

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

# **ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БІОСФЕРИ**

## **Модуль 2, 3. Інженерний захист атмосфери**

Методичні вказівки  
для виконання індивідуального завдання  
для студентів, які навчаються за напрямом підготовки  
6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування”

Київ 2015

УДК 504  
ББК 28.081  
I-62

Укладачі: В.В. Трофімович, канд. техн. наук, професор;  
Н.Є. Журавська, ст. викладач

Рецензент А.А. Василенко, канд. техн. наук, професор

Відповідальний за випуск О.С. Волошкіна, д-р техн. наук,  
професор

*Затверджено на засіданні вченої ради санітарно-технічного  
факультету, протокол № 3 від 14 травня 2014 року.*

**Інженерні** методи захисту біосфери: методичні вказівки /  
I-62 уклад.: В.В Трофімович, Н.Є. Журавська. – К.: КНУБА, 2015. – 36 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 студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”.

## 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 .....	11
5. Розрахунок розсіювання залишкової кількості пилу і відображення результату на карті-схемі.....	16
6. Розрахунок основних конструктивних параметрів абсорбера насадочного типу для поглинання сірчистого ангідриду.....	24
7. Розрахунок розсіювання залишкової кількості SO <sub>2</sub> .....	29
8. Аналіз результатів розсіювання очищених викидів і визначення рівня забруднення атмосфери на межі санітарно-захисної зони....	30
Список літератури.....	33

## Загальні положення

Діяльність спеціаліста-еколога складається з оволодіння інформацією, її узагальнення та здатністю прийняття рішень по інженерній складовій захисту навколишнього середовища. Мета методичних вказівок – розроблення комплексу задач із захисту біосфери.

### 1. Вступні відомості та зміст індивідуального завдання

Індивідуальне завдання за модулями 2 (Властивості атмосфери і антропогенний вплив на неї) та 3 (Інженерний захист атмосфери) відповідає концептуальному підходу до визначеної теми. 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. Інженерні заходи щодо зменшення продуктивності джерел забруднення, розсіювання залишкових кількостей забруднюючих речовин. Оцінювання результатів інженерних заходів із захисту атмосфери.

Виконання завдання передбачає послідовну розробку пов'язаних кроків:

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

2. Визначення характеристик дисперсного складу пилу за заданими результатами ситового аналізу.

3. Розрахунок конструктивних параметрів заданого типу циклону, їх групи і визначення повної ефективності очистки.

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

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

6. Розрахунок розсіювання залишкової кількості  $SO_2$ .

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

## **2. Фрагмент карт-схем джерел забруднення (пиловий і газовий) виконується у форматі А3**

Бічна сторона фрагмента відповідає напрямку П-Пд.

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

Координати (x,y) 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 клас небезпечності за табл. 1.

Розмір санітарно-захисної зони (СЗЗ) відповідно до класу небезпечності підприємства [15] приймають за табл. 2.

В лівому верхньому кутку карти відтворюється роза вітрів заданого місця [32] 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 не більше 0,5 від розміру СЗЗ .

Шифр: дві останні цифри номеру залікової книжки. Вибір параметрів за першою цифрою шифру.

Таблиця 1

## Початкові дані для виконання РГВ

Показник	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Місце розташування промислового об'єкта	Вінниця	Дніпропетровськ	Житомир	Івано-Франківськ	Кіровоград	Київ	Луцьк	Маріуполь	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		
	2	15	15	16	16	15	16	16	13	16		
	3	16	16	10	10	16	17	17	17	10		
	4	17	17	15	17	13	18	18	18	18		
Координати джерел викиду (х,у), м	пил	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	1 50, 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
Температура викиду пилогазової суміші, t <sub>r</sub> , °C	40	60	80	100	120	120	100	80	60	40		
Фонові концентрації, С <sub>ф</sub> , мг/м <sup>3</sup> *	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		

$$* C_{\phi} = (\text{параметр завдання}) \cdot \text{ГДКСД}, \text{ мг/м}^3$$

## Розмір санітарно-захисної зони

Таблиця 2

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

### 3. Визначення характеристик дисперсного складу пилу за заданими результатами ситового аналізу

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

Таблиця 3

#### Початкові дані для визначення медіанного діаметра $d_m$ і середнього квадратичного відхилення $Ig \sigma_d$

Остання цифра шифру	Фракційний склад, %									Код речовини
	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

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

#### Приклад

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, $d_d$ , 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).

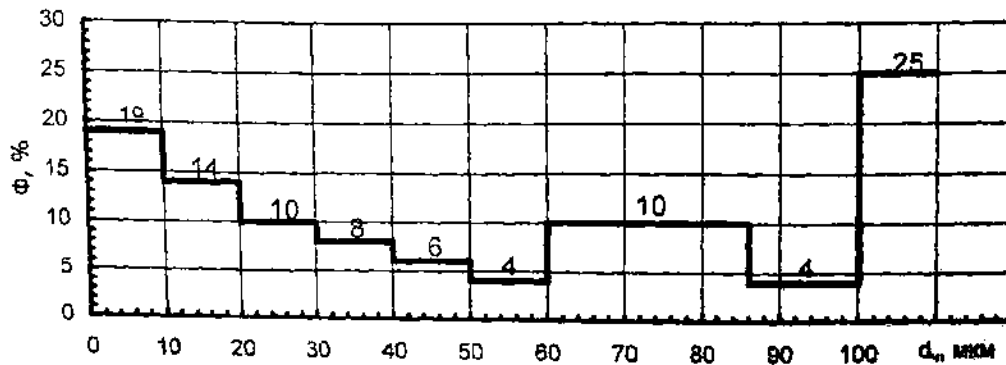


Рис. 1. Ступінчастий графік  $\Phi(d)$  розподілу пилу по фракціях

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  $\Delta d_i$  – різниця розміру частинок даної фракції, тобто:

$$N_1 = \frac{19}{10-0} = 1,9; N_2 = \frac{14}{20-10} = 1,4; \text{ і т. д.} \quad (2)$$

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

$$d_i = \frac{d_{in} + d_{ik}}{2}, \quad (3)$$

тобто:

$$d_1 = \frac{0+10}{2} = 5 \text{ мкм}; d_2 = \frac{10+20}{2} = 15 \text{ мкм}; d_3 = \frac{20+30}{2} = 25 \text{ мкм}; \dots \quad (4)$$



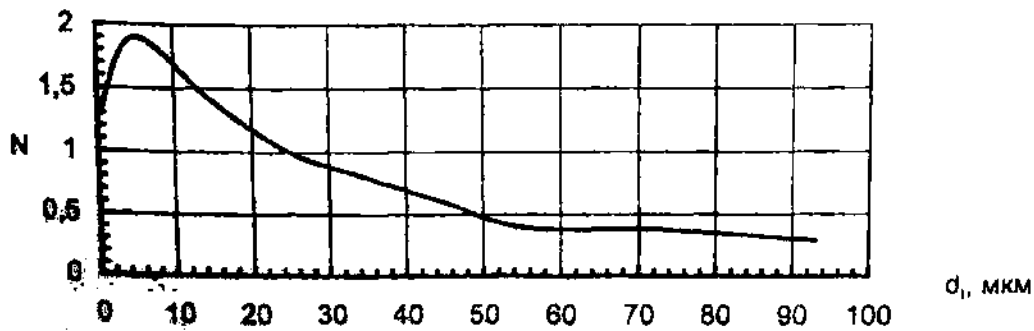


Рис. 2. Диференціальна крива розподілу частинок пилу за розмірами фракцій

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

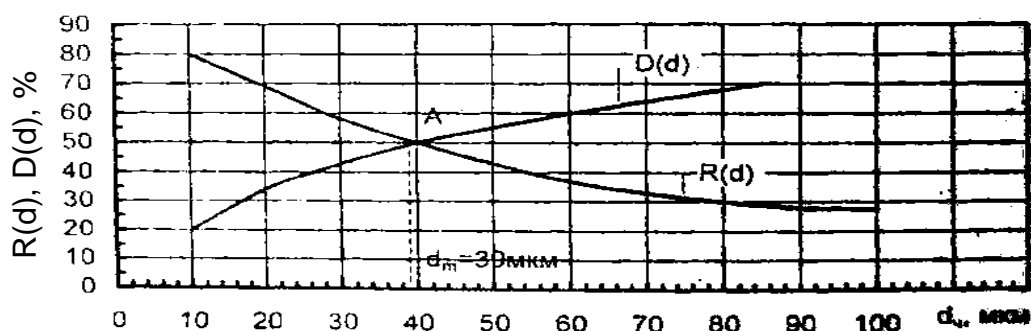


Рис. 3. Інтегральні криві дисперсного складу пилу по повних проходах  $D(d)$  і часткових залишках  $R(d)$

Та ж залежність випрямляється в імовірностно-логічній системі координат (функція розподілу,  $\log d_q$ ), де  $\frac{\sum D}{100} = \Phi(x)$ .

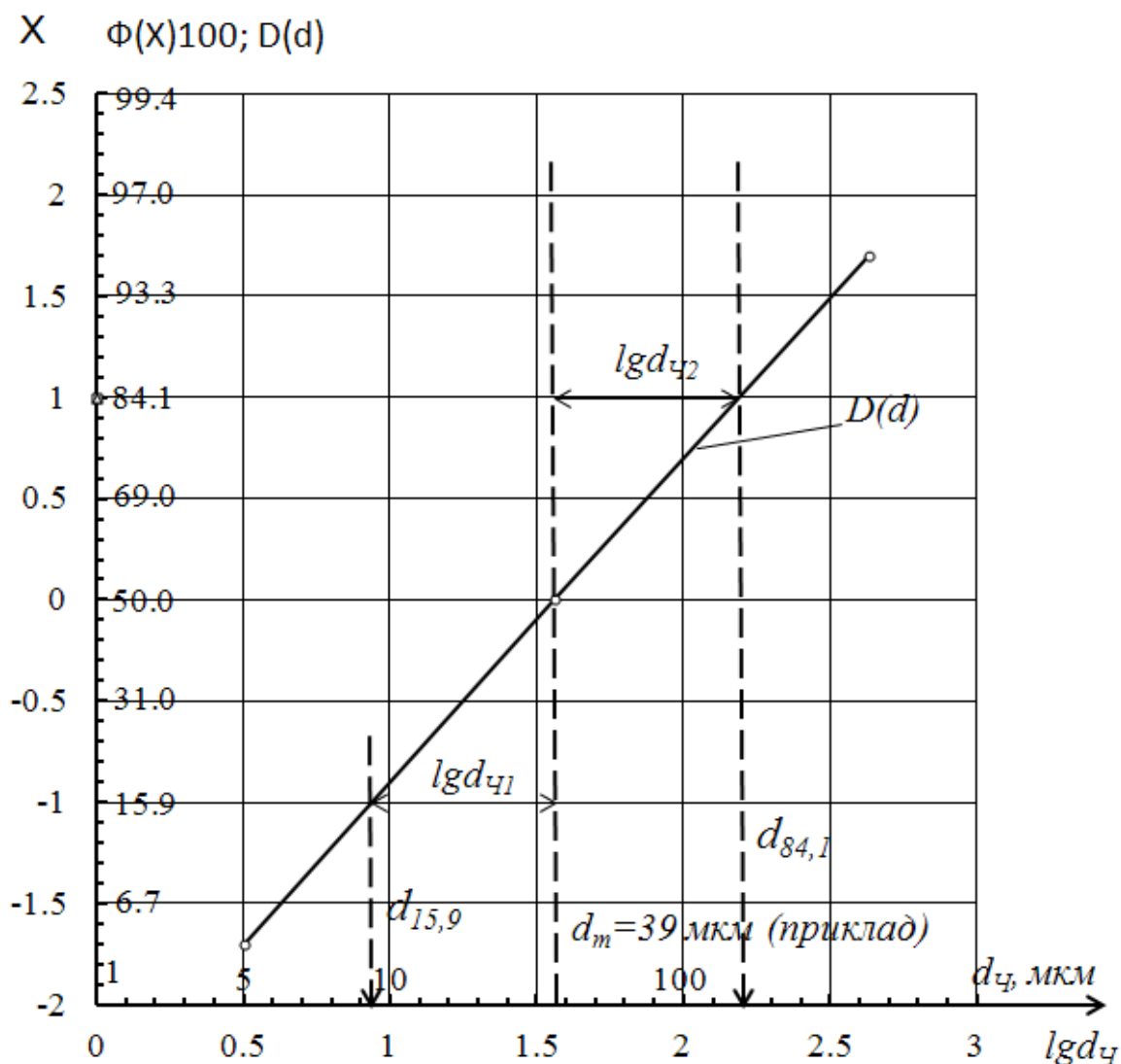


Рис. 4. Дисперсний склад пилу по повних проходах  $D(d)$  в ІЛСК

Графік ІЛСК рис. 4 на міліметровому папері (у вигляді прямої лінії) дає можливість визначати медіанний діаметр розподілення  $d_m$  і логарифм стандартного відхилення в функції розподілення  $\lg \sigma_q$ :

$$\lg \sigma_q = \frac{\lg \sigma_{q1} + \lg \sigma_{q2}}{2}.$$

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

Початкові дані для розрахунку приймають за табл. 6: витрата газу  $L$  м<sup>3</sup>/с, температура °С,  $t_r$ , тип циклону, діаметр  $D_{ц}$ , мм, концентрація пилу  $\rho_{ч}$ , кг/м<sup>3</sup>.

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 $L, \text{м}^3/\text{с}$	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
Температура газу, °С, $t_r$	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, $C_{вх}, \text{г}/\text{м}^3$	100	100	150	150	200	200	250	250	50	50
Густина частинок пилу, $\rho_{ч}, \text{кг}/\text{м}^3$	1800	1800	2200	2200	2600	2600	3000	3000	3400	3400

Параметри, які визначають ефективність циклонів НДІОГАЗ типу ЦН, за результатами типових випробувань наведені в табл. 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
$\lg \sigma_n^T$	0,308	0,283	0,352	0,352
$\omega_{опт}$ , м/с	4,5	3,5	3,5	3,5

*Примітка.* Значення  $d_{50}^T$  у таблиці відповідає наступним умовам роботи циклонів: швидкість газу в циклоні  $\omega_{опт}$ ; діаметр циклону  $D_T = 0,6$  м; густина частинок  $\rho_{ч.г} = 1930$  кг/м<sup>3</sup>; динамічна в'язкість газу  $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$  Па·с.

**Порядок розрахунку наступний.** За оптимальної швидкості  $\omega_{опт}$  і заданій продуктивності – витраті газу (запиленого повітря)  $L$  м<sup>3</sup>/с визначають площу перерізу циклонної установки :

$$F = \frac{L}{\omega_{опт}}, \text{ м}^2. \quad (5)$$

Маючи заданий діаметрі окремого циклону  $D_{ц}$ , знаходять кількість циклонів в групі,  $n$ :

$$n = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D_{ц}^2}, \text{ в формулі } D_{ц} \text{ в м.} \quad (6)$$

Кількість циклонів ( $n$ ) бажано прийняти парною. Рекомендації компонування в табл. 8.

Для прийнятої групи циклонів визначають реальну швидкість  $\omega$ , м/с:

$$\omega = \frac{V_1}{n \cdot \frac{\pi D^2}{4}}, \text{ м/с.} \quad (7)$$

Реальна швидкість повинна відрізнятись від оптимальної в межах  $\pm 15\%$ :

$$\Delta = \frac{\omega - \omega_{опт}}{\omega_{опт}} \cdot 100 \leq \pm 15\%. \quad (8)$$

Таблиця 8

## Рекомендації з компонування циклонів ЦН в групи

Діаметр циклона, мм	Кількість циклонів в групі, шт.						
	група прямокутного компонування				групи колового компонування		
	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).

Аеродинамічний опір циклонної установки:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_{II} \cdot \omega^2}{2}, \text{Па} \quad (9)$$

де 
$$\rho_{II} \approx \frac{353}{273 + t_{II}}, \text{кг/м}^3 \quad (10)$$

$$\xi = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \xi_{Ц500}^{C.II} + \kappa_3, \quad (11)$$

значення коефіцієнтів  $\xi_{Ц500}^{C.II}, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$  див. табл. 9, 10, 11, 12.

Таблиця 9

Значення коефіцієнтів опору циклонів ( $D = 500$  мм,  $\omega_T = 3$  м/с)

Марка циклону	d/D	Без додаткових пристроїв		З вихідним равником $\xi_{Ц500}^c$	З відводом $\alpha = 90^\circ$	
		$\xi_{Ц500}^c$	$\xi_{Ц500}^n$		e/d=1...12 $\xi_{Ц500}^c$	e/d>12 $\xi_{Ц500}^c$
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 циклону, Д, мм	Марка циклону	
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-25У, ЦН-24
150	0,94	0,85
200	0,95	0,90
300	0,96	0,93
450	0,99	1,0
500	1,0	1,0

Таблиця 11

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

Марка циклону	Запиленість $10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>						
	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

Визначення повної ефективності пилоочищення починають з уточнення діаметру відсікання  $d_{50}$  за реальними умовами роботи циклонів в порівнянні з умовами проведення типових випробувань (примітка до табл.5).

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D_{Ц}}{D_T} \cdot \frac{\rho_{Ч.T.}}{\rho_{Ч}} \cdot \frac{\omega}{\omega_T} \cdot \frac{\mu}{\mu_T}} \quad (12)$$

Динамічна в'язкість за заданими умовами уточнюється за формулою:

$$\mu = \mu_0 \left( \frac{273 + C}{273 + C + t_{\Gamma}} \right) \left( \frac{273 + t_{\Gamma}}{273} \right)^{3/2}, \quad (13)$$

де  $\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6}$  Па·С

$C$  – константа Сезерленда приймається для повітря  $C = 124$ .

Параметр  $X$  нормальної функції розподілення визначають:

$$X = \frac{\lg d_m - \lg d_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\eta}^T}}. \quad (14)$$

По  $X$  визначають  $\Phi(X)$ , користуючись таблицею нормальної функції розподілу, табл. 13.

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

Беручи  $\eta_{\text{ЛО}} = \Phi(X)$ , отримуємо повний коефіцієнт очищення.

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

Розрахунок розсіювання виконується за методикою ОНД – 86 [6].

Розрахункова схема струмини викиду виникає за несприятливих метеоумов, наприклад, під час зростання з висотою стандартного відхилення напрямку вітру –  $\sigma_{\varphi}$  в вертикальній площині [2, частина 2, с. 439].



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

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини  $C_m$ , мг/м<sup>3</sup> на відстані від джерел  $X_m$ , м визначається за формулою:

$$C_m = \frac{A \cdot M_C \cdot F_{mn} \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{L \Delta T}}, \text{ мг/м}^3. \quad (15)$$

Параметри формули приймають за завданням табл. 1: висота джерела пилового викиду (рядок 1 або 2) та фонова концентрація

$$C_\phi = (\text{параметр завдання}) \cdot \text{ГДК}_{\text{сд}}. \quad (16)$$

ГДК<sub>сд</sub> приймати за табл. 14.

Таблиця 14

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

Код речовини	Найменування речовини	ГДК, м.р. ОБРВ, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	ГДК с.д., мг/м <sup>3</sup>
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 <sub>2</sub>	0,5	3	0,05

Маса шкідливої речовини  $M$ , г/с визначається за формулою:

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

Значення коефіцієнта  $A$  беруть за рекомендаціями [6] для джерел в Україні висотою до 200 м, розташованих у зоні північної широти (п.ш.)  $50-52^\circ - 180$ , південніше  $50^\circ$  п.ш. – 200, північніше  $52^\circ$  п.ш. – 160.

$L$  – потужність викиду за завданням для розрахунку циклона (табл. 6).

$$L = \frac{\pi D^2}{4} \bar{\omega}_O, \text{ м/с,} \quad (18)$$

у даному розрахунку діаметр труби джерела  $D$  і  $\bar{\omega}_O$  – швидкість виходу струмини, яку рекомендовано приймати в межах 10...16 м/с.

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

Значення коефіцієнтів  $m$  і  $n$  приймають залежно від  $f$ ,  $v_M$ ,  $v_M^I$ ,  $f_e$

$$f = 1000 \frac{\bar{\omega}_O^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}; \quad (19)$$

$$v_M = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{L \cdot \Delta T}{H}}; \quad (20)$$

$$v_M^I = 1.3 \cdot \frac{\bar{\omega}_O \cdot D}{H}; \quad (21)$$

$$f_e = 800 \cdot (v_M^I)^3. \quad (22)$$

Коефіцієнт  $m$  визначають залежно від параметра  $f$  за формулами:

$$\text{при } f < 100, \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot f^{1/2} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}; \dots \quad (23)$$

$$f \geq 100 \quad m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}. \quad (24)$$

Для значень параметра  $f$  в межах  $f_e < f < 100$  коефіцієнт  $m$  визначається за формулами (23) і (24) при  $f = f_e$ .

Коефіцієнт  $n$  визначають залежно від параметра  $v_M$  за формулами:

при  $v_M \geq 2, n = 1;$  (25)

при  $0,5 \leq v_M < 2, n = 0,532 \cdot v_M^2 - 2,13v_M + 3,1;$  (26)

при  $v_M < 0,5, n = 4,4v_M.$  (27)

За значенні параметра  $f \geq 100$  або  $\Delta T = 0$  коефіцієнт  $n$  визначають за формулами (25–27), 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/м<sup>3</sup>, визначають за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M_c \cdot F \cdot n \cdot \eta}{7,1 \cdot H^{3/4} \cdot \sqrt{\varpi_o \cdot L}}, \quad (28)$$

складовими якої є аналогічні складові формули (15), але коефіцієнт  $n$  визначають за формулами (25-27) 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:

$$C_M = \frac{A \cdot M_c \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{7/3}}, \quad (29)$$

де параметр  $m'$  визначається:

при  $f < 100$  і  $v_M < 0,5$   $m' = 2,86m;$  (30)

при  $f \geq 100$  і  $v'_M < 0,5$   $m' = 0,9m;$  (31)

причому  $m$  у формулі (30) визначають за залежністю (23).

Відстань  $X_M$ , м, від джерела викиду, на якій приземна концентрація  $C$ , мг/м<sup>3</sup>, за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення  $C_M$ , визначають за формулою:

$$X_M = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (32)$$

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

при  $f < 100$ :

$$v_M \leq 0,5, \quad d = 2,48 \cdot (1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}); \quad (33)$$

$$0,5 < v_M \leq 2, \quad d = 4,95v_M \cdot (1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}); \quad (34)$$

$$v_M > 2, \quad d = 7\sqrt{v_M} \cdot (1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}); \quad (35)$$

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

$$v'_M \leq 0,5, \quad d = 5,7; \quad (36)$$

$$0,5 < v'_M \leq 2, \quad d = 114 \cdot v'_M; \quad (37)$$

$$v'_M > 2, \quad d = 18 \cdot v'_M. \quad (38)$$

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  $f < 100$ :

$$v_M \leq 0,5, \quad U_M = 0,5; \quad (39)$$

$$0,5 < v_M \leq 2, \quad U_M = v_M; \quad (40)$$

$$v_M > 2, \quad U_M = v_M (1 + 0,12\sqrt{f}); \quad (41)$$

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

$$v'_M \leq 0,5, \quad U_M = 0,5; \quad (42)$$

$$0,5 < v'_M \leq 2, \quad U_M = v'_M; \quad (43)$$

$$v'_M > 2, \quad U_M = 2,2v'_M. \quad (44)$$

Отримане значення  $C_m$  порівнюють з  $C_\phi$  (по завданню) і  $\Gamma ДК_{м.р.}$  за схемою:

$$C_\phi + C_m \leq \Gamma ДК_{м.р.} \quad (45)$$

на відстані від джерела  $X_m$ .

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

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  $C$ , мг/м<sup>3</sup> на відстані СЗЗ, користуючись рекомендованим [6] графіком зміни концентрації за межами  $X_m$ , рис. 5 (рис.2.4, [6]) за залежністю

$$C_{СЗЗ} = C_m \cdot S_1, \quad (46)$$

де  $S_1$ , при розмірі  $\frac{X}{СЗЗ} > 1$ ;  $СЗЗ > X_m$ .

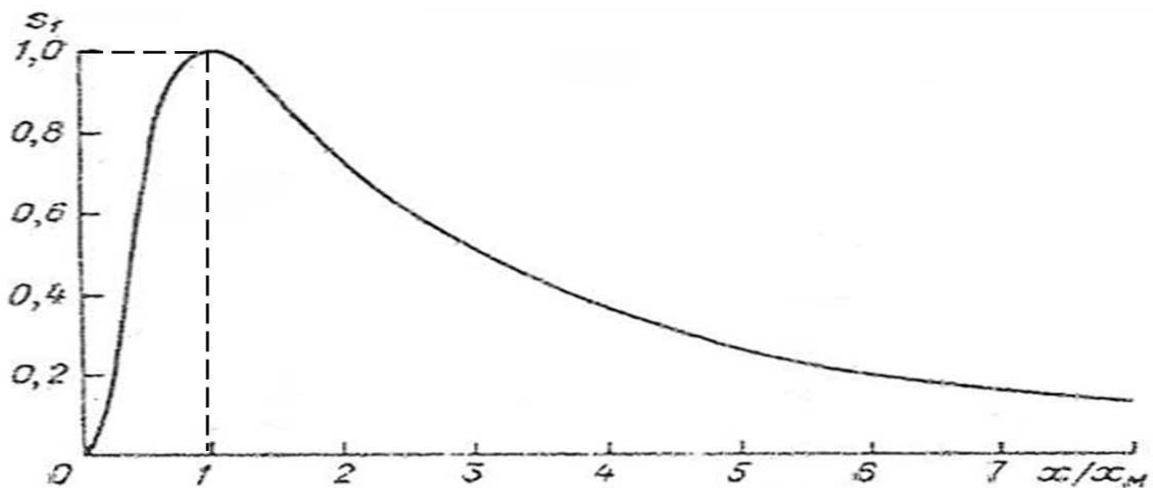


Рис. 5

Якщо  $X_m > CЗЗ$ , тоді в усіх випадках необхідно забезпечити неперевищення

$$C_m \leq \Gamma ДК - C_\Phi, \quad (47)$$

в тому числі може бути рекомендоване встановлення скоригованої СЗЗ.

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

За необхідністю розв'язання обернених задач визначення продуктивності викиду  $M_C$  і висоти джерела  $H$ , які відповідають заданому рівню максимальної приземної концентрації  $C_M$  при інших фіксованих параметрах викиду, знаходять наступним чином.

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/м<sup>3</sup>, визначається за формулою:

$$M_c = \frac{C_M H^2}{AFmn\eta} \sqrt[3]{L\Delta T}. \quad (48)$$

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

$$M_c = \frac{C_M H^{4/3}}{AFmn\eta} \times \frac{8L}{D}. \quad (49)$$

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

$$H = \left( \frac{AM_c FD \eta}{8LC_M} \right)^{3/4}, \quad (50)$$

де припустиме значення  $C_M \leq \text{ГДК} - C_\phi$ .

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 (25–27) коефіцієнта  $n$ , отримані відповідно за значеннями  $H_i$  і  $H_{i-1}$  (при  $i=1$  в формулі (51) береться  $n_0=1$ , 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 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 за формулами (19–22) параметри  $f, v_M, v'_M, f_e$  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 при  $i=1$  береться  $m_0 = n_0=1$ , а  $H_0$  визначається за формулою (53).

Для кожного джерела радіус зони впливу на навколишнє середовище розраховують як найбільшу із двох відстаней від джерела  $X_1$  і  $X_2$ , де  $X_1=10 \cdot X_M$ , а величина  $X_2$  визначають як відстань від джерела, починаючи з якого  $C \leq 0,05 \text{ГДК}$ .

Якщо висота труби (викиду), розрахована за формулами (50) і (52), перевищує 40 м, то цей варіант неприйнятний і розрахунок  $C_M$  виконується при висоті викиду  $H=40$  м з наступним встановленням граничнодопустимого викиду за зменшеним значенням  $M_C$ , на основі поліпшення основної технології або збільшення коефіцієнта очищення.

### ***Встановлення граничнодопустимих викидів***

Згідно із Законом України «Про охорону атмосферного повітря» [30] 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 забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери ( $C_M \leq \text{ГДК} - C_\phi$ ), 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)  $l_o$ (м), встановлюють для підприємства залежно від категорійності промислово-технологічного виробництва санітарними нормами [14].

Нормативні значення СЗЗ порівнюють із значеннями  $X_M$ , визначеними за формулою (32), з подальшим аналізом умови:

$$C_M \leq \text{ГДК} - C_\phi \text{ на межі СЗЗ.}$$

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

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

де  $l_o$  – нормативний розмір СЗЗ, в даному напрямку, 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  $l_o$  відкладаються від межі джерела.

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

В якості забруднюючої речовини газового викиду прийнятий ангідрид сірчистий  $\text{SO}_2$ . Очищення викиду передбачається в абсорбері насадочного типу. Початкові дані наведені в табл. 15.

В їх складі: об'єм газу  $V$  м<sup>3</sup>/с, початкова мольна доля компонента ( $\text{SO}_2$ ) –  $u_{\text{п}}$ , необхідна ступінь очищення –  $\eta$  %, температура газоповітряної суміші –  $t_{\text{Г}}$ °С.

Абсорбція відбувається при атмосферному тиску, який приймається:

$$P = 101325 \text{ Па.}$$



## 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, м <sup>3</sup> /с	8	9	10	6	5	8,5	10,5	11,0	6,5	7
Початкова мольна доля газової компоненти, SO <sub>2</sub> – Y <sub>п</sub> , %	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, η, %	80	85	90	85	80	90	80	85	90	85
Температура газоповітряної суміші, t <sub>г</sub> , °С	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<sub>2</sub> в газоповітряній суміші, яка підлягає абсорбції за заданою витратою газу, початковій і кінцевій концентрації визначається як:

$$V_{SO_2} = V \cdot \frac{(P_{SO_2}^П - P_{SO_2}^К) \cdot M_{SO_2}}{R \cdot T}, \quad (56)$$

де  $V$  – об'єм газу, м<sup>3</sup>/год;

$P_{SO_2}^П = y_{п} \cdot P$ , Па – парціальний тиск компонента SO<sub>2</sub> на вході;

$P_{SO_2}^К = y_{к} \cdot P$ , Па – парціальний тиск на виході;

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

$M_{SO_2} = 64$  – молярна маса SO<sub>2</sub>, г/моль;

$R = 8,34 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{°К}}$  – універсальна газова стала;

$T$  – абсолютна температура, °К.

Тоді

$$V_{SO_2} = V \cdot 3600 \cdot \frac{(P_{SO_2}^{\Pi} - P_{SO_2}^K) \cdot 64 \cdot 10^{-3}}{8,32 \cdot (273 + t_{\Gamma})}, \text{ кг/ГОД.} \quad (57)$$

Дана кількість поглинається в абсорбери за рівнянням:

$$V_{SO_2} = K_y \cdot F \cdot \Delta C, \text{ кг/ГОД.} \quad (58)$$

Поверхня контакту:

$$F = \frac{V_{SO_2}}{K_y \cdot \Delta C}, \text{ м}^2. \quad (59)$$

Коефіцієнт масопередачі:

$$K_y = \frac{0,0017 \cdot M_{SO_2} \cdot \omega_K^{0,75} (0,0011 \cdot T - 0,18)^{0,25}}{(13,7 + \sqrt{M_{SO_2}}) d_{екв}^{0,25} \cdot 133,3}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{Па} \cdot \text{ГОД.} \quad (60)$$

В останньому рівнянні :

$$M_{SO_2} = 64 \text{ має розмірність г/моль,}$$

де  $\omega_K$  – швидкість газу в каналах між елементами насадки, м/с визначається

$$\omega_K = \frac{0,6\omega_O}{E}, \text{ см/с} \quad (61)$$

де  $\omega_O$  – рекомендована в перерізі швидкість 3,0 м/с знижується до 60% задля уникнення режиму захлинання абсорбера і уточнюють за типом насадки ( $E$  – вільний об'єм м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, який знаходять за табл. 16 для керамічних кілець Рашига розмірами від 10x10x1,5 до 50x50x5) [12];

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

$\Delta C$  – рушійна сила процесу, Па.

Для спрощення виконання роботи парціальний тиск компонента SO<sub>2</sub> в шарі насичення беремо таким, що дорівнює «0», пояснюючи це тим, що SO<sub>2</sub> в розчині безперервно нейтралізується.

$$\text{Тоді} \quad \Delta C = \frac{P_{SO_2}^{\Pi} - P_{SO_2}^K}{\ln \frac{P_{SO_2}^{\Pi}}{P_{SO_2}^K}}, \quad (62)$$

де  $P_{SO_2}^K$  – парціальний тиск домішки газової компоненти шкідливої речовини після очищення в апараті, Па, який визначається за формулою:

$$P_{SO_2}^K = Y_{II}(1 - \eta) \cdot P, \quad (63)$$

де  $Y_{II}$  – початкова молярна доля газової компоненти в долях одиниці;  
 $\eta$  – ефективність очищення в долях одиниці.

Таблиця 16

**Характеристика насадок (розміри в міліметрах)**

Насадка	Питома поверхня, а, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Вільний об'єм, Е, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	Еквівалентний діаметр, d <sub>e</sub> , м	Насипка, густина, ρ, кг/м <sup>3</sup>	Кількість в м <sup>3</sup> , п, шт.
1	2	3	4	5	6
<b>Регулярні насадки</b>					
Дерев'яні хордові (10x100), крок просвіту:					
10	100	0,55	0,022	210	-
20	65	0,68	0,042	145	-
30	78	0,77	0,064	110	-
Керамічні кільця Рашіга:					
50x50x5	100	0,735	0,027	650	8500
80x80x8	80	0,72	0,036	670	2200
100x100x10	60	0,72	0,048	670	1050
<b>Невпорядковані насадки</b>					
Керамічні кільця Рашіга:					
10x10x1,5	440	0,7	0,006	700	700000
15x15x2	330	0,7	0,009	690	220000
25x25x3	200	0,74	0,015	530	50000
35x35x4	140	0,78	0,022	530	18000
50x50x5	90	0,785	0,035	530	6000
Стальні кільця Рашіга:					
10x10x0,5	500	0,88	0,007	960	770000
15x15x0,5	350	0,92	0,012	660	240000
25x25x0,8	220	0,92	0,017	640	55000
50x50x1	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:

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

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

$$D_a = \sqrt{\frac{4S_a}{\pi}}. \quad (66)$$

Об'єм насадки  $V_{\text{нас}}$ ,  $\text{м}^3$ , визначається за необхідною площею контакту:

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

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

Висота колони абсорбера  $H$ , м, визначається за формулою:

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

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

2 – відстань від верхньої (лобової) 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, кг/год, для цього процесу визначається за формулою:

$$V_{Na_2CO_3} = V_{SO_2} \frac{M_{Na_2CO_3}}{M_{SO_2}}, \quad (70)$$

де  $M_{Na_2CO_3}$  – молекулярна маса бікарбонату натрію.

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

$$X_{Na_2CO_3} = \frac{V'_{Na_2CO_3}}{L_{сер} \rho_p S_a}, \quad (71)$$

де  $V'_{Na_2CO_3}$  – витрата соди з 10% запасом, кг/год;

$L_{сер}$  – густина зрошення  $m^3/m^2 \cdot год$ , яка визначається за [3] формулою:

$$L_{сер} = 0,158 \cdot a, \quad (72)$$

де  $\rho_p$  – густина розчину,  $кг/м^3$ , в розрахунках приймається  $\rho_p \cong 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  
 $a$  – для даної насадки табл.16.

## 7. Розрахунок розсіювання залишкової кількості $SO_2$

Виконується за розділом 4 і приймаються до уваги особливості:

код речовини – сірки діоксид – 701

ГДК<sub>М.Р.</sub> = 0,5  $мг/м^3$ ;

ГДК<sub>С.д.</sub> = 0,05  $мг/м^3$ ;

клас небезпеки – 3 [14];

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 наступними особливостями.

Розрахункова продуктивність джерела відповідає продуктивності, заданій для абсорбера.

Потужність джерела –  $M$ , г/сек визначають за продуктивністю –  $V$ , м<sup>3</sup>/сек і залишкової масової концентрації  $SO_2$  після очищення –  $\bar{C}_K$ , г/м<sup>3</sup>;  $M = V \cdot \bar{C}_K$ , г/сек, де

$$\bar{C}_K = \frac{P_{SO_2}^K \cdot M_{SO_2}}{RT} = \frac{P_{SO_2}^K \cdot 64}{8,32 \cdot (273 + t_{\Gamma})}, \text{ г/м}^3. \quad (73)$$

Отримані значення  $C_m$  і  $X_m$  порівнюють за схемою:

$$C_{\phi} + C_m \leq \text{ГДК}_{\text{м.р.}} \text{ і } X_m$$

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 на межі санітарно-захисної зони**

Комплекс заходів з боротьби з забрудненням: очищення і розсіювання – дозволяють оцінити рівень забруднення від двох джерел на межі або за межою 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. 2.5, [7]).

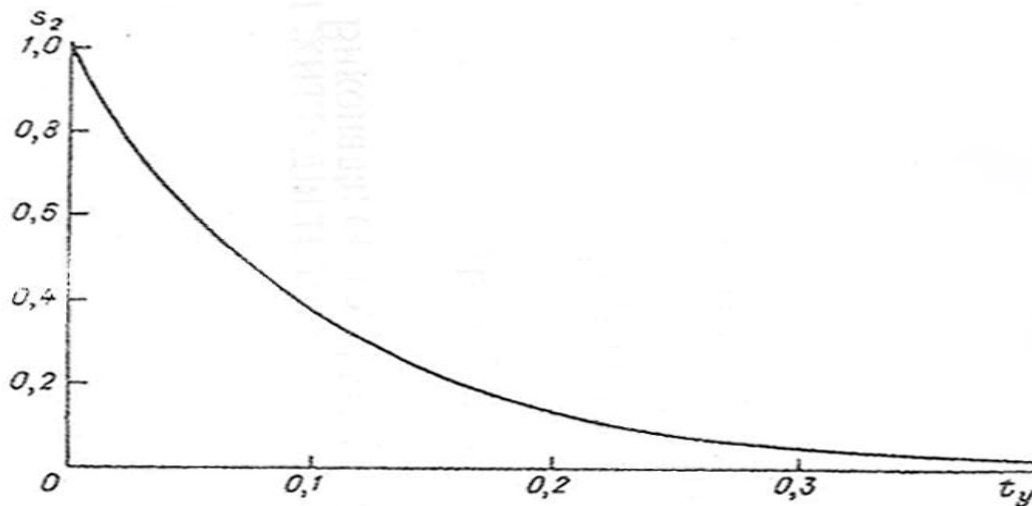


Рис. 6

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

$$t_y = \frac{uy^2}{x^2}, \text{ при } u \leq 5, \quad (74)$$

та

$$t_y = \frac{5y^2}{x^2}, \text{ при } u > 5. \quad (75)$$

Очікувана концентрація на відстані  $x$ :

$$C = S_1 \cdot C_m, \quad (76)$$

а в поперечному від  $x$  напрямку  $y$ :

$$C_y = S_2 \cdot C_m. \quad (77)$$

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  $S_2$ .

Таким чином з'ясується в точці\* концентрація пилу і газу. Знайдені концентрації дозволяють визначити сумарний показник забруднення  $\sum ПЗ$ :

$$\sum ПЗ = \left( \frac{C_{\Pi}}{ГДК_{\Pi} \cdot K_{\Pi}} + \frac{C_{\Gamma}}{ГДК_{\Gamma} \cdot K_{\Gamma}} \right) \cdot 100\%, \quad (78)$$

де  $K_{II}$  залежить від класу небезпеки і змінюється (0,8 для I кл, 0,9 для II кл, 1,0 для III кл і 1,1 для IV кл).

$$K_{II} = 1,0 \text{ для III кл.}$$

$\sum ПЗ$  порівнюють з ГДЗ – граничнодопустимим забрудненням.

Для випадку двох речовин, для яких не встановлена комбінована дія

$$K_{К.Д.} = \sqrt{n}, \quad (79)$$

тобто в даному випадку:

$$K_{К.Д.} = \sqrt{2}$$

і тоді:

$$ГДЗ = K_{К.Д.} \cdot 100\% = 141\%. \quad (80)$$

За кратністю перевищення  $\frac{\sum ПЗ}{ГДЗ}$  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

Після висновку про рівень забруднення студент може висловити свої міркування з приводу захисту атмосфери від забруднення.



## Список літератури

1. *Пирумов А.И.* Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1981. – 295 с.
2. *Защита* атмосферы от промышленных загрязнений: справочник в 2-х частях / под ред. С. Калверта и Г. М. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988. – 760 с.
3. *Кузнецов И.Е., Шмат К.И., Кузнецов С.И.* Оборудование для санитарной очистки газов: справочник. – К.: Техника, 1989. – 304 с.
4. *Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г.* Засоби очищення газових викидів. – К.: ІВНВКП «Укреліотех», 2009. – 204 с.
5. *СНиП 2.04.05-91.* Отопление, вентиляция и кондиционирование. Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1992. – 64 с.
6. *ОНД-86.* Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 93 с.
7. *Справочник* проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч.II / под ред. И. Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1988. – 510 с.
8. *Сигал И.Я.* Защита атмосферы при сжигании топлив. – Л.: Недра, 1977. – 295 с.
9. *Газоочистное* оборудование: каталог ЦИНТИ химнефтемаш и др. – М.: Госстрой, 1981. – 72 с.
10. *Проектирование* процессов аппаратов пищевых производств / под ред. В.Н. Стадникова. – К.: Вища шк., 1982. – 218 с.
11. *Рамм В.М.* Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
12. *Александров И.А.* Ректификационные и абсорбционные аппараты: методика расчета и основы конструирования. – М.: Химия, 1971. – 296 с.
13. *ДСП 201–97.* Державні санітарні правила Охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). – К., 1997.
14. *Державні* санітарні правила планування та забудови населених пунктів. МОЗ № 173 від 19.06.1996.

15. *Моніторинг* довкілля: навчально-методичний посібник для студентів за спеціальністю “Екологія”. – К., 1998. – 92 с.
16. А.М.Владимиров, Ю.И.Ляхин, Л.Т.Матвеев и др. Охрана окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.- 424 с.
17. *Трофімович В.В.* Основы экологии. – К.: ВПОЛ, 1996. – 105 с.
18. *Стадницкий Г.В., Родионов А.И.* Экология. – М.: Высш. шк., 1988. – 271 с.
19. *Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н.* Инженерная экология. Общий курс в двух томах: Т 1. – М.: Высш. шк., 1996. – 637 с.; Т 2. – М.: Высш. шк., 1996. – 655 с.
20. *Методические* указания по регулированию выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях. Руководящий документ РД 52.04.52-85. Введен Госкомгидрометом СССР 01.12.86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 52 с.
21. *Отопление* и вентиляция. Ч. 2. Вентиляция / под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
22. *Справочник* по пыле- и золоулавливанию / под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 310 с.
23. *Водний кодекс* України. Від 06.06.1995 № 213/95.
24. *Правила* охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 № 456.
25. *Василенко А.А.* Водоотведение. Курсовое проектирование. – К.: Вища шк., 1988. – 256 с.
26. *Родзиллер Н.Д.* Прогноз качества воды водоемов-приемников сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984.
27. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
28. *Справочник* по охране окружающей среды / под ред. В.Г. Сахаева, Б.В. Щербицкого. – К.: Будівельник, 1986. – 149 с.
29. *Закон* України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707. Зі змінами і доповненнями.

30. ДБН А.2.2.-1-2003 “Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Чинні з 01.04.2004.

31. ДСТУ-НБ В.1.1.-27:2010. Будівельна кліматологія. Національний стандарт. – К.: Мінрегіонбуд Україна, 2011.

Навчально-методичне видання

# ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БІОСФЕРИ

## Модуль 2, 3. Інженерний захист атмосфери

Методичні вказівки  
для виконання індивідуального завдання  
для студентів, які навчаються за напрямом підготовки  
6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування”

Укладачі: **Трофімович** Володимир Володимирович  
**Журавська** Наталія Євгенівна

Редагування та коректура *О.В. Карпенко*  
Комп’ютерне верстання *Т.І. Кукарєвої*

Підписано до друку 2015. Формат 60 × 84<sub>1/16</sub>  
Ум. друк. арк. 2,09. Обл.-вид. арк. 2,25.  
Електронний документ. Вид. № 46/III-14.

Видавець і виготовлювач  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680  
E-mail: [red-isdat@ukr.net](mailto:red-isdat@ukr.net), тел. (044)241-54-22, 241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб’єктів  
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.