

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ

Методичні вказівки
для виконання індивідуальної роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за освітньо-професійними програмами
Е2 «Екологія та охорона навколишнього середовища»
та G2 «Технології захисту навколишнього середовища»

Київ 2026

УДК 504

I-62

Укладачі: І.В. Клімова, канд. техн. наук, доцент;

О.Г. Жукова, канд. техн. наук, доцент;

Р.О. Глущенко д-р філософії PhD, асистент

Рецензент Л.О. Василенко, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Т.М. Ткаченко, д-р техн. наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри ТЗНСтаОП протокол №9 від 24 квітня 2026 року.

В авторській редакції.

Інженерні методи захисту атмосфери [електронний ресурс] : методичні І-62 вказівки /уклад: І.В. Клімова, О.Г. Жукова, Р.О. Глущенко. – Київ: КНУБА, 2026. – 46 с.

Містять розробки комплексу задач із захисту атмосфери від забруднення пиловим і газовим викидом.

Наведено розрахунок конструктивних параметрів циклону, абсорберу, аналіз результатів розсіювання викидів після очищення і визначення рівня забруднення атмосфери на межі санітарно-захисної зони. Початкові дані і результати розрахунку відображаються на карті-схемі.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійними програмами Е2 «Екологія та охорона навколишнього середовища» та G2 «Технології захисту навколишнього середовища»

© КНУБА, 2026

ЗМІСТ

Загальні положення	4
1. Вступні відомості та зміст індивідуального завдання.....	4
2. Фрагмент карти-схеми джерел забруднення (пиловий і газовий).....	5
3. Визначення характеристик дисперсного складу пилу за заданими результатами ситового аналізу	7
4. Розрахунок циклону або їх групи і визначення повної ефективності очищення.....	12
5. Розрахунок розсіювання залишкової кількості пилу і відображення результату на карті-схемі	21
6. Розрахунок основних конструктивних параметрів абсорбера насадочного типу для поглинання сірчистого ангідриду	33
7. Розрахунок розсіювання залишкової кількості SO ₂	41
8. Аналіз результатів розсіювання очищених викидів і визначення рівня забруднення атмосфери на межі санітарно-захисної зони.....	42
Список літератури	44

Загальні положення

Діяльність фахівця-еколога складається з оволодіння інформацією, її узагальнення та здатністю прийняття рішень по інженерній складовій захисту навколишнього середовища. Метою методичних вказівок, які відповідають змістованим модулям 3, 4 робочої програми дисципліни «інженерні методи захисту атмосфери», є формування у здобувачів вищої освіти теоретичних знань і практичних навичок щодо оцінювання стану забруднення атмосфери, аналізу антропогенного впливу на неї та розроблення інженерних заходів із захисту атмосферного повітря. У процесі виконання індивідуального завдання студенти набувають умінь визначати характеристики пилогазових викидів, розраховувати ефективність газоочисного обладнання, оцінювати процеси розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері та здійснювати аналіз рівня екологічної безпеки на межі санітарно-захисної зони.

1. Вступні відомості та зміст індивідуального завдання

Індивідуальне завдання виконується за змістованими модулями 3 і 4 робочої програми. Задача вирішується в ході усвідомлення сукупності певних інформаційних положень: екологічної характеристики атмосфери, мінливості метеоумов і пов'язаних відмінностей шляхів розповсюдження різноманітних емісій, антропогенної складової емісій та її вплив на показники екологічної безпеки, нормування показників екологічної безпеки, інженерних заходів щодо зменшення продуктивності джерел забруднення, оцінювання результатів інженерних заходів із захисту атмосфери.

Виконання завдання передбачає послідовну розробку пов'язаних кроків:

1. Визначення характеристик дисперсного складу пилу за заданими результатами ситового аналізу (задача №1, розв'язання р.3).
2. Розрахунок конструктивних параметрів заданого типу циклону, їх групи і визначення повної ефективності очистки (задача №2, розв'язання р.4).
3. Розрахунок розсіювання залишкової кількості пилу і відображення результату на карті-схемі (задача №3, розв'язання р. 5).
4. Розрахунок основних конструктивних параметрів абсорбера насадочного типу для поглинання сірчистого ангідриду (задача №4, розв'язання р.6).
5. Розрахунок розсіювання залишкової кількості сірчистого ангідриду

SO₂ (задача №5, розв'язання р.7).

6. Аналіз результатів розсіювання очищених викидів і визначення рівня забруднення атмосфери на межі санітарно-захисної зони (задача №6, розв'язання р.8).

7. Фрагмент карти-схеми джерел забруднення викидів (пиловий і газовий).

2. Фрагмент карт-схем джерел забруднення (пиловий і газовий)

виконується у форматі А3

Бічна сторона фрагмента відповідає напрямку П-Пд (північ – південь).

Точки викидів пилового «П» і газового «Г» розташовують усередині поля.

Координати (х, у) викидів вибирають відповідно до шифру за табл. 1 (рядки 1 і 2 – викиди пилові, рядки 3 і 4 – газові).

Місце розташування промислового об'єкта і його класнебезпечності за табл. 1.

Розмір санітарно-захисної зони (СЗЗ) відповідно до класу небезпечності підприємства [6] беруть за табл. 2.

У лівому верхньому кутку карти відтворюється роза вітрів заданого місця для теплого і холодного періодів з нанесенням повторюваності і швидкості вітрів по 8 румбах.

Початок координатної сітки може бути на полі форматки або за її межами. Крок сітки в масштабі 1:5000, 1:2500, 1:1000 залежно від розмірів санітарно-захисної зони. Далі наноситься санітарно-захисна зона підприємства (для цього від кожного джерела відкладається СЗЗ – це коло з відповідним радіусом СЗЗ в центрі кожного викиду, потім ці кола поєднуються). За необхідністю, якщо не виконуються умови по граничних значеннях викидів, можна скорегувати санітарно-захисну зону за розою вітрів (для теплого періоду року розміри зони розраховуються за формулою (55) і корегуються у віддзеркалюючому напрямку).

Кількість джерел для пилового і газового викидів вибирається індивідуально.

Варіант обирається за порядковим номером списку групи.

Таблиця 1

Початкові дані для виконання РГВ

Показник		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Місце розташування промислового об'єкта		Вінниця	Дніпро	Житомир	Івано-Франківськ	Кропивницький	Київ	Луцьк	Одеса	Рівне	Полтава	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Висоти джерел викиду, Н, м	1	14	10	12	11	10	15	12	15	15	15	
	2	15	15	16	16	15	16	16	13	16	16	
	3	40	45	35	50	35	45	40	50	35	45	
	4	20	15	35	27	30	40	45	50	20	15	
Координати джерел викиду (х,у), м	п и л	1	50, 500	100, 450	150, 400	200, 350	250, 300	300, 250	350, 200	400, 150	450, 100	500, 500
		2	100, 100	200, 200	300, 300	400 400	500, 500	500, 500	400, 400	300, 300	200, 200	100, 100
	газ	3	400, 200	450, 500	500, 450	500, 450	200, 450	500, 200	450, 150	500, 450	450, 500	200, 400
		4	350, 450	500, 300	200, 250	450 500	450, 250	200, 400	450, 500	250, 200	300, 500	450, 350
Фонова концентрація, С _ф , мг/м ³		0,01	0,15	0,02	0,12	0,17	0,02	0,15	0,01	0,12	0,17	
Клас небезпечності підприємства		II	III	IV	V	IV	III	II	III	IV	V	

Таблиця 2

Розмір санітарно-захисної зони

Клас небезпечності підприємства	Розмір санітарно-захисної зони, м
I	1000
II	500
III	300
IV	100
V	50

3. Визначення характеристик дисперсного складу пилуза заданими результатами ситового аналізу

Визначити медіанний діаметр частинок пилу d_m і стандартне відхилення функції розподілу пофракційного складу пилу $lg\sigma_{\text{ч}}$ для пилу, дисперсний склад якого приведено в табл. 3.

Дисперсний склад пилу задається за результатами ситового аналізу (табл. 3) у вигляді кількостей у відсотках у межах фракційних діапазонів.

Таблиця 3

Початкові дані для визначення медіанного діаметра d_m і середнього квадратичного відхилення $lg\sigma_{\text{ч}}$

Остан- ня цифра шиф- ру	Фракційний склад, %									Код ре- чо- ви- ни
	Розмір частинок, мкм									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-86	86- 100	>100	
1	7	9	11	10	8	6	11	5	33	2907
2	11	9	18	7	6	5	13	4	27	2908
3	32	15	11	8	6	5	9	3	11	2915
4	6	4	9	22	18	12	15	5	9	2908
5	26	18	10	7	5	4	11	2	17	2918
6	26	20	12	10	11	6	6	2	7	10363
7	19	14	10	8	6	4	10	4	25	10431
8	16	14	10	8	7	6	11	4	24	11253
9	17	13	10	8	7	5	10	4	26	11263
0	13	19	18	12	8	6	9	2	13	10535

Побудувати ступінчастий графік розподілу пилу по фракціях, диференціальну криву розподілу по фракціях, інтегральні криві розподілу по повних проходах і часткових залишках в лінійній і логарифмічній системі координат.

Фракційний склад у вигляді таблиці відображується ступінчастою гістограмою розподілення пилу за фракціями і диференційною кривою кількісного розподілу частинок пилу.

Приклад 1.

Фракційний склад пилу (табл. 4), ступінчастий графік $\Phi(d)$ розподілу пилу по фракціях (рис. 1) и диференціальна крива розподілення (рис. 2).

Таблиця 4

Фракційний склад пилу

Розмір частинок пилу, $d_{\text{ч}}$, мкм	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-86	86-100	>100
Вміст фракцій, % за масою $\Phi(d)$	19	14	10	8	6	4	10	4	25

Розв'язування. На міліметровому папері будують ступінчастий графік $\Phi(d)$ розподілу пилу по фракціях (рис. 1).

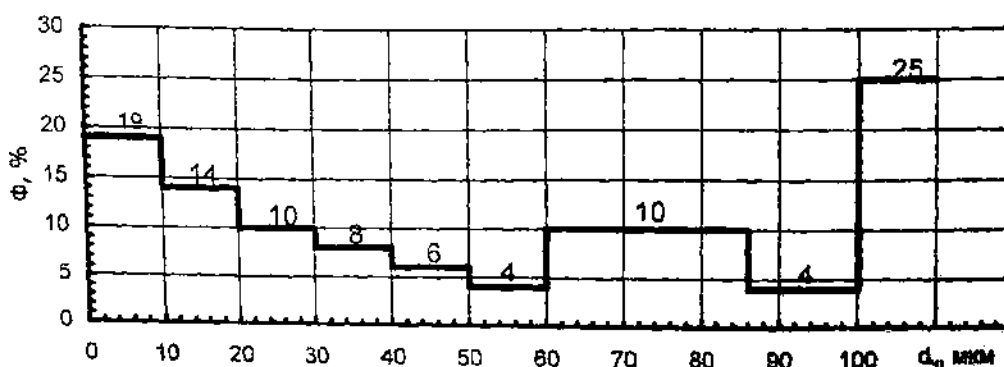


Рис. 1. Ступінчастий графік $\Phi(d)$ розподілу пилу по фракціях

Беручи за основу даний графік, будують диференціальну криву розподілу частинок за розміром (рис. 2) відкладаючи на осі ординат значення:

$$N_i = \frac{\Phi_i}{\Delta d_i} \quad (1)$$

де Δd_i – різниця розміру частинок даної фракції, тобто:

$$N_1 = \frac{19}{10 - 0} = 1,9; \quad N_2 = \frac{14}{20 - 10} = 1,4; \quad \text{і т. д.}$$

на осі абсцис відкладають відповідно середні значення розмірів частинок пилу даної фракції:

$$d_i = \frac{d_{in} + d_{ik}}{2}, \quad (2)$$

тобто:

$$d_1 = \frac{0+10}{2} = 5\text{мкм}; \quad d_2 = \frac{10+20}{2} = 15\text{мкм}; \quad d_3 = \frac{20+30}{2} = 25\text{мкм}; \dots$$

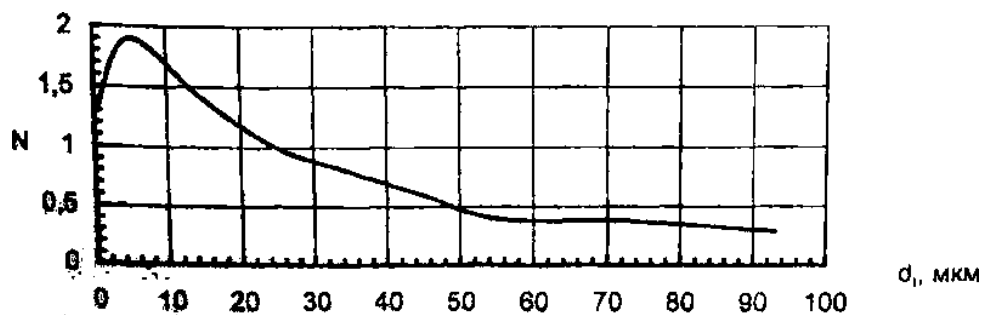


Рис. 2. Диференціальна крива розподілу частинок пилу за розмірами фракцій

За фракційним розподіленням складають суми повних проходів $\sum D(d)$ і залишків на ситах $\sum R(d)$ у вигляді табл. 5.

Таблиця 5

Значення $D(d)$ і $R(d)$ для дисперсного складу пилу

Розмір частинки, мкм	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<86	<100
$D(d)$	19	33	43	51	57	61	71	75
$R(d)$	81	67	57	49	43	39	29	25

На основі даних табл. 5 будують інтегральний графік дисперсного складу в лінійних координатах $\sum D\%(d_{\text{мкм}})$, $\sum R\%(d_{\text{мкм}})$, рис. 3.

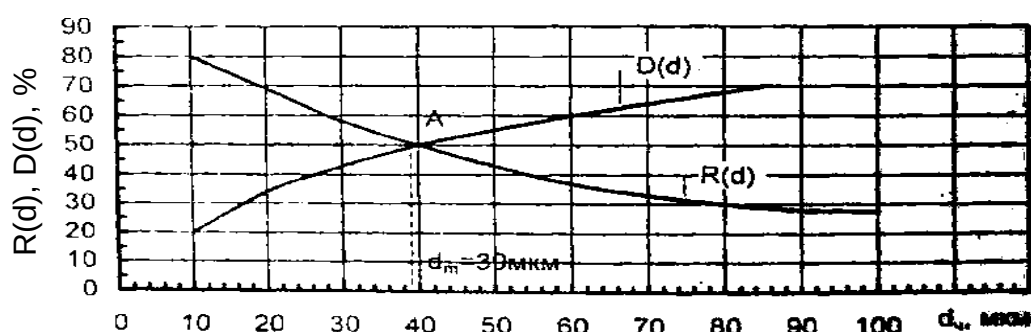


Рис. 3. Інтегральні криві дисперсного складу пилу по повних проходах $D(d)$ і часткових залишках $R(d)$

На перетині двох кривих знаходять значення медіанного діаметра $d_m=39$ мкм.

Та сама залежність випрямляється в імовірностно-логарифмічній системі координат (функція розподілу, $\log d_{\text{ч}}$), де $\frac{\sum D}{100} = \Phi(x)$.

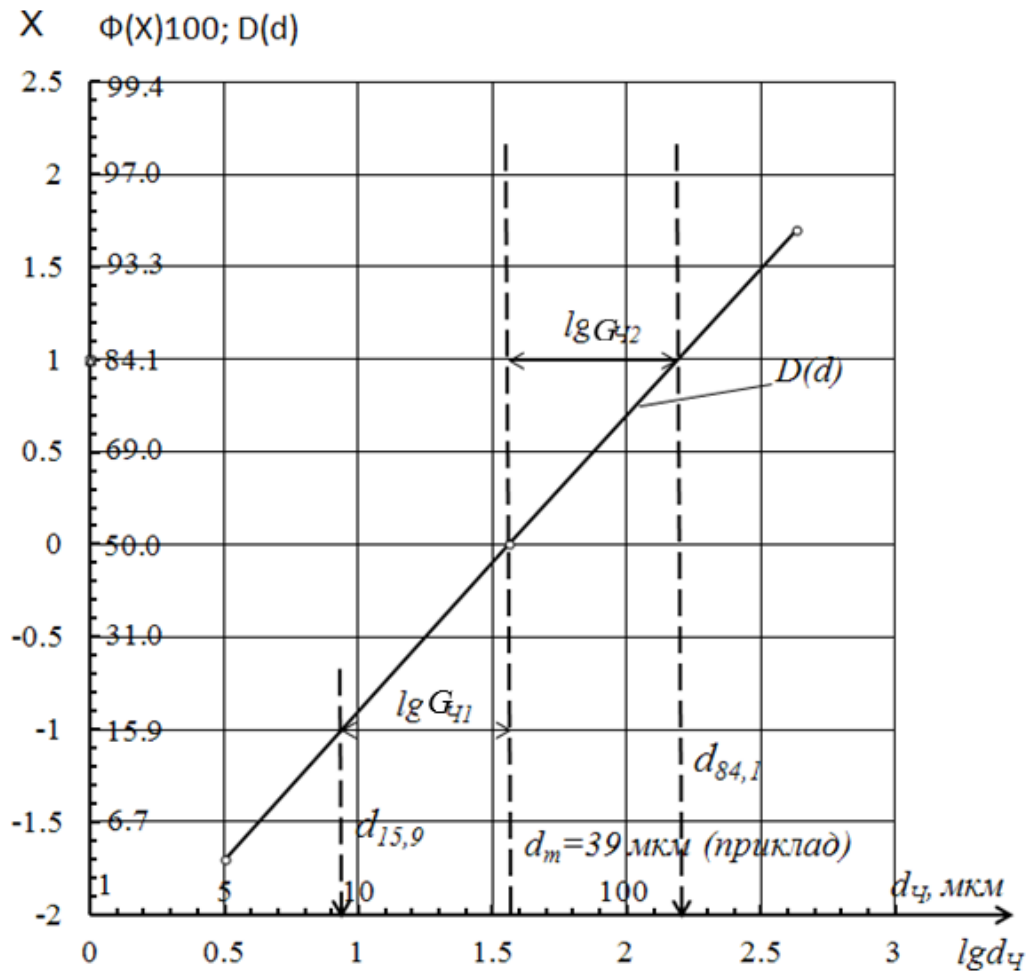


Рис. 4. Дисперсний склад пилу по повних проходах $D(d)$ в ІЛСК

Графік ІЛСК рис. 4 на міліметровому папері (у вигляді прямої лінії) дає можливість визначати медіанний діаметр розподілення d_m і логарифм стандартного відхилення функції розподілення $\lg \sigma_{\text{ч}}$, де

$$\lg \sigma_{\text{ч}} = (\lg \sigma_{\text{ч}1} + \lg \sigma_{\text{ч}2}) / 2, \quad (3)$$

$$\lg \sigma_{\text{ч}1} = \lg d_m - \lg d_{15,9} = 1,58 - 0,91 = 0,67, \quad (4)$$

$$\lg \sigma_{\text{ч}2} = \lg d_{84,1} - \lg d_m = 2,25 - 1,58 = 0,67. \quad (5)$$

4. Розрахунок циклону або їх групи і визначення повної ефективності очищення

Початкові дані для розрахунку приймають за табл. 6: витрата газу L м³/с, температура °С, t_g , тип циклону, діаметр $D_{ц}$, мм, концентрація пилу $\rho_{ч}$, кг/м³.

Таблиця 6

Початкові дані для ефективності циклона типу ЦН

Параметри	Значення передостанньої цифри залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Витрата газу від одного джерела L , м ³ /с	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
Температура газу, t_g , °С	20	20	20	80	80	150	150	200	200	200
Діаметр циклону $D_{ц}$, мм	250	300	350	250	300	250	300	250	300	350
Тип циклону	ЦН-11	ЦН-11	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-24	ЦН-24
Концентрація пилу на вході, $C_{вх}$, г/м ³	100	100	150	150	200	200	250	250	50	50
Густина частинок пилу, $\rho_{ч}$, кг/м ³	1800	1800	2200	2200	2600	2600	3000	3000	3400	3400

Параметри, які визначають ефективність циклонів НДІОГАЗ типу ЦН, за результатами типових випробувань наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Параметри, які визначають ефективність циклонів НДЮГАЗ типу ЦН

Параметри	Тип циклону			
	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11
d_{50}^T , МКМ	8,5	6,00	4,50	3,65
$\lg^T \sigma_{\text{ч}}$	0,308	0,283	0,352	0,352
$w_{\text{опт}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5

Примітка. Значення d_{50}^T в таблиці відповідає таким умовам роботи циклонів: середня швидкість газу в циклоні $w_{\text{опт}} = 3,5$ м/с; діаметр циклона $D_{\text{т}} = 0,6$ м; густина частинок $\rho_{\text{ч.т}} = 1930$ кг/м³; динамічна в'язкість газу $\mu_{\text{т}} = 22,2 \times 10^{-6}$ Па·с.

Приклад 2. Виконати розрахунок циклонної установки, її компонування, аеродинамічний опір $\Delta P_{\text{ц}}$ і ефективність вловлювання пилу $\eta_{\text{п.о.}}$ циклоном типу ЦН-15У (аналітичним методом). Для таких початкових даних: діаметр циклона - $D_{\text{ц}} = 255$ мм; температура повітря яке очищується від пилу $t_{\text{г}} = 150^\circ\text{C}$; концентрація пилу на вході в циклон $C_{\text{вх}} = 200$ г/м³, густина пилу $\rho_{\text{ч}} = 2600$ кг/м³; витрата повітря $L = 2,0$ м³/с; пофракційний склад пилу прийняти відповідно до табл. 3.

Розв'язування.

Використовуючи тип циклона ЦН-15У), за табл. 7 визначають оптимальну швидкість руху повітря, яке очищується від пилу в апараті

$$w_{\text{опт}} = 3,5 \text{ м / с.}$$

Знаючи оптимальну швидкість та витрату повітря визначають площу поперечного перерізу циклонної установки за формулою:

$$F = \frac{L}{w_{\text{опт}}}, \text{ м}^2, \quad (6)$$

тобто

$$F = \frac{2}{3,5} = 0,571 \text{ м}^2.$$

Далі визначають розрахункову кількість циклонів в циклонній групі за формулою:

$$N = \frac{F}{0,785 \cdot D_{\text{ц}}^2}, \text{ шт.}, \quad (7)$$

де F – площа поперечного перерізу циклонної установки, м²;

$D_{\text{ц}}$ – діаметр циклона, м.

Тоді

$$N = \frac{0,571}{0,785 \cdot 0,255^2} = 11,9 \text{ шт.}$$

Приймають кількість циклонів установки $N_{\text{уст}} = 12$ шт.

Керуючись табл. 8, виходячи із кількісного компоновання циклонів $D_{\text{ц}} = 255$ мм, кількість установки з 12 штук не компонується, тому приймають циклон $D_{\text{ц}} = 400$ мм і уточнюють їхню кількість за формулою (7):

$$N = \frac{0,571}{0,785 \cdot 0,4^2} = 4,55 \text{ шт.}$$

Приймають кількість установки $N_{\text{уст}} = 4$ шт.

Виходячи з цього, визначають реальну швидкість руху повітря в циклоні за формулою:

$$W_{\text{д}} = \frac{L}{0,785 \cdot N_{\text{уст}} \cdot D_{\text{ц}}^2}, \text{ м / с,} \quad (8)$$

$$W_{\text{д}} = \frac{2}{0,785 \cdot 4 \cdot 0,4^2} = 3,98 \text{ м / с.}$$

Перевіряють задоволення вимоги, що дійсна швидкість руху повітря в циклоні не повинна бути більшою від оптимальної на 15%, тобто

$$H = \frac{W_{\text{д}} - W_{\text{опт}}}{W_{\text{опт}}} \cdot 100\% \leq 15\% \quad (9)$$

тоді

$$H = \frac{3,98 - 3,5}{3,5} \cdot 100\% = 13,7\% < 15\%.$$

Вимога задовольняється.

Виходячи з цього, приймають остаточне компоновання циклонної установи із 4 штук, діаметром $D_{\text{ц}} = 400$ мм.

Таблиця 8

Рекомендації з компоновання циклонів ЦН в групи

Діаметр циклона, мм	Кількість циклонів в групі, шт.						
	група прямокутного компоновання				групи колового компоновання		
	2	4	6	8	10	12	14
200	п	п	п	п	-	-	-
300	о	о	о	о	-	-	-
400	п	п	п	п	-	-	-
500	о	о	о	о	-	-	-
600	п	п	п	п	п	п	п
700	о	о	о	о	-	-	-
800	п	п	п	п	п	п	п
900	п	п	п	п	-	-	-
1000	п	п	п	п	п	п	п
1200	п	п	-	-	-	-	-
1400	п	п	-	-	-	-	-
1600	п	п	-	-	-	-	-
1800	п	п	-	-	-	-	-

Примітка. п – групи, які рекомендуються для переважного використання;

о – групи обмеженого використання (по можливості не використовувати).

Визначають для циклонної установки втрати тиску (аеродинамічний опір) за формулою:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi \frac{\rho_{\text{п}} \cdot W_{\text{д}}^2}{2}, \text{Па}, \quad (10)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору циклона даного типу, який порівнюється із циклоном $D_{\text{ц}} = 500$ мм і визначається за формулою:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{\text{Ц}500}^{\text{СП}} + K_3, \quad (11)$$

де K_1 – поправковий коефіцієнт на діаметр циклона, береться за табл. 10;

K_2 – поправковий коефіцієнт на запиленість повітряної суміші, приймається за табл. 11;

K_3 – коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонованням циклонів в групу, береться за табл. 12 (для одиночних циклонів $K_3=0$);

$\xi_{\text{Ц}500}^{\text{СП}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона, діаметром

500 мм, береться за таблицею 9. Індекс "С" означає, що циклон працює в гідравлічній мережі, а "П" - без мережі, тобто прямо на викид в атмосферу.

Густина повітря, яке очищується, визначається за формулою:

$$\rho_n = \frac{353}{273 + t_r}, \text{кг/м}^3 \quad (12)$$

де t_r – температура повітря, яке очищується, °С, тоді:

$$\rho_n = \frac{353}{273 + 150} = 0,835 \text{ кг/м}^3,$$

$$\xi = 0,977 \cdot 0,86 \cdot 170 + 35 = 177,8 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{\text{ц}} = 17768 \cdot \frac{0,835 \cdot 3,98^2}{2} = 1176 \text{ Па}.$$

Якщо втрати тиску прийнятні, то переходять до розрахунку повного коефіцієнта очищення пилоповітряної суміші в циклонній установці.

Таблиця 9

Значення коефіцієнтів опору циклонів (Д = 500 мм, $W_r = 3$ м/с)

Марка циклона	d/D	Без додаткових пристроїв		З вихідним равником	З відводом $\alpha = 90^\circ$	
		$\xi^c_{\text{ц500}}$	$\xi^{\text{п}}_{\text{ц500}}$		e/d=1...12 $\xi^c_{\text{ц500}}$	e/d>12 $\xi^c_{\text{ц500}}$
ЦН-11	0,59	245	250	235	245	250
ЦН-15	-	155	163	150-155	155	160
ЦН-15У	-	165	170	158	165	170
ЦН-24	-	75	80	73	15	80

Таблиця 10

Поправковий коефіцієнт K_1 на вплив діаметра циклона

Діаметр циклона, Д, мм	Марка циклона	
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-25У, ЦН-24
150	0,94	0,85
200	0,95	0,90
300	0,96	0,93
400	0,99	1,0
500	1,0	1,0

Таблиця 11

Значення поправкових коефіцієнтів K_2 на запиленість газів ($D = 500$ мм)

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

Таблиця 12

Значення поправкових коефіцієнтів K_3 для групи циклонів типу ЦН

Характеристика групового циклона	K_3
Колове компонування, нижній організований підвід	60
Прямокутне компонування, циклонні елементи в одній площині. Відвід із загальної камери чистого газу	35
Те саме, на равликовий відвід із циклонних елементів	28
Прямокутне компонування. Вільний підвід потоку в загальну камеру	60

Допускають, що коефіцієнт очищення повітря в одиночному циклоні і групі циклонів однаковий. Насправді коефіцієнт очищення повітря в групі циклонів може бути трохи нижчим, ніж в одиночному циклоні. Це пояснюється можливістю виникнення витoku повітря через загальний бункер, що знижує коефіцієнт очищення повітря в групі циклонів.

Визначення повної ефективності циклона починають з уточнення діаметра відсікання d_{50} за реальними умовами роботи циклонів в порівнянні з умовами проведення типових випробувань (примітка до табл. 7).

Взявши за таблицею 7 два параметри d_{50}^T і $\lg \sigma_{\text{ч}}^T$, які характеризують ефективність вибраного типу циклона, визначають значення параметра d_{50} для робочих умов за формулою:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\left(\frac{D_{\text{ц}}}{D_{\text{Т}}}\right) \left(\frac{\rho_{\text{чТ}}}{\rho_{\text{ч}}}\right) \left(\frac{\mu}{\mu_{\text{Т}}}\right) \left(\frac{W_{\text{ОПТ}}}{W_{\text{д}}}\right)}, \text{ мкм} \quad (13)$$

де $D_{\text{Т}}, \rho_{\text{чТ}}, \mu_{\text{Т}}, W_{\text{ОПТ}}$ – відповідно, діаметр циклона, м; густина частинок пилу, кг/м³; динамічна в'язкість, Па·с; оптимальна швидкість руху повітря в циклоні, м/с, які беруться з таблиці 7; μ – динамічна в'язкість для прийнятих умов Па·с, яка визначається за формулою:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{273 + C}{273 + t_{\Gamma} + C} \right) \left(\frac{273 + t_{\Gamma}}{273} \right)^{3/2}, \quad (14)$$

де μ_0 — динамічна в'язкість для повітря без домішок пилу, Па·с, приймається $\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

t_{Γ} — температура повітря, яке очищується, °С;

C — константа Сезерленда, приймається для повітря $C = 124$, тоді

$$\mu = 17,3 \cdot 10^{-6} \left(\frac{273 + 124}{273 + 150 + 124} \right) \left(\frac{273 + 150}{273} \right)^{3/2} = 24,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{С}.$$

Взявши за табл. 7 значення $d_{50}^T = 6,0 \text{ мкм}$; $D_T = 0,6 \text{ м}$; $\rho_{\text{чТ}} = 1930 \text{ кг/м}^3$; $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $W_{\text{ОПТ}} = 3,5 \text{ м/с}$, (для циклона ЦН-15У), визначають:

$$d_{50} = 6 \sqrt{\left(\frac{0,4}{0,6} \right) \left(\frac{1930}{2600} \right) \left(\frac{24,2 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} \right) \left(\frac{3,5}{3,98} \right)} = 4,13, \text{ мкм}.$$

Визначають параметр X нормальної функції розподілу $\Phi(X)$ за формулою:

$$X = \frac{\lg \left(\frac{d_m}{d_{50}} \right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{ч}} + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}^T}}. \quad (15)$$

де d_m — медіанний діаметр частинок пилу, мкм, який беруть із прикладу 1, $d_m = 39 \text{ мкм}$;

$\lg \sigma_{\text{ч}}$ — середньоквадратичне відхилення функції розподілу пофракційного складу пилу, приймається із прикладу 1, $\lg \sigma_{\text{ч}} = \lg \sigma_{\text{ч}_1} = \lg \sigma_{\text{ч}_2} = 0,67$, тоді

$$X = \frac{\lg\left(\frac{39}{4,13}\right)}{\sqrt{0,67^2 + 0,283^2}} = \frac{\lg 9,44}{0,727} = \frac{0,975}{0,727} = 1,34.$$

За табл. 13 визначають значення нормальної функції розподілу $\Phi(X)$, взявши значення параметра $X = 1,34$. $\Phi(X) = 0,91$, що відображує повний коефіцієнт очищення повітря від пилу, виражений в долях одиниці, тобто $\eta_{п.о.} = 91\%$.

Таблиця 13

Значення нормальної функції розподілу

X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$
-2,70	0,0035	-1,0	0,1587	0,12	0,5478	1,26	0,8962
-2,60	0,0047	-0,98	0,1635	0,14	0,5557	1,28	0,8997
-2,50	0,0062	-0,96	0,1685	0,16	0,5636	1,30	0,9032
-2,40	0,0082	-0,94	0,1736	0,18	0,5714	1,32	0,9066
-2,30	0,0107	-0,92	0,1738	0,2	0,5793	1,32	0,9066
-2,20	0,0139	-0,90	0,1841	0,22	0,5871	1,34	0,9099
-2,10	0,0179	-0,88	0,1894	0,24	0,5948	1,36	0,9131
-2,00	0,0228	-0,86	0,1949	0,26	0,6026	1,38	0,9162
-1,98	0,0239	-0,84	0,2005	0,28	0,6103	1,38	0,9162
-1,96	0,025	-0,82	0,2061	0,30	0,6179	1,4	0,9192
-1,94	0,0262	-0,80	0,2119	0,32	0,6255	1,42	0,9222
-1,92	0,274	-0,78	0,2177	0,34	0,6331	1,44	0,9251
-1,90	0,0288	-0,76	0,2236	0,36	0,6406	1,46	0,9279
-1,88	0,0301	-0,74	0,2297	0,38	0,648	1,46	0,9279
-1,86	0,0314	-0,72	0,2358	0,40	0,6554	1,48	0,9306
-1,84	0,0329	-0,70	0,242	0,42	0,6628	1,50	0,9332
-1,82	0,0344	-0,68	0,2483	0,44	0,67	1,52	0,9357
-1,80	0,0359	-0,66	0,2546	0,46	0,6772	1,54	0,9382
-1,78	0,0375	-0,64	0,2611	0,48	0,6844	1,54	0,9382
-1,66	0,0485	-0,52	0,3015	0,60	0,725	1,64	0,9495
-1,64	0,0505	-0,50	0,3085	0,62	0,7324	1,66	0,9515
-1,62	0,0526	-0,48	0,3156	0,64	0,7389	1,68	0,9535
-1,60	0,0548	-0,46	0,3228	0,66	0,7454	1,68	0,9535

X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$
-1,53	0,0571	-0,44	0,33	0,68	0,7517	1,70	0,9554
-1,56	0,0594	-0,42	0,3372	0,70	0,758	1,72	0,9573
-1,54	0,0618	-0,40	0,3446	0,72	0,7642	1,74	0,9591
-1,52	0,0643	-0,38	0,352	0,74	0,7703	1,76	0,9608
-1,48	0,0694	-0,34	0,3669	0,78	0,7823	1,78	0,9625
-1,46	0,0721	-0,32	0,3745	0,80	0,7881	1,80	0,9641
-1,44	0,0749	-0,30	0,3821	0,8	0,7939	1 82	0,9656
-1,42	0,0778	-0,28	0,3897	0,84	0,7995	1,84	0,9671
-1,40	0,0808	-0,26	0,3974	0,86	0,8051	1,84	0,9671
-1,38	0,0838	-0,24	0,4052	0,88	0,8106	1,86	0,9686
-1,36	0,0869	-0,22	0,412	0,90	0,8156	1,88	0,9699
-1,34	0,0901	-0,20	0,4207	0,92	0,8212	1,90	0,9713
-1,32	0,0934	-0,18	0,4286	0,94	0,8264	1,92	0,9726
-1,30	0,0968	-0,16	0,4364	0,96	0,8315	1,92	0,9726
-1,28	0,1003	-0,14	0,4443	0,98	0,8365	1,94	0,9738
-1,26	0,1038	-0,12	0,4522	1,00	0,8413	1,96	0,975
-1,24	0,1075	-0,10	0,4602	1,02	0,8461	1,98	0,9761
-1,22	0,1112	-0,08	0,4681	1,04	0,8508	2,00	0,9772
-1,20	0,1151	-0,06	0,4761	1,06	0,854	2,00	0,9772
-1,18	0,119	-0,04	0,484	1,08	0,8599	2,10	0,982
-1,16	0,123	-0,02	0,492	1,10	0,8643	2,20	0,9861
-1,14	0,1271	0,00	0,5000	1,12	0,8686	2,30	0,9893
-1,12	0,1314	0,00	0,5000	1,14	0,8729	2,40	0,9918
-1,10	0,1357	0,02	0,5080	1,16	0,877	2,40	0,9918
-1,08	0,1401	0,04	0,5160	1,18	0,881	2,50	0,9938
-1,06	0,1446	0,06	0,5239	1,2	0,8849	2,50	0,9938
-1,04	0,1492	0,08	0,5319	1,22	0,8888	2,60	0,9953
-1,02	0,1539	0,10	0,5398	1,24	0,8925	2,70	0,9965

5. Розрахунок розсіювання залишкової кількості пилу і відображення результату на карті-схемі

Необхідно визначити концентрацію шкідливої речовини C_M і координату викиду X_M при несприятливих метеорологічних умовах. Порівняти отримані значення з нормованими показниками і зробити необхідні висновки.

Розрахунок розсіювання виконується за методикою ОНД -86 [5].

Розрахункова схема струмини викиду виникає за несприятливих метеоумов, наприклад, під час зростання з висотою стандартного відхилення напрямку вітру – σ_φ в вертикальній площині.

У такому випадку струмина має хвилеподібний характер, швидко падає в приземний шар атмосфери, створюючи зону задимлення. В цих умовах не встигають відбутися атмосферні реакції.

Спочатку потрібно визначити викид відноситься до теплого або холодного джерела. Для цього розраховують різницю температур ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається t_r , і температурою навколишнього атмосферного повітря t_z , для теплого періоду року (приймається t_z за ДСТУ «Будівельна кліматологія» для відповідного міста для найжаркішої п'ятиденки (табл.2 [12])), °C; якщо $\Delta T \geq 20^\circ C$ – «гаряче» джерело, $\Delta T < 20^\circ C$ – «холодне» джерело.

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини (для гарячого джерела) C_M , мг/м³ на відстані від джерел X_M , м визначається за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M_C \cdot F m n \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{L \Delta T}}, \text{ мг/м}^3, \quad (16)$$

Параметри формули приймають за завданням табл. 1: висота джерела пилового викиду (рядок 1 або 2) та фонові концентрації $C_\phi = (\text{параметр завдання}) \cdot \text{ГДК}_{\text{сд}}$, де середньодобову граничнодопустиму концентрацію приймають за табл. 14.

Для «холодного» джерела максимальне значення приземної концентрації знаходиться за формулою (29).

**Перелік забруднюючих речовин, які викидаються в
атмосферне повітря**

Код речо- вини	Найменування речовини	ГДК, м.р. ОБРВ, мг/м ³	Клас небез- пеки	ГДК с.д., мг/м ³
10535	Пил каїніту	0,50	3	0,1
2907	Пил неорганічний, який містить двоокис кремнію більше 70 % (дінас)	0,15	3	0,05
2909	Пил неорганічний, який містить двоокис кремнію менше 20 % (доломіт)	0,50	3	0,15
2922	Пил поліпропілену	0,10	1	0,1
2915	Пил скловолокна	0,06	1	0,06
2908	Пил неорганічний, який містить двоокис кремнію у %: 70-20	0,30	3	0,1
2918	Пил цементного виробництва (оксид кальцію > 60 % та діоксид кремнію > 20 %)	0,20	3	0,02
3007	Перліт	0,05	1	0,05
10363	Пил цукру, цукрова пудра (сахароза)	0,10	1	0,1
10417	Пил зерновий	0,20	3	0,03
10431	Пил абразивно-металічний	0,40	2	0,15
10784	Пил бурого вугілля	0,13	2	0,05
10846	Глюкоза	0,10	1	0,03
11253	Пил вугільного концентрату	0,11	1	0,11
11263	Пил пінополіуретану	0,13	1	0,13
701	Ангідрид сірчистий SO ₂	0,5	3	0,05

Маса шкідливої речовини M_C , г/с визначається за формулою:

$$M_C = L \cdot C_{\text{вх}} (1 - \eta_{\text{п.о}}), \text{ г/с}, \quad (17)$$

де L – витрати газу, м³/с з табл. 6;

$C_{\text{вх}}$ – концентрація пилу на вході, г/м³ з табл. 6;

$\eta_{\text{п.о.}}$ – повний коефіцієнт очищення циклоном від пилу в долях одиниці з попередньої задачі.

Також можна застосувати двоступеневе очищення для зменшення маси шкідливої речовини: $C_I = C_{\text{вх}} (1 - \eta_{\text{п.о.}})$, $C_{II} = C_I (1 - \eta_{\text{п.о.}})$, тоді формула (17) прийме вигляд:

$$M_C = L \cdot C_{II} (1 - \eta_{\text{п.о.}}), \text{ г/с}, \quad (18)$$

Значення коефіцієнта A беруть за рекомендаціями [5] для джерел в Україні висотою до 200 м, розташованих у зоні північної широти (п.ш.) 50-52° – 180, південніше 50° п.ш. – 200, північніше 52° п.ш. – 160.

Північну широту можна знайти для відповідного міста за табл. 7. [12].

Безрозмірний коефіцієнт F беруть для газоподібних шкідливих речовин і дрібних дисперсних аерозолів – 1, для аерозолів, які очищаються з ефективністю більш ніж 90 % – 2; від 75 до 90% 2,5; менше ніж 75 % – 3.

ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, t_r і температурою навколишнього атмосферного повітря t_3 , °C;

η – безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості, у випадку рівної або слабогористої місцевості з перепадом висот, який не перевищує 50 м на 1 км, $\eta = 1$.

Значення коефіцієнтів m і n приймають залежно від f , v_M , v'_M , f_e :

$$v_M = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{L \cdot \Delta T}{H}}, \quad (19)$$

$$f = 1000 \frac{\varpi_0 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}; \quad (20)$$

$$v'_M = 1.3 \cdot \frac{\varpi_0 \cdot D}{H}; \quad (21)$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_M)^3, \quad (22)$$

де ϖ_0 – швидкість виходу струмини, яку рекомендовано приймати в межах 10...16 м/с;

D – діаметр труби джерела, м, який можна визначити з формули:

$$L = (\pi D^2 / 4) \cdot \varpi_0. \quad (23)$$

Коефіцієнт m визначають залежно від параметра f за формулами:

$$\text{при } f < 100, \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot f^{1/2} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}; \quad (24)$$

$$f \geq 100 \rightarrow m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}. \quad (25)$$

Для значень параметра f в межах $f_e < f < 100$ коефіцієнт m визначається за формулами (24) і (25) при $f = f_e$.

Коефіцієнт n визначають залежно від параметра v_M за формулами:

при $v_M \geq 2, \quad n = 1; \quad (26)$

при $0,5 \leq v_M < 2, \quad n = 0,532 \cdot v_M^2 - 2,13v_M + 3,13; \quad (27)$

при $v_M < 0,5, \quad n = 4,4v_M. \quad (28)$

За значенні параметра $f \geq 100$ або $\Delta T = 0$ коефіцієнт n визначають за формулами (26–28), в яких беруть $v_M = v'_M$.

За значення параметра $f \geq 100$ і $v'_M \geq 0,5$ (холодне джерело викиду) розрахунок максимального значення приземної концентрації шкідливої речовини C_M , мг/м³, визначають за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M_c \cdot F \cdot n \cdot \eta}{7,1 \cdot H^{3/4} \cdot \sqrt{\varpi_o} \cdot L}, \quad (29)$$

складовими якої є аналогічні складові формули (16), але коефіцієнт n визначають за формулами (26-28) при $v_M = v'_M$.

За значення параметра $f < 100$ і $v_M < 0,5$, або при $f \geq 100$ і $v'_M < 0,5$ (випадки надто малих небезпечних швидкостей вітру) розрахунок C_M визначають за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M_c \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{7/3}}, \quad (30)$$

де параметр m' визначається:

$$\text{при} \quad f < 100 \text{ і } v_M < 0,5 \quad m' = 2,86m; \quad (31)$$

$$\text{при} \quad f \geq 100 \text{ і } v'_M < 0,5 \quad m' = 0,9m; \quad (32)$$

причому m у формулі (31) визначають за залежністю (24).

Відстань X_M , м, від джерела викиду, на якій приземна концентрація C_M , мг/м³, за несприятливих метеорологічних умов, досягає максимального значення визначають за формулою:

$$X_M = \frac{5-F}{4} d \cdot H, \quad (33)$$

де d – безрозмірний коефіцієнт, який визначають залежно від значення параметра f за формулами:

$$\text{при } f < 100: \quad d = 2,48 \cdot \left(1 + 0,28^3 \sqrt{f_e}\right); \quad (34)$$

$$v_M \leq 0,5,$$

$$0,5 < v_M \leq 2, \quad d = 4,95 v_M \cdot \left(1 + 0,28^3 \sqrt{f_e}\right); \quad (35)$$

$$v_M > 2, \quad d = 7 \sqrt{v_M} \cdot \left(1 + 0,28^3 \sqrt{f_e}\right); \quad (36)$$

при $f > 100$, або $\Delta T \approx 0$:

$$v'_M \leq 0,5, \quad d = 5,7; \quad (37)$$

$$0,5 < v'_M \leq 2, \quad d = 114 \cdot v'_M; \quad (38)$$

$$v'_M > 2, \quad d = 18 \cdot v'_M. \quad (39)$$

Значення небезпечної швидкості U_M , м/с, на рівні флюгера (береться на висоті 10 м від рівня землі), при якій досягається найбільше значення приземної концентрації шкідливих речовин C_M , розраховується за формулами:

при $f < 100$:

$$v_M \leq 0,5, \quad U_M = 0,5; \quad (40)$$

$$0,5 < v_M \leq 2, \quad U_M = v_M; \quad (41)$$

$$v_M > 2, \quad U_M = v_M (1 + 0,12 f^{1/2}); \quad (42)$$

при $f \geq 100$, або $\Delta T \approx 0$:

$$v'_M \leq 0,5, \quad U_M = 0,5; \quad (43)$$

$$0,5 < v'_M \leq 2, \quad U_M = v'_M; \quad (44)$$

$$v'_M > 2, \quad U_M = 2,2 v'_M. \quad (45)$$

Висновок 1. Отримане значення C_M порівнюють з C_ϕ (по завданню) і ГДК_{м.р.} за схемою:

$$C_\phi + C_M \leq \text{ГДК}_{\text{м.р.}} \quad (46)$$

на відстані від джерела X_M і роблять висновок про виконання умови. У разі невиконання умови пропонують заходи по зменшенню викидів.

Висновок 2. Порівнюють відстань X_M з розмірами санітарно-захисної зони, яку вибирають залежно від класа небезпеки підприємства з вихідних даних, і пропонують заходи в разі потрапляння координати викиду за межі санітарно-захисної зони.

Результати розрахунку розсіювання відображають на карті-схемі (розділ 2).

Для цього обирають напрямок найбільшої повторюваності вітрів і на лінії розповсюдження викиду відмічають X_M і значення C_M . Якщо X_M опиняється в середині території, окресленої СЗЗ, тоді визначають C_M , мг/м³ на відстані СЗЗ, користуючись рекомендованим [6] графіком зміни концентрації за межами X_M , рис. 5 (рис.2.4, [6]) за залежністю

$$C_{\text{СЗЗ}} = C_M \cdot S_1, \quad (47)$$

де S_1 , якщо розмір $\frac{X}{\text{СЗЗ}} > 1$; $\text{СЗЗ} > X_M$.

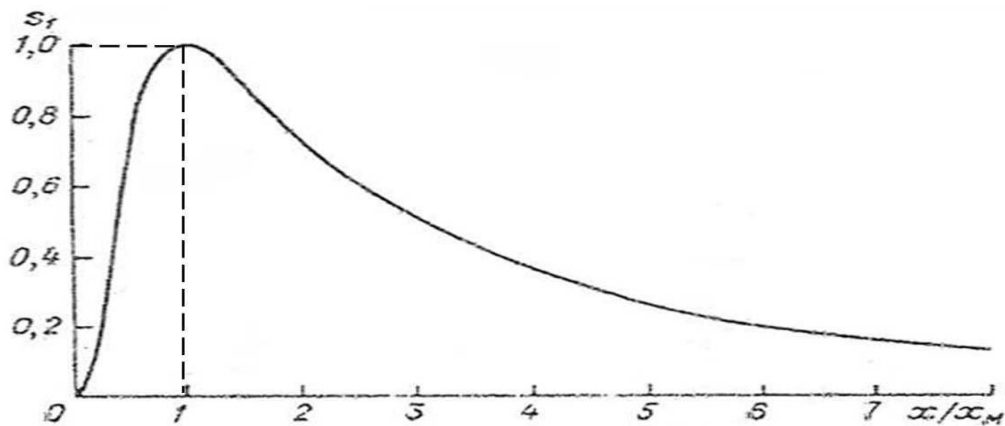


Рис. 5. Графік зміни концентрації за межами X_M

Якщо $X_M > C_{33}$, тоді в усіх випадках необхідно забезпечити неперевищення за формулою (46)

$$C_M \leq \Gamma ДК_{м.р.} - C_{\phi},$$

в тому числі може бути рекомендоване встановлення скоригованої C_{33} .

Шляхи зменшення C_M – це збільшення висоти труби або обмеження потужності M_C , г/с викиду.

За необхідності вирішення зворотних задач визначення продуктивності викиду M_C і висоти джерела H , які відповідають заданому рівню максимальної приземної концентрації C_M для інших фіксованих параметрів викиду, знаходять так.

Маса шкідливої речовини M_C г/с, яка викидається із джерела в атмосферу за одиницю часу і відповідає заданому значенню максимальної концентрації C_M мг/м³, визначається за формулою:

$$M_C = \frac{C_M H^2}{A F m n \eta} \sqrt[3]{L \Delta T}. \quad (48)$$

У випадку, коли $f \geq 100$ або $\Delta T \cong 0$:

$$M_C = \frac{C_M H^{4/3}}{A F m n \eta} \times \frac{8L}{D}. \quad (49)$$

Висота джерела H , м, яка відповідає заданому значенню C_M , для випадку $\Delta T \cong 0$ визначається за формулою:

$$H = \left(\frac{A M_C F D \eta}{8 L C_M} \right)^{3/4}, \quad (50)$$

де припустиме значення $C_M \leq \Gamma ДК_{м.р.} - C_{\phi}$.

Якщо значенню H , знайденому за формулою (50), відповідає умова

$v'_M \geq 2$, розрахована за формулою (21), то отримане значення H є остаточним.

Якщо значенню H , яке визначене за формулою (50), відповідає умова $v'_M < 2$, то H уточнюється методом послідовних наближень за формулою:

$$H_i = H \left(\frac{n_i}{n_{i-1}} \right)^{3/4}, \quad (51)$$

де n_i і n_{i-1} – значення визначеного за формулами (26-28) коефіцієнта n , отримані відповідно по значеннях H_i і H_{i-1} (при $i=1$ в формулі (51) приймається $n_0=1$, а значення H визначається за формулою (50).

Формули (50), (51) використовуються також для визначення H при $\Delta T > 0$.

Якщо при цьому виконується умова $H \leq \varpi_0 \sqrt{\frac{10 * D}{\Delta T}}$, то знайдене значення H є точним і остаточним. Якщо ж $H > \varpi_0 \sqrt{\frac{10 * D}{\Delta T}}$, то для визначення попереднього значення висоти H використовується формула:

$$H = \sqrt{\frac{AM_c F \eta}{C_M \sqrt[3]{L \Delta T}}}. \quad (52)$$

За знайденими значеннями H визначаються параметри f, v_M, v'_M, f_e за формулами (19-22) і встановлюється в першому наближенні добуток коефіцієнтів m і n . Подальше уточнення значення H виконується за формулою:

$$H_i = H \sqrt{\frac{m_i n_i}{m_{i-1} n_{i-1}}}, \quad (53)$$

де коефіцієнти m_i і n_i , відповідають H , а m_{i-1} і n_{i-1} , – H_i , причому, якщо $i=1$, то приймається $m_0 = n_0 = 1$, а H_0 визначається за формулою (53).

Для кожного джерела радіус зони впливу на навколишнє середовище розраховується як найбільша із двох відстаней від джерела X_1 і X_2 , де $X_1 = 10 \cdot X_M$, а величина X_2 визначається як відстань від джерела, починаючи з якого $C_M \leq 0,05 \Gamma ДК_{м.р.}$.

Якщо висота труби (викиду), розрахована за формулами (50) і (52), перевищує 40 м, то цей варіант неприйнятний, і розрахунок C_M виконується для висоти викиду $H=40$ м з наступним встановленням гранично допустимого викиду по зменшеному значенню M_C , на основі поліпшення основної технології або збільшення коефіцієнта очищення.

Встановлення гранично допустимих викидів

Згідно із Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [1] нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ) забруднюючих речовин встановлюють з метою дотримання нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря.

Для стаціонарних джерел розробляють ГДВ на одиницю маси за одиницю часу або на одиницю продукції чи сировини. Крім того встановлюються технологічні нормативи допустимих викидів з визначенням їх у місці виходу із устаткування.

Знайдений нами показник M_C , г/с, пов'язаний з неперевищенням концентрації забруднювальних речовин у приземному шарі атмосфери ($C_M \leq \text{ГДК}_{\text{м.р.}} - C_{\text{ф}}$), і за умови, що X_M лежить в межах санітарно-захисної зони, може вважатися технологічним нормативом допустимого викиду.

За наявності інформації про продуктивність виробництва і з урахуванням подібних забруднень із інших джерел може бути встановлений і норматив ГДВ на одиницю продукції чи сировини.

Таким чином, технологічний ГДВ (Т ГДВ) дорівнює M_C :

$$\text{Т ГДВ} = M_C. \quad (54)$$

Встановлення меж санітарно-захисної зони підприємства

Розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ) $l_o(\text{м})$, встановлюють для підприємства залежно від категорійності промислово-технологічного виробництва санітарними нормами [6].

Нормативні значення СЗЗ порівнюють із значеннями X_M , визначеними за формулою (33), з подальшим аналізом умови $C_M \leq \text{ГДК}_{\text{м.р.}} - C_{\text{ф}}$ на межі СЗЗ.

З урахуванням середньорічної рози вітрів можуть коригуватись розміри СЗЗ за формулою:

$$l = l_o \cdot \frac{P}{P_o}, \quad (55)$$

де l_0 – нормативний розмір СЗЗ, в напрямку, де концентрація шкідливих речовин від інших джерел перевищує ГДК, м;

P_o – середньорічна повторюваність напрямку вітрів румба, %;

P – повторюваність напрямку вітрів одного румба за коловою розою вітрів, %.

Для восьмирумбової рози:

$$P_o = \frac{100}{8} = 12,5\%.$$

Значення l і l_0 відкладаються від межі джерела.

Приклад 3. Визначити концентрацію шкідливої речовини C_M і координату викиду X_M за несприятливих метеорологічних умов для таких вихідних даних:

1. Місто розташування промислового об'єкта – Одеса.
2. Висота джерела викиду $H=20$ м.
3. Температура викиду пилогазоповітряної суміші $t_e=119$ °С.
4. Фонова концентрація шкідливої речовин $C_\phi=0,2$ мг/м³.
5. Код шкідливої речовини, яка викидається джерелом, 10431, ГДК_{м.р.}=0,4.
6. Клас небезпечності підприємства – III, СЗЗ – 300 м.
7. Продуктивність джерела викиду (витрата пилогазоповітряної суміші) $L=2,5$ м³/с.
8. Діаметр джерела на виході $D=0,5$ м (в роботі його потрібно знайти з формули (23), прийнявши відповідну швидкість виходу газоповітряної суміші із гирла труби).
9. Секундний викид шкідливої речовини $M_c=22,5$ г/с.
10. Швидкість виходу струмини приймається $\varpi_0=12,74$ м/с.

Розв'язання. За формулою (20) визначаємо параметр f :

$$f = 1000 \frac{12,74^2 \cdot 0,5}{20^2 \cdot 94} = 2,16.$$

За формулами (19, 21-22) визначаємо параметри v_m, v'_m і f_e :

$$v_m = 0,65 \sqrt{\frac{2,5 \cdot 94}{20}} = 1,48 ;$$

$$\nu'_m = 1,3 \frac{12,74 \cdot 0,5}{20} = 0,41;$$

$$f_e = 800 \cdot (0,41)^3 = 55,14.$$

Оскільки $f = 2,16$, що менше 100, коефіцієнт m визначаємо за формулою (24):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{2,16} + 0,34\sqrt[3]{2,16}} = \frac{1}{0,67 + 0,15 + 0,44} = 0,79.$$

Оскільки $\nu_m = 1,48$ і знаходиться в межах $0,5 \leq \nu_m < 2$, то коефіцієнт n визначаємо за формулою (27):

$$n = 0,532 \cdot 1,48^2 - 2,13 \cdot 1,48 + 3,13 = 1,165 - 3,152 + 3,13 = 1,143.$$

Оскільки $\Delta T = 94^\circ \text{C} > 20^\circ \text{C}$, джерело викиду вважається «гарячим» і максимальне значення приземної концентрації C_M , мг/м^3 при викиді пилогазоповітряної суміші із одиночного джерела з круглим гирлом визначаємо за формулою (16):

$$C_M = \frac{200 \cdot 22,5 \cdot 2,5 \cdot 0,79 \cdot 1,143 \cdot 1}{20^2 \cdot \sqrt[3]{2,5 \cdot 94}} = \frac{10158}{2470} = 4,11 \text{ мг/м}^3.$$

Оскільки розрахунок розсіювання шкідливих викидів проводиться для проектного підприємства, то фонові концентрації C'_ϕ приймається за формулою:

$$C'_\phi = C_\phi = 0,2 \text{ мг/м}^3.$$

З урахуванням викладеного перевіряємо умову (46):

$$4,11 > 0,4 - 0,2, \text{ тобто} \\ 4,11 > 0,2.$$

Висновок 1. Умова не виконується. Виходячи з цього, потрібно розробляти додаткові заходи за зниження викидів абразивно-металевого пилю в атмосферу (збільшувати висоту труби, поліпшувати основні технології, збільшувати коефіцієнт очищення шкідливих викидів).

Відстань X_M , м від джерела викиду, на якій приземна концентрація абразивно-металевого пилю C_M , мг/м^3 за несприятливих метеорологічних умов сягає максимального значення C_M , визначаємо за формулою (33) з урахуванням значення безрозмірного коефіцієнта d , який визначаємо за формулою (35) оскільки

$$f = 2,16 < 100 \text{ і } 0,5 < \nu_m = 1,48 \leq 2;$$

$$d = 4,95 \cdot 1,48(1 + 0,28\sqrt[3]{55,14}) = 15,172.$$

Тоді

$$X_M = \frac{5 - 2,5}{4} \cdot 15,172 \cdot 20 = 190 \text{ м.}$$

Висновок 2. Відповідно до завдання підприємство відноситься до III класу небезпечності і СЗЗ становить 300 м (див. табл. 2). Координата X_M знаходиться в межах СЗЗ, тому не потрібно розробляти додаткові заходи за зменшення викиду шкідливої речовини.

У разі, коли координата X_M потрапляє за межі СЗЗ, можливо корегувати розмір СЗЗ з урахуванням середньорічної рози вітрів відповідно до попереднього розділу.

6. Розрахунок основних конструктивних параметрів абсорбера насадочного типу для поглинання сірчистого ангідриду

В якості забруднюючої речовини газового викиду прийнятий ангідрид сірчистий SO_2 . Очищення викиду передбачається в абсорбері насадочного типу. Початкові дані наведені в табл. 15.

Абсорбція відбувається при атмосферному тиску, який приймається $P=101325 \text{ Па}$.

Таблиця 15

Початкові дані для розрахунку та конструювання абсорбера

Параметри	Остання цифра номера залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Об'єм газу, що поступає на очищення, $V_G, \text{м}^3/\text{с}$	8	9	10	6	5	8,5	10,5	11,0	6,5	7
Початкова мольна доля газової компоненти, $\text{SO}_2, Y_{\text{п}}, \%$	3,5	3,2	3,0	2,6	2,8	4,0	3,8	3,6	2,4	2,0
Ступінь очищення повітря від сірчистого ангідриду, $\eta, \%$	80	85	90	85	80	90	80	85	90	85
Температура газоповітряної суміші, $t_c, ^\circ\text{C}$	40	50	60	70	80	90	40	60	70	80

Метою розрахунку є встановлення основних конструктивних параметрів абсорбера: поверхні контакту, площі перерізу і висоти шару насадки, густини зрошення і витрати нейтралізуючої соди.

Кількість SO_2 в газоповітряній суміші, яка підлягає абсорбції за заданою витратою газу, початковій і кінцевій концентрації визначається

як:

$$V_{SO_2} = V_{\Gamma} \frac{(P_{SO_2}^{\Pi} - P_{SO_2}^K) \cdot M_{SO_2}}{R \cdot T}, \quad (56)$$

де V_{Γ} – об'єм газу, $m^3/\text{год}$;

$P_{SO_2}^{\Pi} = Y_{\Pi} \cdot P$, Па – парціальний тиск компонента SO_2 на вході;

$P_{SO_2}^K = Y_K \cdot P$, Па – парціальний тиск на виході;

$M_{SO_2} = 64 \cdot 10^{-3}$, кг/моль;

$M_{SO_2} = 64$ – молярна маса SO_2 , г/моль;

$R = 8,3144 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot ^\circ\text{К}}$ – універсальна газова стала;

T – абсолютна температура, $^\circ\text{К}$ ($t_c + 273$).

Тоді

$$V_{SO_2} = V_{\Gamma} \frac{(P_{SO_2}^{\Pi} - P_{SO_2}^K) \cdot M}{R \cdot T} = V_{\Gamma} \frac{3600 P_{SO_2}^{\Pi} \cdot \eta}{R_{SO_2} \cdot T}, \text{ кг/год.} \quad (57)$$

Парціальний тиск на виході:

$$P_{SO_2}^K = Y_{\Pi} (1 - \eta) \cdot P, \text{ Па,} \quad (58)$$

де Y_{Π} і η беруться в долях одиниці.

Ця кількість поглинається в абсорбери за рівнянням:

$$V_{SO_2} = K_y \cdot F \cdot \Delta C, \text{ кг/год.} \quad (59)$$

Поверхня контакту:

$$F = \frac{V_{\text{SO}_2}}{K_Y \Delta C}, \text{ м}^2. \quad (60)$$

Коефіцієнт масопередачі:

$$K_Y = \frac{0,0017 \cdot M_{\text{SO}_2} \cdot \omega_K^{0,75} (0,0011 \cdot T - 0,18)^{0,25}}{(13,7 + \sqrt{M_{\text{SO}_2}}) \cdot d_{\text{екв}}^{0,25} \cdot 133,3}, \text{ кг/(\text{год} \cdot \text{м}^2 \text{Па})}, \quad (61)$$

В останньому рівнянні :

$$M_{\text{SO}_2} = 64 \text{ г/моль};$$

ω_K - швидкість газу в каналах між елементами насадки, см/с,

визначається

$$\omega_K = \frac{0,6\omega_o}{E}, \text{ см/с}, \quad (62)$$

де ω_o -- рекомендована в перерізі швидкість 300 см/с знижується до 60 % задля уникнення режиму захлинання абсорбера і уточнюється за типом насадки (E – вільний об'єм м³/м³, який знаходять за табл. 16 для керамічних кілець Рашига розмірами від 10х10х1,5 до 50х50х5);

$d_{\text{екв}}$, см – еквівалентний діаметр насадки-заповнювача апарата для прийнятого типу;

ΔC - рушійна сила процесу, Па.

Для спрощення виконання роботи парціальний тиск компонента SO₂ в шарі насичення беремо таким, що дорівнює «0», пояснюючи це тим, що SO₂ в розчині безперервно нейтралізується.

Тоді

$$\Delta C = \frac{P_{\text{SO}_2}^{\text{П}} - P_{\text{SO}_2}^{\text{К}}}{\ln \frac{P_{\text{SO}_2}^{\text{П}}}{P_{\text{SO}_2}^{\text{К}}}}, \quad (63)$$

Таблиця 16

Характеристика насадок (розміри в міліметрах)

Насадка	Питома поверхня, $a, \text{м}^2/\text{м}^3$	Вільний об'єм, $E, \text{м}^3/\text{м}^3$	Еквівалентний діаметр, $d_{\text{екв}},$ м	Насипка, густина, $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	Кількість в м^3 , п, шт.
Регулярні насадки					
Дерев'яні хордові (10х100), крок провіту:					
10	100	0,55	0,022	210	-
20	65	0,68	0,042	145	-
30	78	0,77	0,064	110	-
Керамічні кільця Рашіга:					
50х50х5	100	0,735	0,027	650	8500
80х80х8	80	0,72	0,036	670	2200
100х100х10	60	0,72	0,048	670	1050
Невпорядковані насадки					
Керамічні кільця Рашіга:					
10х10х1,5	440	0,7	0,006	700	700000
15х15х2	330	0,7	0,009	690	220000
25х25х3	200	0,74	0,015	530	50000
35х35х4	140	0,78	0,022	530	18000
50х50х5	90	0,785	0,035	530	6000
Стальні кільця Рашіга:					
10х10х0,5	500	0,88	0,007	960	770000
15х15х0,5	350	0,92	0,012	660	240000
25х25х0,8	220	0,92	0,017	640	55000
50х50х1	110	0,95	0,035	430	7000

Діаметр абсорбера D_a , м, виражається через необхідну площу поперечного перерізу апарата:

$$S_a = \frac{\pi \cdot D_a^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (64)$$

яка визначається за формулою:

$$S_a = \frac{V_{\Gamma}}{\omega_{\Gamma}} \text{ м}^2, \quad (65)$$

де ω_{Γ} – швидкість газоповітряної суміші у вільному перерізі абсорбера без насадки, м/с і визначається як $\omega_{\Gamma} = 0,6 \omega_0$, тоді діаметр абсорбера становить:

$$D_a = \sqrt{\frac{4S_a}{\pi}}, \text{ м} \quad (66)$$

Об'єм насадки визначається за необхідною площею контакту:

$$V_{\text{нас}} = \frac{F}{a}, \text{ м}^3, \quad (67)$$

де a – питома поверхня насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$, приймається за табл. 16.

Висота шару насадки H_a , м, визначається:

$$H_a = \frac{V_{\text{нас}}}{S_a}, \quad (68)$$

і повинна задовільняти вимогу, що

$$\frac{H_a}{D_a} \leq 3.$$

Якщо умова не виконується, необхідно висоту шару насадки розбивати на декілька шарів з обов'язковим встановленням проміжку між шарами 0,5 м.

Висота колони абсорбера визначається за формулою:

$$H = H_a + (1 \dots 1,5) D_a + 2, \text{ м}, \quad (69)$$

де $(1 \dots 1,5) D_a$ – відстань від низу абсорбера до колошникової решітки, на яку навантажується насадка, м;

2 – відстань від верхньої поверхні насадки до кришки абсорбера, м.

Для нейтралізації вловленої газової компоненти SO_2 рідинним сорбентом – водою застосовується бікарбонат натрію (сода) Na_2CO_3 у вигляді водного розчину. Необхідна витрата соди для цього процесу визначається за формулою:

$$V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = V_{\text{SO}_2} \frac{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{SO}_2}}, \text{ кг/год}, \quad (70)$$

де $M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ – молекулярна маса бікарбонату натрію, приймається 106 г/моль.

Концентрація содового розчину в долях одиниці визначається за формулою

$$X_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{V'_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{L_{\text{зр}} \rho_{\text{роз}} S_a}, \quad (71)$$

де $V'_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ – витрата соди з 10% запасом $(1,1 V_{\text{Na}_2\text{CO}_3})$, кг/год;

$L_{\text{зр}}$ – густина зрошення приймається за формулою:

$$L_{\text{зр}} = 0,158 a, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год}), \quad (72)$$

де a – питома поверхня насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$, приймається для обраної насадки з табл. 16;

$\rho_{\text{роз}}$ – густина розчину, в розрахунках приймається 1000 кг/м^3 .

Приклад 4. Розрахувати абсорбер колонного типу і визначити концентрацію розчину бікарбонату натрію для вловлювання сірчистого ангідриду із газоповітряної суміші для таких початкових даних: об'єм газоповітряної суміші, що очищується $V_{\Gamma} = 7 \text{ м}^3/\text{с}$; мольна доля сірчистого ангідриду SO_2 в газоповітряній суміші $Y_{\Pi} = 0,0254$; ступінь очищення $\eta = 0,98$; температура газоповітряної суміші $t_{\Gamma} = 40^\circ\text{C}$; процес сорбції проходить за атмосферного тиску $P = 101325 \text{ Па}$; в якості насадки взяти кільця Рашіга з розмірами у мм $50 \times 50 \times 5$ із невпорядкованим їх розташуванням.

Розв'язування. Парціальний тиск домішки газової компоненти SO_2 на

вході в абсорбер визначаємо за формулою:

$$P_{SO_2}^{\Pi} = 0,0254 \cdot 101325 = 2573 \text{ Па}$$

Парціальний тиск домішки газової компоненти SO_2 в газоповітряній суміші після очищення:

$$P_{SO_2}^K = 0,0254(1 - 0,98) \cdot 101325 = 51,46 \text{ Па}$$

Кількість сірчистого ангідриду в газоповітряній суміші, що має бути абсорбованим:

$$R_{SO_2} = \frac{848 \cdot 9,18}{64} = 129,98 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}^0},$$

$$V_{SO_2} = 7 \frac{2573 \cdot 0,98 \cdot 3600}{129,98 \cdot (273 + 40)} = 1562 \text{ кг / год}$$

Дійсна швидкість руху газоповітряної суміші в каналах насадки із кілець Рашіга з вільним об'ємом (табл. 16) $E = 0,785 \text{ м}^3/\text{м}^3$:

$$\omega_k = \frac{0,6 \cdot 300}{0,785} = 229 \text{ см/с}$$

Еквівалентний діаметр прийнятої насадки $d_{\text{екв}} = 3,5 \text{ см}$. Поверхневий коефіцієнт масопередачі K_y , дорівнює:

$$K_y = \frac{0,0017 \cdot 64 \cdot 229^{0,75} (0,0011 \cdot 313 - 0,18)^{0,25}}{(13,7 + \sqrt{64}) \cdot 3,5^{0,25} \cdot 133,3} = \frac{0,0017 \cdot 64 \cdot 58,87 \cdot 0,637}{21,7 \cdot 1,368 \cdot 133,3} = \frac{4,08}{3957,1}$$

$$= 0,00103 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{Па} \cdot \text{год})$$

Рушійна сила процесу абсорбції:

$$\Delta C = \frac{2573 - 51,46}{\ln \frac{2573}{51,46}} = \frac{2521,54}{3,912} = 644,6 \text{ Па}$$

Поверхня контакту газоповітряної суміші:

$$F = \frac{1562}{0,00103 \cdot 644,6} = 2353 \text{ м}^2$$

Необхідна площа поперечного перерізу абсорбера:

$$S_a = \frac{7}{0,785 \cdot 0,6 \cdot 3} = 4,953 \text{ м}^2.$$

Діаметр абсорбера:

$$D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,953}{3,14}} = 2,51 \text{ м}.$$

Взявши за табл. 16 питому поверхню насадки кілець Рашіга $a = 90 \text{ м}^2/\text{м}^3$, об'єм насадки визначаємо за формулою (67):

$$V_{\text{нас}} = \frac{2353}{90} = 26,14 \text{ м}^3.$$

Висота шару насадки H_a за формулою (68) дорівнює:

$$H_a = \frac{26,14}{4,953} = 5,28 = 5,3 \text{ м}.$$

Умова $\frac{H_a}{D_a} = \frac{5,3}{2,51} = 2,1 < 3$ виконується.

Висота абсорбера визначається за формулою (69):

$$H = 5,3 + 1,5 \cdot 2,51 + 2 = 11,1 \text{ м}.$$

Розрахункова витрата бікарбонату натрію:

$$V_{Na_2CO_3} = 1562 \frac{106}{64} = 2587 \text{ кг/год.}$$

З урахуванням 10% запасу, витрата соди:

$$V'_{Na_2CO_3} = 1,1 \cdot 2587 = 2846 \text{ кг/год.}$$

Густина зрошення з урахуванням питомої поверхні насадки:

$$L_{\text{сер}} = 0,158 \cdot 90 = 14,22 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{год}).$$

Концентрація содового розчину $X_{Na_2CO_3}$ в долях одиниці:

$$X_{Na_2CO_3} = \frac{2846}{14,22 \cdot 1000 \cdot 4,953} = 0,04.$$

Для нейтралізації вловленої компоненти SO_2 використовується чотирьох процентний розчин соди.

7. Розрахунок розсіювання залишкової кількості SO₂

Виконується за розділом 5 і приймаються до уваги особливості:

код речовини – сірки діоксид – 701;

ГДК_{М.Р.} = 0,5 мг/м³;

ГДК_{С.Д.} = 0,05 мг/м³;

клас небезпеки – 3 [7];

висота газового джерела (табл. 17).

Таблиця 17

Висота газового джерела

Шифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Висота, м	40	45	35	50	35	45	40	50	35	45

Швидкість на виході з джерела 15...20 м/с.

Розрахунок розсіювання виконують за рекомендаціями розділу 5 з такими особливостями.

В цьому випадку позначення у формулах розрахунку концентрації шкідливих речовин об'єм газу V_{Γ} відповідає витратам пилю L , температура газоповітряної суміші t_c відповідає t_{Γ} .

Розрахункова продуктивність джерела відповідає продуктивності, заданій для абсорбера.

Потужність джерела – M_C , г/с визначають за продуктивністю – V_{Γ} , м³/с, залишкової масової концентрації SO₂ після очищення C_K , г/м³:

$$M_C = V_{\Gamma} \cdot C_K, \text{ г/с}, \quad (73)$$

де залишкова концентрація знаходиться за формулою:

$$C_K = \frac{P^{SO_2} M_{SO_2}}{RT} = \frac{P^{SO_2} \cdot 64}{8,32(t_{\Gamma} + 273)}, \quad \text{г/м}^3 \quad (74)$$

Отримані значення C_M і X_M порівнюють за схемою:

$$C_{\phi} + C_M \leq \text{ГДК}_{\text{М.Р.}},$$

і X_M по відношенню до СЗЗ. Порядок висновків для прийняття рішення подібний до міркувань щодо пилового викиду.

Отримані C_M і X_M наносять на лінію найтривалішого розповсюдження по румбу найбільшої повторюваності вітрів.

8. Аналіз результатів розсіювання очищених викидів і визначення рівня забруднення атмосфери межі санітарно-захисної зони

Комплекс заходів з боротьби з забрудненням: очищення і розсіювання – дають змогу оцінити рівень забруднення від двох джерел на межі або за межею СЗЗ об'єкта.

Методика ОНД–86 дає можливість визначати очікувану концентрацію забруднюючої речовини до відстані X_M і після неї шляхом використання коефіцієнта S_1 , а також в напрямках перпендикулярно вісі розповсюдження струмини забруднення з використанням коефіцієнта S_2 .

S_1 – визначають за графіком, рис. 5.

S_2 – визначають за графіком, рис. 6.

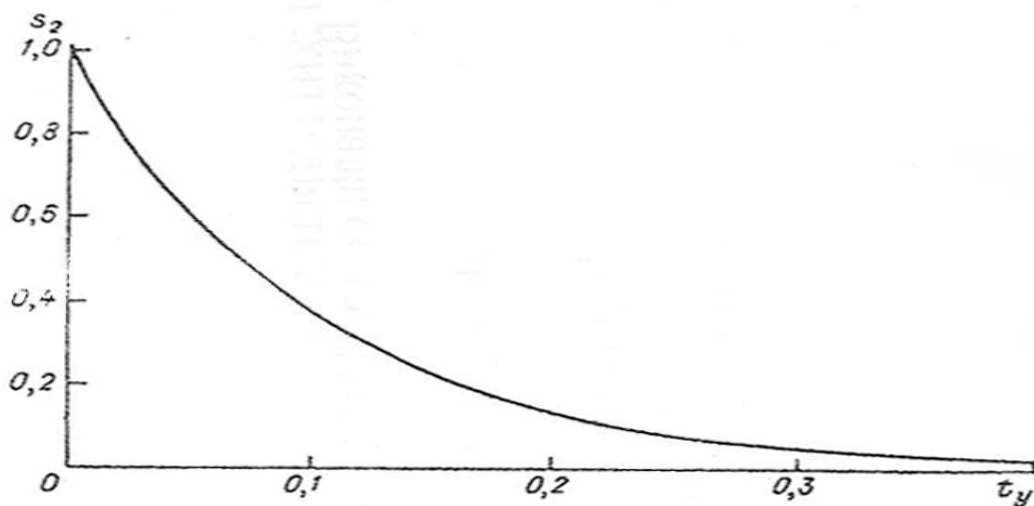


Рис. 6

Допоміжний параметр t_y залежно від швидкості вітру U (м/с) і відношення y/x визначають:

$$t_y = U y^2 / x^2, \text{ при } U \leq 5, \quad (75)$$

та

$$t_y = 5 y^2 / x^2, \text{ при } U > 5, \quad (76)$$

Очікувана концентрація на відстані x :

$$C_x = S_1 \cdot C_M, \quad (77)$$

а в поперечному від x напрямку y :

$$C_y = S_2 \cdot C_M. \quad (78)$$

За картою-схемою і напрямками розповсюдження пилового і газового факелів уточнюють точки перетину СЗЗ. За межами СЗЗ між факелами призначають контрольну точку *.

Від контрольної точки * проводять лінію перпендикулярно факелам. На кожному перетині з пиловим і газовим факелом роблять позначки. Для визначених точок знаходять S_1 і S_2 .

Від контрольної точки * проводять лінію перпендикулярно факелам. На кожному перетині з пиловим і газовим факелом роблять позначки. Для визначених точок знаходять S_1 і S_2 .

Таким чином з'ясовується в точці * концентрація пилу і газу. Знайдені концентрації дають змогу визначати сумарний показник забруднення $\Sigma \text{ПЗ}$:

$$\Sigma \text{ПЗ} = \left(\frac{C_{\text{Мпил}}}{\text{ГДКм.р.пил} \cdot K_{\text{П}}} + \frac{C_{\text{Мгаз}}}{\text{ГДКм.р.газ} \cdot K_{\text{Г}}} \right) \cdot 100\%, \quad (79)$$

де $K_{\text{П}}$ залежить від класу небезпеки пилу і змінюється (0,8 для I кл, 0,9 для II кл, 1,0 для III кл і 1,1 для IV кл), відповідно $K_{\text{Г}} = 1$ (для III класу небезпеки до якого відноситься сірчистий ангідрид).

$\Sigma \text{ПЗ}$ порівнюють з ГДЗ – граничнодопустимим забрудненням.

$$\text{ГДЗ} = K_{\text{к.д.}} \cdot 100\%, \quad (80)$$

де $K_{\text{к.д.}}$ – коефіцієнт комбінованої дії шкідливих речовин

Для випадку коли не встановлена комбінована дія:

$$K_{\text{к.д.}} = \sqrt{n}, \quad (81)$$

де n – кількість джерел.

Тоді $\text{ГДЗ} = 141\%$. За кратністю перевищення $\Sigma \text{ПЗ}/\text{ГДЗ}$ роблять висновок про рівень забруднення атмосфери (табл.18).

Таблиця 18

Рівень забруднення атмосфери

№	Рівень забруднення	Ступінь небезпеки	Кратність перевищення
1	Допустимий	Безпечний	< 1
2	Недопустимий	Слабонебезпечний	> 1...2
3	Недопустимий	Помірно-небезпечний	> 2...4,4
4	Недопустимий	Небезпечний	> 4,4...8
5	Недопустимий	Дуже небезпечний	> 8

Також можна оцінити рівень забруднення по показнику індексу якості забруднення повітря для відповідних шкідливих речовин (табл.19).[8]

Таблиця 19

Показники індексу якості повітря в Україні на основі рівнів забруднюючих речовин

Забруднююча речовина	Показник індексу якості повітря в Україні (на основі рівнів забруднюючих речовин у мкг/куб. метрів)					
	Добрий	Допустимий	Задовільний	Незадовільний	Поганий	Дуже поганий
тверді частки (ТЧ _{2,5})	0 – 10	11 – 20	21 – 25	26 – 50	51 – 75	76 – 800
тверді частки (ТЧ ₁₀)	0 – 20	21 – 40	41 – 50	51 – 100	101 – 150	151 – 1200
озон	0 – 50	51 – 100	101 – 130	131 – 240	241 – 380	381 – 800
діоксид азоту	0 – 40	41 – 90	91 – 120	121 – 230	231 – 340	341 – 1000
діоксид сірки	0 – 100	101 – 200	201 – 350	351 – 500	501 – 750	751 – 1250

Залежно від отриманих значень роблять відповідні висновки щодо запропонуванню заходів для захисту атмосфери від забруднень.

Список літератури

1. Законі України «Про охорону атмосферного повітря» / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992. - №50.- ст. 678.
2. Кузнєцов І.Є., Шмат К.І., Кузнєцов С.І. Обладнання для санітарної очистки газів: довідник. – Київ : Техника, 1989. – 304 с.
3. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Засоби очищення газових викидів. – Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2009. – 204 с.
4. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Чинний від 2014–01-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 54 с.
5. Порядок визначення величин фонових концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів № 793 від 21.04.2025.
6. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів: ДСП-173-96. –[Чинний від 1996–06-19]. - Київ: Укрархбудінформ, 2002. – 59 с. (Національні стандарти України).
7. Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Наказ МОЗ України №813 від 10.05.2024.
8. Порядок інформування населення про якість повітря за основними показниками з використанням індексу якості повітря в Україні. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів № 590 від 24.03.2025.
9. Зацеркляний М. М. Процеси захисту навколишнього середовища: підручник / М. М. Зацеркляний, О. М. Зацеркляний, Т. Б. Столевич. – Одеса: Фенікс, 2017. - 454 с.
- 10 Трофімович В.В. Основи екології: навч. посіб. / В.В. Трофімович. – Київ: ІЗМН, 1996. – 212 с.
11. Петрук В.Г. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 1. Захист атмосфери: підручник / В.Г. Петрук, І.В. Васильківський, Р.В. Петрук та ін. – Херсон : Олді-плюс, 2019. – 432 с.
12. Будівельна кліматологія. ДСТУ-Н Б В.1.1.-27:2010. - [Чинний від 2011–01-11] – Київ.: Мінрегіонбуд Україна, 2011. – 127с.
13. Мартиненко С.А. Сучасні технології захисту атмосфери : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів екологічного профілю / С. А. Мартиненко. - Кропивницький : ЦНТУ, 2019. - 155 с.

Навчально-методичне видання

ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ

Методичні вказівки
для виконання індивідуальної роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за освітньо-професійними програмами
Е2 «Екологія та охорона навколишнього середовища»
та G2 «Технології захисту навколишнього середовища»

Укладачі: **Клімова** Ірина Володимирівна,
Жукова Олена Григорівна,
Глущенко Роман Олександрович

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 2,56. Обл.-вид. арк. 2,75
Електронний документ. Вид № 89/V-26.

Виконавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Прспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002