

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять
з курсу «Екологія енергетики»
для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»
усіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 19.02.2020 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2020

Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу «**Екологія енергетики**» для студентів спеціальностей 144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання / уклад.: Т.М. Пугачова, О.В. Круглякова. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 24 с.

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

Рецензент О.В. Кошельнік

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

В даний час серед усіх галузей своїми розмірами й масштабом впливу на навколишнє середовище відрізняється енергетика. Залежно від ресурсів, що використовуються, підприємства 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 електро- 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 студентами спеціальності 144 «Теплоенергетика» по курсу «Екологія енергетики», а також як додатковий матеріал з курсу, що читається за дисципліною.

Практична робота 1

ПІДБІР ТИПУ ЦИКЛОНА Й РОЗРАХУНОК ЙОГО ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1.1 Загальні положення

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 у всіх галузях народного господарства.

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

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

До *недоліків* необхідно віднести слабе вловлювання частинок пилу розміром менш 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 й підвищенні до певної межі швидкості газу в циклоні 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 й 3000 мм.

Конструктивно циклони можуть бути виконані поодинокими, груповими й батареїним. Серед поодиноких і групових циклонів найбільшого поширення набули циклони НПОГАЗ типів ЦН і СК-ЦН продуктивністю 600 – 230 000 м³/год, а серед батареїних циклонів - БЦ, ПБЦ продуктивністю від 12 000 до 480 000 м³/год.

1.2 Мета й вихідні дані для виконання роботи

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

Вихідні дані:

Кількість викидів (газів) через циклон L , м³/год.

Температура газів t , °С.

Густина газів ρ_g , кг/м³.

Початкова концентрація пилу $C_{п}$, г/м³.

Щільність пилу $\rho_{п}$, кг/м³

Медіанний діаметр пилу d_m , мкм.

1.3 Методичні вказівки до виконання роботи

За видом пилу вибирають тип циклона з табл. А.1 згідно із номером N студента в журналі академічної групи.

З табл. А.2 за обраною маркою циклона визначаємо оптимальну швидкість газів в перерізі циклона v_0 .

Необхідна площа перерізу циклона знаходиться за формулою, м²

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

де L – кількість викидів через циклон, м³/год; v_0 – оптимальна швидкість газів в перерізі циклона, м/с.

Задаємося кількістю циклонів n та визначаємо діаметр циклона, м:

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

У відповідності з держстандартом, для циклонів діаметри нормуються в наступному порядку: 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400 і 1600 мм. З цього номенклатурного ряду приймаємо найближчий більший стандартний діаметр циклона D_1 .

Визначаємо дійсну швидкість газів в циклоні, м/с:

$$v_0' = \frac{1,27 \cdot L}{3600 \cdot n \cdot (D_1)^2}, \quad (1.3)$$

де D_1 – найближчий більший номенклатурний діаметр циклона.

Визначаємо 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 визначаємо компоновку циклонів, а також значення коефіцієнта місцевого опору циклона $\Delta\xi_0$.

Динамічна в'язкість газів для робочих умов визначається як, 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 компонування циклонів (табл. А.3); k_1 – коефіцієнт, що залежить від діаметру циклона (табл. А.4), k_2 –

поправковий коефіцієнт на запиленість газів (табл. А.5), ξ_0 – коефіцієнт місцевого опору циклона (табл. А.2).

За графіком фракційної ефективності очищення (рис. А.6) визначаємо 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 й густини обчислюється нове значення d'_{50} , мкм:

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

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

Для циклонів типу СИОТ, ЛІОТ, ВЦНІІОТ розрахунки треба вести за графіками для циклонів ЦН-11, ЦН-15 і ЦН-24 відповідно.

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

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

Основні розміри циклона визначають в частках від внутрішнього діаметра D_1 :

вихідний отвір циклона $D_{вих} = 0,59 D_1$, мм;

розміри вхідного патрубку $a \times b = 1,11 D_1 \times 0,26 D_1$, мм;

загальна висота циклона $4,26 D_1$, мм.

Практична робота 2

РОЗРАХУНОК РОЗСІЮВАННЯ НАГРІТИХ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРІ

2.1 Мета й вихідні дані для виконання роботи

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

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:

- шкідлива речовина: двоокис азоту (NO_2);
- гранично допустима концентрація речовини в атмосферному повітрі ГДК = $0,085 \text{ мг/м}^3$
- кількість речовини, що викидається M , г/с
- висота труби H , м.
- діаметр вихідного отвору труби D , м.
- середня швидкість газоповітряної суміші на виході з гирла труби ω_0 , м/с.
- температура газоповітряної суміші на виході з труби T_r , °С.

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

2.2 Методичні вказівки до виконання роботи

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 й 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 визначається за формулою, м³/с

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

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 проекту конкретного виробництва або приймаються відповідно до діючих для даного виробництва (процесу) нормативів.

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

Величини безрозмірного коефіцієнта F приймаються:

– 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, $F = 1$;

– 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 в 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 в 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 обчислюється за формулою, $\text{м}/\text{с}$

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

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 в рівнянні (2.9) визначається в залежності від значення швидкості V_M :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

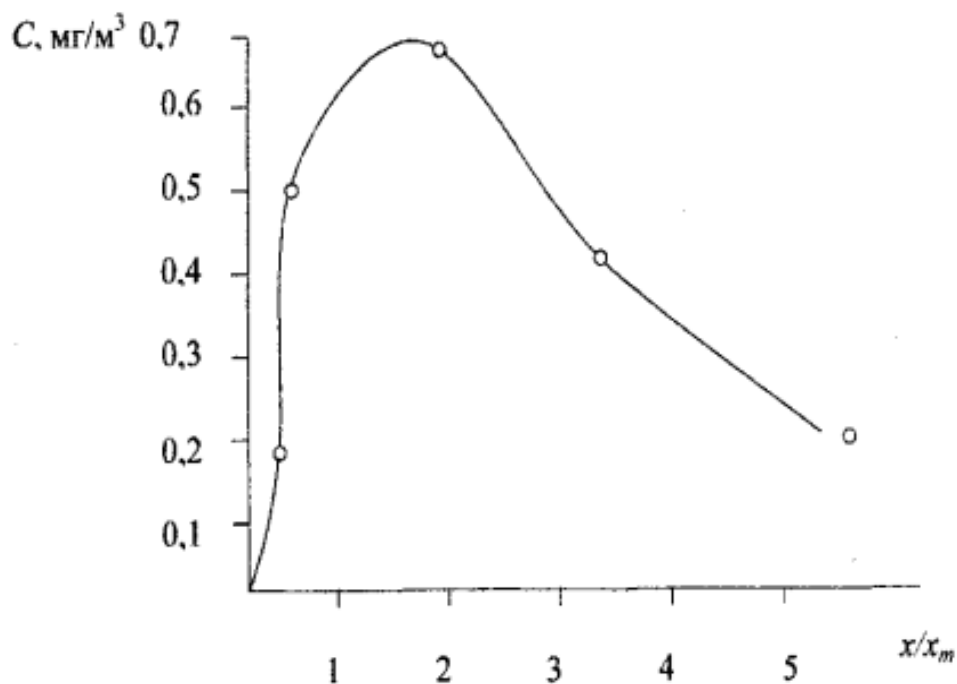


Рисунок 2.1 – Залежність концентрації шкідливої речовини в приземному шарі атмосфери від відстані від джерел викидів

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

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

Мінімальна висота одиночного джерела викиду (труби) 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 таблицю.

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)			NO ₂ (двоокис азоту)
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	

Практична робота №3

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОФІЛЬТРІВ

3.1 Мета й вихідні дані для виконання роботи

Технологічний розрахунок електрофільтра складається з наступних розрахунків:

1. розрахунок площі активної зони електрофільтра (в залежності від заданої кількості газу, що очищується, і рекомендованої швидкості газу в електрофільтрі);
2. визначення електричних параметрів роботи електрофільтра;
3. визначення ефективності очищення газу в електрофільтрі.

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

Вихідні дані:

Склад газу, який очищується (в частках за об'ємом):
13% CO₂, 6,5% O₂, 8,5% H₂O і 72% N₂.

Кількість газу V , м³/год;

Температура газу t , °C ;

Розрідження в системі p , Па ;

Вміст пилу в газі q , г/м³ ;

Барометричний тиск $p_{\text{бар}}$, Па.

Динамічна в'язкість газової суміші $\mu_{\text{см}}$, 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

3.2 Методичні вказівки до виконання роботи

Приймаємо до встановлення електрофільтр типу УГ (уніфікований горизонтальний).

Задавши швидкістю газу в електрофільтрі $v = 1$ м/с, визначаємо площу активного перетину електрофільтра, м²:

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

За каталогом вибираємо 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 уточнюємо швидкість газу в електрофільтрі, м/с

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

Обчислюємо відносну густину газів β (що дорівнює відношенню густини газів в робочих умовах до їх густини при стандартних умовах при $t = 20$ °С і $p = 101,3$ 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 газоході перед електрофільтром, Па (з приймається за вихідними даними, при розрідженні обирається знак «+», при надлишковому тиску: знак «-»); t – температура газу, °С.

Розраховуємо критичну 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 .

Розраховуємо критичну напругу корони (або різницю потенціалів між коронувальним й осаджувальним електродами), В

$$U_0 = E_0 \cdot R_1 \left[\pi \cdot H/d - \ln \left(2\pi R_1/d \right) \right], \quad (3.5)$$

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).

Визначаємо лінійну густина струму корони для пластинчастого електрофільтра, А/м:

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

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.

Розраховуємо напруженість поля в пластинчастому електроді, В/м:

$$E_x = \sqrt{\frac{8 \cdot i_0 \cdot H}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot k \cdot d}}, \quad (3.7)$$

де ϵ_0 - діелектрична проникність вакууму, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м .

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

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

Розраховані параметри заносимо в таблицю:

r_i , МКМ	2,5	5	10	15	20	25
v_i , М/с						

Розраховуємо питому поверхню осадження, $\text{м}^2/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$:

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

де $F_{об}$ - загальна площа осадження електродів (приймається за технічними характеристиками електрофільтра, табл. В.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

v_i , М/с						
η_i						

Знаходимо загальну 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. Повышение экологической безопасности ТЭС : учеб. пособие / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; под. ред. А.С. Седлова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 378 с.
2. Рихтер Л.А. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций / Л. А. Рихтер, Э. П. Волков, В. Н. Покровский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
3. Природоохоронні технології. Ч 1. Захист атмосфери / В. Г. Петрук, Л. І. Северин, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2010. – 318 с.
4. Кислов Н.В. Рекомендации по проектированию и расчету пылеуловителей типа циклон для предприятий стройиндустрии / Н. В. Кислов, В. Д. Сизов, В. Н. Короткий, А. П. Пашков. – Мн.: УП «Технопринт», 2001.
5. Калыгин В. Г. Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 423 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Дані до практичної роботи 1

Таблиця А.1 – Вихідні дані: вид пилю й марка циклона

№ п/п	Вид пилю	Марка циклона
1	Пил помольних і дробильних установок	ЦН-11
2	Пил димових газів котельних	ЦН-15
3	Пил димових газів котельних (при обмеженні розмірів)	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	Сухий пил, що не є волокнистим і не злипається	СИОТ
9	Сухий пил, що не є волокнистим і не злипається	ЛИОТ
10	Пил абразивний, слаболокнистий	ВЦНИИОТ

Таблиця А.2 – Коефіцієнти місцевих опорів ξ_0 циклонів й 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	
		$\xi_{\text{ц}}$	ξ_0	$\xi_{\text{ц}}$	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-34	2	600	20,3	500	31,3
СК-ЦН-34	1,7	1150	24,9	-	30,3
СК-ЦН-34м	2	2000	-	-	30,3
СИОТ	12	-	6,0	-	4,2
ЛИОТ	14	-	4,2	-	3,7
ВЦНИИОТ	15	-	10,5	-	10,4

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, СИОТ, ЛИОТ, ВЦНИИОТ
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 $C_{п}$					
	$C_{п}=0$ г/м ³	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	0,91	0,91
СК-ЦН-34м	1	0,99	0,96	0,95	0,92	0,92
СИОТ, ЛИОТ, ВЦНИИОТ	1	1	2	1	1	1

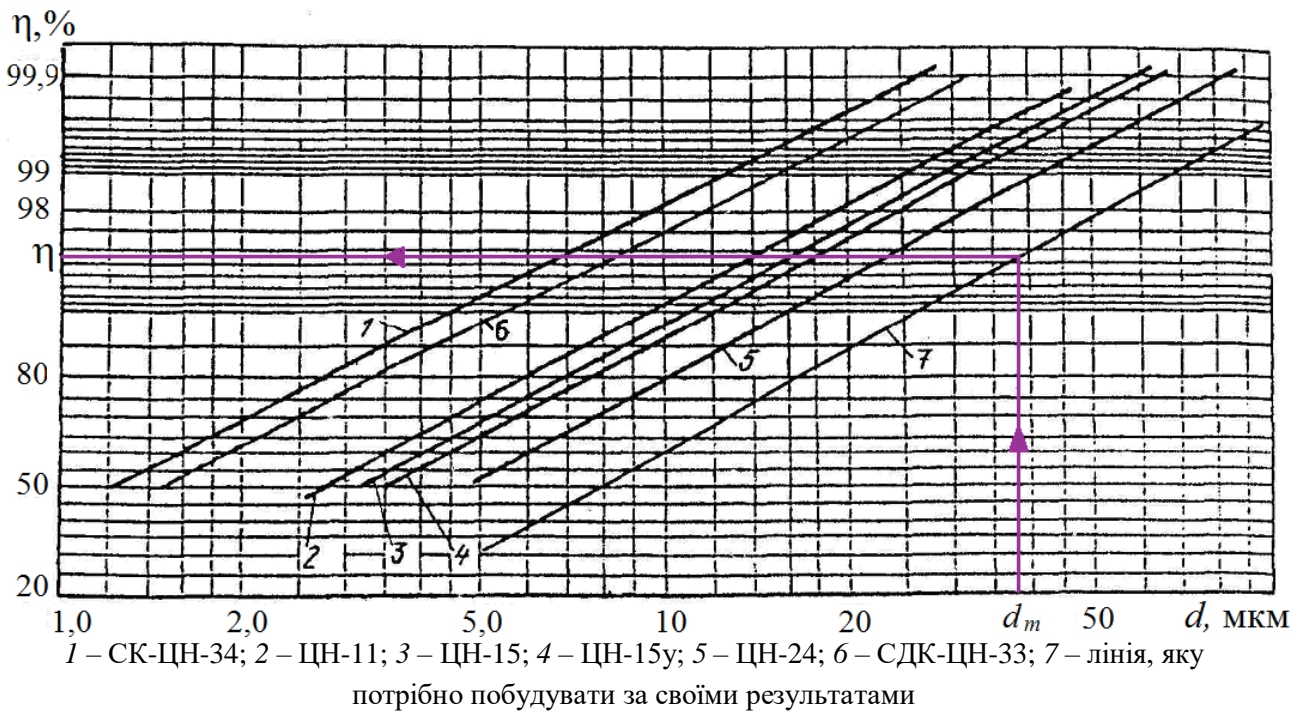


Рисунок А.6 – Фракційна ефективність очистки циклона

Додаток Б

Дані до практичної роботи 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
1	Площа активного перетину $F_a, \text{м}^2$	10	10	15	44	44	88	15	26	26	37	37
2	Кількість полів	2	3	2	4	3	4	3	3	4	3	4
3	Крок між однойменними електродами, мм	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
4	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
5	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
6	Загальна площа осадження електродів, $F_{об}, \text{м}^2$	420	630	630	6300	9200	12300	940	1690	2250	2360	3150
7	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; УГ1-315	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
Практична робота 1. Підбір типу циклона й розрахунок його технічних характеристик	4
1.1 Загальні положення	4
1.2 Мета й вихідні дані для виконання роботи	5
1.3 Методичні вказівки до виконання роботи	5
Практична робота 2. Розрахунок розсіювання нагрітих викидів в атмосфері	8
2.1 Мета й вихідні дані для виконання роботи	8
2.2 Методичні вказівки до виконання роботи	8
Практична робота 3. Розрахунок електрофільтрів	14
3.1 Мета й вихідні дані для виконання роботи	14
3.2 Методичні вказівки до виконання роботи	15
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	18
ДОДАТКИ	19
ЗМІСТ	24

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять
з курсу «Екологія енергетики»
для студентів спеціальностей 144 «Теплоенергетика»
усіх форм навчання

Укладачі: ПУГАЧОВА Тетяна Миколаївна
КРУГЛЯКОВА Ольга Володимирівна

Відповідальний за випуск проф. Ганжа А.М.
Роботу рекомендував до видання проф. Ромашов Ю.В.

В авторській редакції

План 2020 р., поз. 16

Підп. до друку 10.03.20. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. Riso-друк.
Гарнітура Times New Roman. Ум друк. арк. 1,2. Наклад 50 прим.
Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
