = \frac{1,27 \cdot L}{3600 \cdot n \cdot (D_1)^2}, \quad (1.3)$$

де D_1 – найближчий більший номенклатурний діаметр циклона.

Далі визначається відносне розходження між дійсною та оптимальною швидкістю газів, %:

$$\Delta = \frac{v_0 - v'_0}{v_0} \cdot 100. \quad (1.4)$$

Дійсна швидкість в циклоні не повинна відрізнятись від оптимальної більш ніж на 15 %, в іншому випадку необхідно перезадати кількість циклонів n .

За табл. А.3 визначається компоновка циклонів, а також значення коефіцієнта місцевого опору циклона $\Delta\xi_0$.

Динамічна в'язкість газів для робочих умов, Па/с:

$$\mu = 1,75 \cdot 10^{-5} \left(\frac{273 + t}{273} \right)^{0,683}. \quad (1.5)$$

Аеродинамічний опір циклона розраховується за формулою, Па:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \left(\frac{\rho_{\text{г}} \cdot (v'_0)^2}{2} \right). \quad (1.6)$$

де $\rho_{\text{г}}$ – густина газів за робочих умов, кг/м³; $\xi_{\text{ц}}$ – коефіцієнт місцевого опору, віднесений до швидкості v'_0 , який визначається з урахуванням поправкових коефіцієнтів за формулою:

$$\xi_{\text{ц}} = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_0 + \Delta\xi_0, \quad (1.7)$$

де $\Delta\xi_0$ – коефіцієнт, що залежить від компоновки циклонів (див. табл. А.3); k_1 – коефіцієнт, що залежить від діаметру циклона (табл. А.4), k_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газів (табл. А.5), ξ_0 – коефіцієнт місцевого опору циклона (табл. А.2).

За графіком фракційної ефективності очищення (рис. А.6) визначається розмір пилу d_{50} з ефективністю вловлювання $\eta=50\%$ для обраної марки циклона.

Для визначення ефективності циклона інших розмірів і швидкості руху газів, його в'язкості та густини обчислюється нове значення d'_{50} , мкм:

$$d'_{50} = d_{50} \sqrt{\frac{D_1 \rho_{\text{пг}} \mu v_0}{D_{1\text{г}} \rho_{\text{п}} \mu_{\text{г}} v'_0}} = 548,5 \cdot d_{50} \sqrt{\frac{D_1 \cdot \mu v_0}{\rho_{\text{п}} v'_0}}, \quad (1.8)$$

де $D_{1\text{г}}=0,6$ м, $\rho_{\text{пг}} = 1930$ кг/м³; $\mu_{\text{г}} = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с – умови роботи типового циклона, за якими визначається значення d_{50} .

Для циклонів типу СІОТ, ЛІОТ розрахунки необхідно вести за графіками для циклонів ЦН-11, ЦН-15 відповідно.

На графік фракційної ефективності очищення (див. рис. А.6) наноситься точка з координатами 50 % і d'_{50} . Від неї проводиться лінія, що є паралельною до ліній графіків 1–6 (для прикладу – лінія 7). Ця лінія буде визначати фракційну ефективність очищення запроєктованого циклона. На осі діаметрів знаходиться значення, яке відповідає заданому медіанному діаметру d_m . Від цього значення проводиться вертикальна лінія до перетину з побудованою лінією фракційної ефективності і в даній точці знаходиться ефективність очищення циклона, що розраховується.

Якщо в результаті виконання роботи отримано фракційну ефективність уловлювання пилу менше 85 %, то необхідно збільшити кількість циклонів n , якою задавалися, і провести повторні розрахунки.

Основні розміри циклона визначаються в частках від внутрішнього діаметра D_1 :

- вихідний отвір циклона $D_{\text{вих}} = 0,59 D_1$, мм;
- розміри вхідного патрубку $a \times b = 1,11D_1 \times 0,26D_1$, мм;
- загальна висота циклона $H_{\text{ц}} = 4,26 D_1$, мм.

2 РОЗРАХУНОК ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОГО ВИКИДУ ТА ЙОГО РОЗСПЮВАННЯ В АТМОСФЕРІ

2.1 Вихідні дані

На ТЕС здійснюється викид в атмосферу з одиночного джерела (димаря) газоповітряної суміші, яка містить шкідливу речовину.

Необхідно визначити:

- гранично допустимий викид речовини в атмосферу ГДВ;
- максимальну приземну концентрацію речовини C_m ;
- відстань від джерела викиду, на якому досягається максимальна концентрація x_m ;
- величини приземних концентрацій шкідливої речовини C на відносних відстанях від джерела викиду x/x_m , що дорівнюють 0,25; 0,5; 1,5; 3,0; 5,0 (за результатами розрахунку побудувати графічну залежність).

Вихідні дані (N – номер здобувача в списку навчальної груп):

- шкідлива речовина: двоокис азоту NO_2 ;
- гранично допустима концентрація шкідливої речовини в атмосферному повітрі ГДК = 0,085 мг/м³;
- кількість речовини, що викидається, $M = 120 + 5N$, г/с;
- висота димаря $H = 60 + 0,7N$, м;
- діаметр вихідного отвору $D = 2 + 0,15N$, м;
- середня швидкість газоповітряної суміші на виході з гирла димаря $\omega_0 = 6 + 0,15N$, м/с;
- температура газоповітряної суміші на виході з димаря $t_r = 159 + 2,5N$, °С.

Середню температуру навколишнього атмосферного повітря найжаркшого місяця прийняти для всіх варіантів розрахунків $t_{\text{п}} = 27$ °С.

2.2 Порядок виконання розрахунку

Величина максимальної приземної концентрації шкідливих речовин C_m для викиду нагрітої газоповітряної суміші з одиночного (точкового) джерела з круглим отвором при несприятливих метеорологічних умовах на відстані x_m від джерела визначається за формулою

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta t}}, \quad (2.1)$$

де A – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації* атмосфери і визначає умови вертикального і горизонтального розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі; M – кількість шкідливої речовини, що викидається в атмосферу з джерела викидів, г/с; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі; m і n – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду; η – безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості (для рівної або слабонересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км, $\eta = 1$); H – висота джерела викиду над рівнем землі, м; Δt – різниця між температурою t_r газоповітряної суміші, що викидається, і температурою навколишнього атмосферного повітря t_b , $\Delta t = t_r - t_b$, °С); V_1 – об’єм газоповітряної суміші, м³/с.

Величина V_1 , м³/с, визначається за формулою

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0, \quad (2.2)$$

де D – діаметр джерела викиду, м; ω_0 – середня швидкість газоповітряної суміші на виході з гирла джерела викиду, м/с.

В загальному випадку величини M і V_1 визначаються розрахунком у технологічній частині конкретного проєкту або приймаються відповідно до діючих для даної галузі (процесу) нормативів.

Коефіцієнт A приймається для несприятливих метеорологічних умов, при яких концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі від джерела викидів, є максимальними. Для більшої частини України коефіцієнт A складає 200.

Величини безрозмірного коефіцієнта F приймається:

– для газоподібних шкідливих речовин (сірчистого газу, сірковуглецю, двоокису азоту, тощо) і дрібнодисперсних аерозолів (пилу, золи й т.п.), швидкість упорядкованого осідання яких практично дорівнює нулю, $F = 1$;

* Стратифікація – це розподіл температури за висотою, який визначає стійкість або нестійкість повітряних мас

– для пилу і золи (крім зазначених у попередньому пункті):

- якщо коефіцієнт очистки газових викидів складає не менше 90 %, $F = 2$;
- якщо коефіцієнт очистки газових викидів складає від 75 до 90 %, $F = 2,5$;
- якщо коефіцієнт очистки газових викидів менш 75 %, $F = 3,0$.

Безрозмірний коефіцієнт m у рівнянні (2.1) визначається за формулою

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (2.3)$$

де f – параметр, $\text{м}/(\text{с}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, що обчислюється за рівнянням

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta t}. \quad (2.4)$$

Безрозмірний коефіцієнт n у рівнянні (2.1) розраховується залежно від небезпечної швидкості вітру v_m :

$$\bullet \text{ при } v_m \leq 0,3 \quad n = 3; \quad (2.5)$$

$$\bullet \text{ при } 0,3 < v_m \leq 2 ; \quad n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3) \cdot (4,36 - v_m)}; \quad (2.6)$$

$$\bullet \text{ при } v_m > 2 \quad n = 1. \quad (2.7)$$

Для нагрітих викидів v_m , $\text{м}/\text{с}$, обчислюється за формулою

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta t}{H}}. \quad (2.8)$$

Максимальна приземна концентрація шкідливих речовин C_m за несприятливих метеорологічних умов має місце на осі факела викиду (у напрямку середнього вітру за аналізований період) на відстані x_m від джерела викиду.

Величина x_m визначається за формулою

$$x_m = H \cdot d. \quad (2.9)$$

Безрозмірний коефіцієнт d у рівнянні (2.9) визначається в залежності від значення швидкості v_m :

- при $v_m \leq 2$ м/с $d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$; (2.10)

- при $v_m > 2$ м/с $d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$. (2.11)

Величини приземних концентрацій шкідливих речовин C , мг/м³, в атмосфері на різних відстанях від джерела викиду на осі факела визначаються за формулою

$$C = S_1 \cdot C_m. \quad (2.12)$$

Безрозмірний коефіцієнт S_1 визначається залежно від відношення x/x_m та коефіцієнта F за формулами

- при $x/x_m \leq 1$ $S_1 = 3 \left(\frac{x}{x_m} \right)^4 - 8 \left(\frac{x}{x_m} \right)^3 + 6 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2$; (2.13)

- при $1 < x/x_m \leq 8$ $S_1 = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2 + 1}$; (2.14)

- при $x/x_m > 8$ і $F = 1$ $S_1 = \frac{\frac{x}{x_m}}{3,58 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2 - 35,2 \frac{x}{x_m} + 120}$; (2.15)

- при $x/x_m > 8$ і $F \geq 2$ $S_1 = \frac{1}{0,1 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2 + 2,47 \frac{x}{x_m} - 17,8}$. (2.16)

За результатами розрахунків за формулами (2.12–2.16) необхідно побудувати графік зміни концентрації шкідливої речовини в приземному шарі атмосфери в залежності від відстані від джерел викидів (приклад на рис. 2.1).

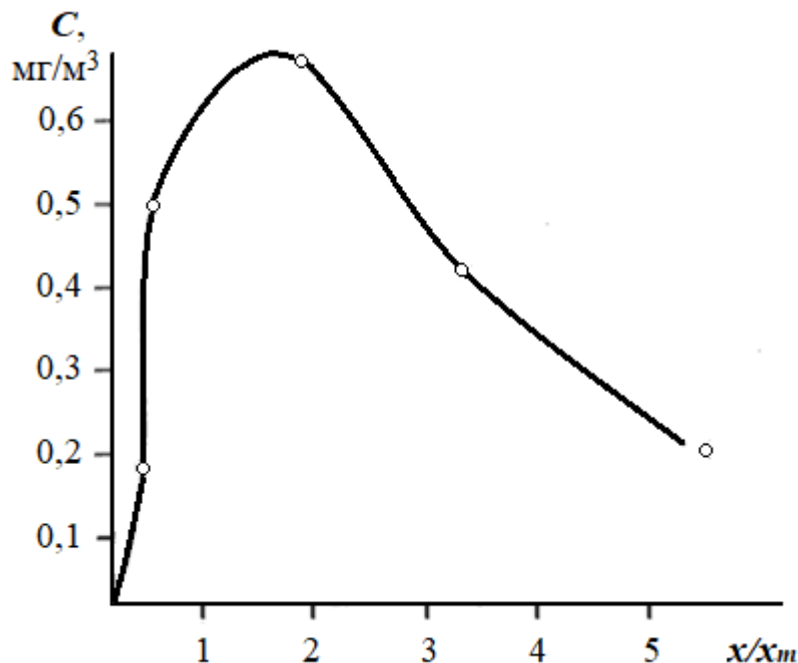


Рисунок 2.1 – Приклад побудови залежності концентрації шкідливої речовини в приземному шарі атмосфери від відстані джерел викидів

Гранично допустимий нагрітий викид шкідливої речовини в атмосферу ГДВ, г/с, з одиночного джерела (димаря), при якому забезпечується така концентрація його в приземному шарі повітря, що не перевищує ГДК, визначається за формулою

$$\text{ГДВ} = \frac{\text{ГДК} \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta t}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}. \quad (2.17)$$

Мінімальна висота одиночного джерела викиду (димаря) H , при якій забезпечується значення максимальної приземної концентрації шкідливих речовин C_m , що не перевищує ГДК, визначається за формулою

$$H_{min} = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot \eta}{8 \cdot V_1 \cdot \text{ГДК}} \right)^{3/4}. \quad (2.18)$$

Результати розрахунків гранично допустимого викиду шкідливої речовини в атмосферу необхідно занести в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків гранично допустимого викиду шкідливих речовин в атмосферу

Найменування показників	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
1. Параметри джерела викиду			
Висота труби	H	м	
Діаметр вихідного отвору труби	D	м	
Швидкість газоповітряної суміші в отворі труби	ω_0	м/с	
Об'єм газоповітряної суміші	V_1	м ³ /с	
Мінімальна висота, при якій забезпечується ГДК, що не перевищує максимальної концентрації шкідливої речовини	H_{\min}	м	
2. Параметри газоповітряної суміші			
Забруднююча речовина (домішка)			Двоокис азоту NO ₂
Гранично допустима концентрація шкідливої речовини	ГДК	мг/м ³	
Кількість речовини, що викидається	M	г/с	
Гранично допустимий викид	ГДВ	г/с	
Максимальна концентрація речовини в приземному шарі	C_m	мг/м ³	
Відстань, на якій досягається максимальна концентрація	x_m	м	

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОФІЛЬТРІВ

3.1 Принцип дії та конструкція електрофільтрів

Електрофільтри використовуються для очищення від пилу неагресивних газів в енергетиці, кольоровій і чорній металургії, при виробництві будівельних матеріалів. Загальний вид електрофільтру типу УГ та його конструкція наведені на рис. 3.1.

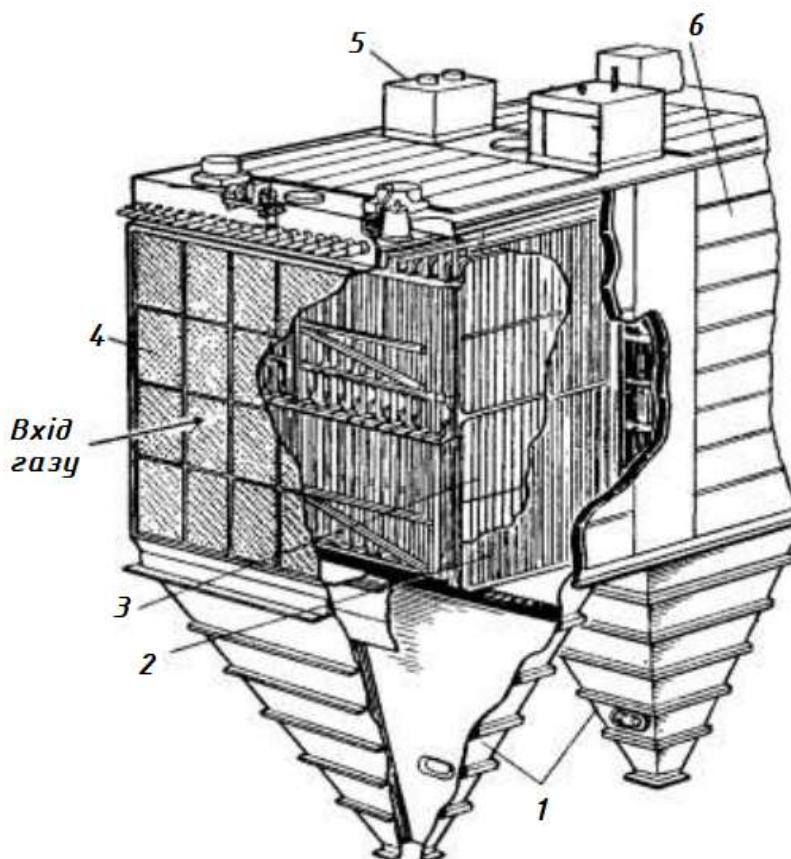


Рисунок 3.1 – Конструкція електрофільтру типу УГ:

1 – бункери; 2 – осаджувальні електроди; 3 – коронні електроди; 4 – газорозподільна решітка; 5 – джерело живлення; 6 – корпус

Електрофільтри УГ призначені для очищення димових газів з температурою до 250 °С. Рекомендована швидкість газів в електрофільтрі становить ≤ 1 м/с.

Сутність процесу електричного очищення газів полягає в наступному. Запилений газ проходить через систему, що складається із заземлених осаджувальних електродів і розміщених на певній відстані від них коронуєчих

електродів (міжелектродний проміжок), до яких підводиться випрямлений електричний струм високої напруги негативної полярності.

За достатньо високої напруги, прикладеної до міжелектродного проміжку, поблизу поверхні коронуючого електрода відбувається інтенсивна ударна іонізація газу, що супроводжується виникненням коронного розряду (струму корони).

Газові іони різної полярності, які утворюються в зоні корони, під дією електричного поля рухаються до електродів протилежної полярності, внаслідок чого в міжелектродному проміжку виникає електричний струм – струм корони. Частинки золи внаслідок адсорбції іонів на їх поверхні набувають електричного заряду та під дією сил електричного поля переміщуються до електродів, осаджуючись на них. Основна кількість частинок осаджується на розвиненій поверхні осаджувальних електродів, менша – на коронуючих електродах. У міру накопичення осаджених частинок вони видаляються шляхом струшування або промивання електродів.

Технологічний розрахунок електрофільтра полягає у визначенні площі його активної зони за заданою витратою газу, що очищається, та рекомендованою швидкістю руху газу в електрофільтрі, а також у визначенні електричних параметрів роботи електрофільтра і ефективності очищення газу.

3.2 Мета розрахунку та вихідні дані

Мета розрахунку: підібрати тип електрофільтра за каталогом, розрахувати його електричні параметри й ступінь очищення в ньому газу.

Вихідні дані (N – номер здобувача в списку навчальної групи).

Склад газу, який очищується (в частках за об'ємом):
13% CO_2 , 6,5% O_2 , 8,5% H_2O і 72 % N_2 .

Кількість газу $V = 27000 + 15N$, $\text{м}^3/\text{год}$;

Температура газу $t = 150 + N$, $^\circ\text{C}$;

Розрідження в системі $p = 1960 + 5N$, Па;

Вміст пилу в газі $q = 10 + 0,3N$, $\text{г}/\text{м}^3$;

Барометричний тиск $p_{\text{бар}} = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

Динамічна в'язкість газової суміші $\mu_{\text{см}} = 0,227 \cdot 10^{-4}$ Па·с.

Фракційний склад пилу для розрахунків показаний в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Фракційний склад пилу

Середній радіус частинок, r_i , мкм	0,5	22,5	55,0	110	115	220	225
Масова частка частинок даного радіусу Φ_i , %	5	10	10	15	20	20	20

3.3 Порядок виконання розрахунку

Приймається до встановлення електрофільтр типу УГ (уніфікований горизонтальний).

Задається швидкість газу в електрофільтрі $v = 1$ м/с.

Визначається площа активного перетину електрофільтра, m^2 :

$$F = \frac{V}{3600 \cdot v}. \quad (3.1)$$

За каталогом вибирається типорозмір електрофільтра з активною площею F_a , що є близькою до розрахункової площі F (див. табл. Б.1).

За величиною активної площі F_a обраного електрофільтра уточнюється швидкість газу в електрофільтрі, м/с

$$v = \frac{V}{F_a \cdot 3600}. \quad (3.2)$$

Обчислюється відносна густина газів β (дорівнює відношенню густини газів в робочих умовах до їх густини при стандартних умовах, температура $t = 20$ °С, тиск $p = 101,3$ кПа):

$$\beta = \frac{p_{\text{бар}} \pm p}{101,3 \cdot 10^3} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t}, \quad (3.3)$$

де $p_{\text{бар}}$ – барометричний тиск, Па; p – надлишковий тиск або розрідження в газозоді перед електрофільтром, Па (з приймається за вихідними даними, при розрідженні обирається знак «+», при надлишковому тиску: знак «-»); t – температура газу, °С.

Критична напруженість електричного поля при негативній короні, В/м:

$$E_o = 3,04 \left(\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6. \quad (3.4)$$

Радіус коронувального електрода R_1 визначається типом фільтра. Для прийнятого електрофільтра типу УГ радіус коронувального електрода складає $R_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

Далі розраховується критична напруга корони (або різниця потенціалів між коронувальним і осаджувальним електродами), В:

$$U_0 = E_o \cdot R_1 \left[\pi \cdot H/d - \ln \left(2\pi R_1/d \right) \right], \quad (3.5)$$

де H – відстань між коронувальним й осаджувальним електродами, м;
 d – відстань між сусідніми коронувальними електродами в ряді, м (табл. Б.2).

Для електрофільтрів УГ відстань між осаджувальним і коронувальним електродами, виходячи з табл. Б.1, складає $H = 0,275/2 = 0,1375$ м (для всіх типів).

Визначається лінійна густина струму корони для пластинчастого електрофільтра, А/м:

$$i_0 = \frac{4\pi^2 k \cdot v}{d^2 \cdot 9 \cdot 10^9 \left(\pi \cdot H/d - \ln \left(2\pi \cdot R_1/d \right) \right)} U(U - U_0), \quad (3.6)$$

де U – напруга, що прикладена до електродів, за паспортними даними фільтру УГ складає $U = 80 \cdot 10^3$ В, k – рухливість іонів, для середніх умов коронного розряду рухливість може бути прийнята $k = 2,1 \cdot 10^{-4}$ м²/(В·с), коефіцієнт v залежить від взаємного розташування електродів (від значення H/d) та визначається за табл. Б.3.

Напруженість поля в пластинчастому електроді, В/м:

$$E_x = \sqrt{\frac{8 \cdot i_0 \cdot H}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot k \cdot d}}, \quad (3.7)$$

де ε_0 – діелектрична проникність вакууму, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Визначається теоретична швидкість руху заряджених частинок різного радіусу r_i до осаджувальних електродів електрофільтра, м/с:

$$v_i = \frac{0,018 \cdot 10^{-2} \cdot E_x^2}{\mu_{\text{см}}} r_i. \quad (3.8)$$

Розраховані параметри заносяться до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку показників роботи електрофільтра

r_i , мкм	2,5	5	10	15	20	25
v_i , м/с						

Розраховується питома поверхня осадження, $\text{м}^2/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$:

$$f = \frac{F_{\text{об}} \cdot 3600}{V}, \quad (3.9)$$

де $F_{\text{об}}$ – загальна площа осадження електродів (приймається за технічними характеристиками електрофільтра, табл. Б.1), V – кількість газу, $\text{м}^3/\text{год}$ (згідно вихідних даних).

Для кожного діаметру частинок пилу визначаємо фракційну ступінь очищення

$$\eta_i = 1 - e^{-v_i \cdot f}. \quad (3.10)$$

Результати зводимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – фракційну ступінь очищення електрофільтру

v_i , м/с						
η_i						

Знаходиться загальна ступінь очищення газу в електрофільтрі:

$$\eta = \frac{1}{100} \sum (\Phi_i \cdot \eta_{\Phi_i}), \quad (3.11)$$

де Φ_i – масова частка частинок різних фракцій, %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетика та екологія: підручник. – Харків : Сага, 2008. – 234 с.
2. Енергозберігаючі технології в теплоенергетиці: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / Кошельник О.В., Пугачова Т.М., Круглякова О.В., Павлова В.Г. – Харків : НТУ «ХП», 2023. – 166 с.
3. Сторожук В.М., Батлук В.А., Назарук М.М. Промислова екологія: Підручник. – Львів : Українська академія друкарства, 2006. – 547 с.

ДОДАТКИ

Додаток А Дані до розділу 1

Таблиця А.1 – Вихідні дані для розрахунку циклона

№ п/п	Вид пилу	Марка циклона
1	Пил помольних і дробильних установок	ЦН-11
2	Пил димових газів котельних	ЦН-15
3	Пил димових газів котельних (при обмеженні габаритів при встановленні циклону)	ЦН-15у
4	Пил горілої землі ливарних цехів	ЦН-24
5	Пил каталітичного крекінгу нафтопродуктів	СДК-ЦН-33
6	Вугільний пил, сажа	СК-ЦН-34
7	Вугільний пил, сажа	СК-ЦН-34м
8	Неволокнистий сухий пил, що не злипається	СІОТ
9	Неволокнистий сухий пил, що не злипається	ЛІОТ
10	Пил абразивний, слабволокнистий	ЦН-15

Таблиця А.2 – Коефіцієнти місцевих опорів ξ_0 циклонів і оптимальні швидкості руху газів v_0

Марка циклона	Оптимальна швидкість руху газів v_0 , м/с	Значення ξ_0 циклонів			
		з викидом в атмосферу		з равником на вихлопній трубі	
		$\xi_{ц}$	ξ_0	$\xi_{ц}$	ξ_0
ЦН-11	3,5	250	6,1	235	5,2
ЦН-15	3,5	163	7,8	150	6,7
ЦН-15у	3,5	170	8,2	158	7,5
ЦН-24	4,5	80	10,9	73	12,5
СДК-ЦН-33	2	600	20,3	500	31,3
СК-ЦН-34	1,7	1150	24,9	–	30,3
СК-ЦН-34м	2	2000	–	–	30,3
СІОТ	12	–	6,0	–	4,2
ЛІОТ	14	–	4,2	–	3,7

Таблиця А.3 – Коефіцієнт місцевого опору $\Delta\xi_0$ циклона при різному компонуванні циклонів

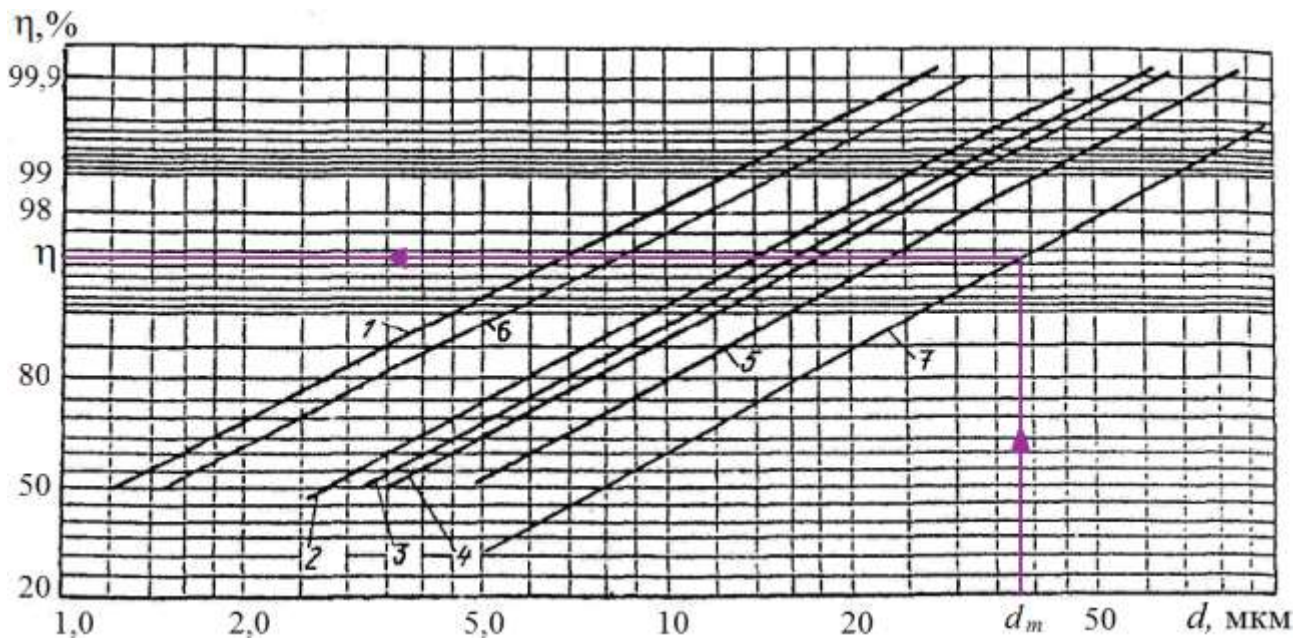
<i>N</i> варіанту	Компонування циклонів	Значення $\Delta\xi_0$
3, 6, 9, 12, 15, 18, 21...	Прямокутна з відведенням очищеного газів із загального колектора	35
1, 4, 7, 10, 13, 16, 19...	Прямокутна, але з відведенням очищеного газів через равликів розкручувача	28
2, 5, 8, 11, 14, 17, 20...	Кругова	60

Таблиця А.4 – Поправковий коефіцієнт на діаметр циклона k_1

Діаметр циклонів, мм	Значення коефіцієнта k_1 для циклонів марок		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34м, СІОТ, ЛІОТ
150	0,94	0,85	1
200	0,95	0,90	1
300	0,96	0,93	1
450	0,99	1	1
500	1	1	1
> 500	1	1	1

Таблиця А.5 – Поправковий коефіцієнт на запиленість повітря k_2

Марка циклона	Значення коефіцієнта k_2 при запиленості газів в залежності від початкової концентрації пилу в повітрі $C_{п}, \text{г/м}^3$					
	0	10	20	40	80	120
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,9	0,87
ЦН-15	1	0,93	0,93	0,91	0,9	0,87
ЦН-15у	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,9	0,87
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,78	0,78	0,77	0,76
СК-ЦН-34	1	0,98	0,95	0,93	0,915	0,91
СК-ЦН-34м	1	0,99	0,96	0,95	0,92	0,92
СІОТ, ЛІОТ	1	1	1	1	1	1



1 – СК-ЦН-34; 2 – ЦН-11; 3 – ЦН-15; 4 – ЦН-15у; 5 – ЦН-24; 6 – СДК-ЦН-33; 7 – лінія, яку потрібно побудувати за отриманими розрахунковими результатами

Рисунок А.6 – Фракційна ефективність очистки циклона

Додаток Б

Дані до розділу 3

Таблиця Б.1 – Технічні характеристики електрофільтрів серії УГ

Показники	УГ1-2-10	УГ1-3-10	УГ1-2-15	УГ2-4-74	УГ3-3-88	УГ3-4-88	УГ1-3-15	УГ2-3-26	УГ-2-4-26	УГ-2-3-37	УГ2-4-37
Площа активного перетину F_a , м ²	10	10	15	44	44	88	15	26	26	37	37
Кількість полів	2	3	2	4	3	4	3	3	4	3	4
Крок між однойменними електродами, мм	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
Активна висота електродів, м	4,2	4,2	4,2	7,46	12,16	12,16	4,2	7,46	7,46	7,46	7,46
Активна довжина поля, м	2,51	2,51	2,51	2,51	3,95	3,95	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51
Загальна площа осадження електродів, $F_{об}$, м ²	420	630	630	6300	9200	12300	940	1690	2250	2360	3150
Габарити електрофільтру											
- довжина, м	9,6	14,1	9,6	18,6	18,8	24,8	14,1	14,1	18,6	14,1	18,6
- висота, м	12,3	12,3	12,3	15,4	21,8	21,8	12,3	15,4	15,4	15,4	15,4
- ширина по осях крайніх опор, м	3	3	4,5	12,0	9,0	9,0	4,5	4,5	4,5	6	9,0

Таблиця Б.2 – Значення відстані d для електрофільтрів серії УГ

Марка електрофільтра	УГ2-2-10; УГ1-3-10; УГ1-2-15; УГ1-3-15	УГ2-4-74	УГ3-3-26; УГ3-4-26	УГ2-4-74	УГ3-3-88; УГ3-4-88	УГ2-3-26; УГ3-4-88	УГ2-3-26; УГ2-3-53 УГ2-4-26; УГ3-3-ИБ	УГ2-3-37; УГ2-4-37 УГ2-3-74, УГ2-4-53	УГ3-3-177, УГ3-4-177	УГ3-3-230; УГ3-4-230 УГ3-3-265; УГ3-4-265
d , м	0,23	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1

Таблиця Б.3 – Значення коефіцієнта ν

H/d	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
ν	0,08	0,068	0,046	0,035	0,027	0,022	0,0175	0,015	0,013	0,0115

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 Підбір типу циклона й розрахунок його технічних характеристик	4
1.1 Принцип дії та конструкція циклонів	4
1.2 Мета розрахунку та вихідні дані	6
1.3 Порядок виконання розрахунку	7
2. Розрахунок гранично допустимого викиду та його розсіювання в атмосфері	10
2.1 Вихідні дані	10
2.2 Порядок виконання розрахунку	10
3. Розрахунок електрофільтрів	16
3.1 Принцип дії та конструкція електрофільтрів	16
3.2 Мета розрахунку та вихідні дані	17
3.3 Порядок виконання розрахунку	18
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	21
ДОДАТКИ	22

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичних занять та виконання розрахункового завдання
з навчальної дисципліни «Екологія енергетики»
для здобувачів спеціальності G4 «Енерговиробництво»
за спеціалізацією G4.02 «Теплоенергетика»
усіх форм навчання

Укладачі: ПУГАЧОВА Тетяна Миколаївна
КРУГЛЯКОВА Ольга Володимирівна
КОШЕЛЬНИК Олександр Вадимович

Відповідальний за випуск проф. Кунденко М.П.
Роботу рекомендувала до видання доц. Тютюнник Л.І.

В авторській редакції

План 2026 р., поз. 61

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 0,7

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Електронне видання