

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи

з навчальної дисципліни

ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ

МОДУЛІ 1–4

*(для студентів 2–4 курсів денної та заочної форм навчання
напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2016

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Прикладна аероекологія», модулі 1– 4 (для студентів 2– 4 курсів денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, Ю. Л. Коваленко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 45 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. **В. Є. Бекетов**,

ст. викл. **Г. П. Євтухова**,

канд. техн. наук, доц. **Ю. Л. Коваленко**

Рецензент **Ф. В. Стольберг**, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою Інженерної екології міст, протокол № 8 від 30.03.2016 р.

ЗМІСТ

Передмова	4
МОДУЛЬ 1 Атмосфера. Головні терміни та визначення	5
Змістовий модуль 1.1 Атмосфера. Забрудники атмосфери. Джерела викидів	5
1.1.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань до самостійної роботи студентів	5
1.1.2 Контрольні запитання.....	8
Змістовий модуль 1.2 Властивості пилу і газів.....	8
1.2.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань до самостійної роботи студентів	8
1.2.2 Контрольні запитання.....	17
МОДУЛЬ 2 Нормування якості атмосферного повітря	17
Змістовий модуль 2.1 Нормування вмісту забруднюючих речовин в	17
2.1.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань до	17
самостійної роботи студентів	17
2.1.2 Контрольні запитання.....	21
Змістовий модуль 2.2 Система контролю якості	22
2.2.1 Приклади рішення типових завдань та варіанти завдань до	22
2.2.2 Контрольні запитання.....	27
МОДУЛЬ 3 Основи утворення та процеси формування викидів в атмосферне повітря.....	28
Змістовий модуль 3.1 Забруднення атмосферного повітря об'єктами енергетики, розрахунок викидів та Змістовий модуль 3.2 Забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом, розрахунок викидів	28
Змістовий модуль 3.3 Забруднення атмосферного повітря промисловими підприємствами, розрахунок викидів	28
3.3.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань для самостійної роботи студентів	28
3.3.2 Контрольні запитання.....	36
МОДУЛЬ 4 Заходи щодо охорони атмосферного повітря та апарати сухого інерційного очищення газів	37
Змістовий модуль 4.1 Заходи щодо охорони атмосферного повітря.....	37
4.1.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань для	37
4.1.1 Контрольні запитання.....	38
Змістовий модуль 4.2 Апарати сухого очищення газів	39
4.2.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань для	39
4.2.2 Контрольні запитання.....	41
Змістовий модуль 4.3 Фільтри, електрофільтри.....	41
4.3.1 Приклади рішення типових завдань та варіанти завдань	41
для самостійної роботи студентів.....	41
4.3.1 Контрольні запитання.....	43
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	44

Передмова

Дисципліна «Прикладна аероекологія», згідно з навчальним планом підготовки бакалавра, є фаховою, вибірковою і вивчається протягом чотирьох семестрів студентами денної форми навчання. Дисципліна складається з чотирьох модулів. Під час вивчення дисципліни студенти отримують знання та практичні навички з таких питань:

- визначення температури та тиску на будь-якій висоті у атмосфері;
- визначення щільності, вологості та інших властивостей газової суміші;
- виконання оцінки рівня забруднення атмосферного повітря;
- виконання порівняльної оцінки рівня забруднення атмосферного повітря в різних містах України та в різних районах міста;
- розрахунок кількості викидів в атмосферне повітря промисловими підприємствами, енергетичними установками та автотранспортом;
- пропонування заходів щодо покращення стану атмосферного повітря.

Згідно з навчальною програмою, практичні заняття передбачені за всіма модулями. Практичні заняття передбачають розгляд теоретичних питань та розв'язання тематичних задач.

Самостійна робота передбачає вивчення конспекту лекцій та додаткової літератури, а також виконання розрахункових завдань за лекційним матеріалом і курсового проекту та розрахунково-графічної роботи. Для контролю засвоєння матеріалу під час самостійної роботи після кожної теми наведені контрольні запитання.

Методичні вказівки побудовані таким чином:

1. Дається приклад вирішення практичних задач та теоретичні виклади, необхідні для розв'язання розрахункових завдань.
2. Надаються вихідні дані для розрахункових завдань самостійної роботи. Номер варіанту завдання визначається згідно з номером студента за списком групи.
3. Подаються питання для контролю засвоєння теоретичного матеріалу за тематикою змістового модуля.

Модуль 1 Атмосфера. Головні терміни та визначення

Змістовий модуль 1.1 Атмосфера. Забрудники атмосфери. Джерела викидів

1.1.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань до самостійної роботи студентів

Завдання 1. Визначити температуру атмосферного повітря на висоті 200 м над рівнем моря для стандартної атмосфери.

Температура атмосферного повітря на будь-якій висоті визначається з формулою стандартного температурного градієнту:

$$\frac{dT}{dH} = \frac{288 - 216,7}{10^3 \cdot 10,8} = 0,0066 \frac{\text{K}}{\text{м}}, \quad (1)$$

де $\frac{dT}{dH}$ – стандартний температурний градієнт, який дорівнює 0,0066 К/м

та показує, що із ростом висоти на 1м температура знижується на 0,0066 К;

288 – температура атмосферного повітря на рівні моря, при N умовах (К);

216,7 – температура атмосферного повітря на верхній межі тропосфери, К;

$10,8 \cdot 10^3$ – верхня межа тропосфери, м.

Температуру на висоті 200 м можна визначити за рівнянням (1):

$$T = 288 - (0,0066 \cdot 200) = 286,68\text{K}$$

Варіанти до розрахунку завдання 1 подано у таблиці 1.1.1

Таблиця 1.1.1 – Варіанти для розрахунків завдання 1

Номер варіанта	Висота Н, м	Номер варіанта	Висота Н, м
1	2	3	4
1	100	16	1600
2	200	17	1700
3	300	18	1800
4	400	19	1900
5	500	20	2000
6	600	21	2100
7	700	22	2200
8	800	23	2300
9	900	24	2400
10	1000	25	2500
11	1100	26	2600
12	1200	27	2700
13	1300	28	2800
14	1400	29	2900
15	1500	30	3000

Завдання 2. Визначити атмосферний тиск для стандартної атмосфери на висоті 200 м.

Атмосферний тиск на будь-якій висоті H (тиск для стандартної атмосфери) визначається за міжнародною барометричною формулою:

$$\frac{dP}{dH} = 101,3 \cdot \left(1 - \frac{6,5 \cdot H}{288}\right)^{5,255} \text{ кПа}, \quad (2)$$

де H – висота, для якої визначається тиск, км;

101,3 – тиск над рівнем моря, кПа;

288 – температура атмосферного повітря над рівнем моря, К;

6,5 – температурний стандартний градієнт, К/км.

Тиск на висоті 200 м визначається за рівнянням (2):

$$\frac{dP}{dH} = 101,3 \cdot \left(1 - \frac{6,5 \cdot 0,2}{288}\right)^{5,255} = 98,67 \text{ кПа}$$

Вихідні дані для розрахунку завдання 2 такі ж самі, як для завдання 1 (треба визначити атмосферний тиск для стандартної атмосфери на будь-якій висоті).

Завдання 3. Під час підйому на висоту температура повітря знизилася на величину $\Delta T = 1,5$ °К. Як при цьому змінився тиск (атмосфера має стандартний температурний градієнт)?

Користуючись стандартним температурним градієнтом, визначаємо висоту: $\Delta T = 0,0066 \cdot H$; $H = \Delta T / 0,0066 = 1,5 / 0,0066 = 227,2$ м

Далі за формулою (2) визначаємо тиск на цій висоті:

$$\frac{dP}{dH} = 101,3 \cdot \left(1 - \frac{6,5 \cdot 0,227}{288}\right)^{5,255} = 98,59 \text{ кПа}$$

Змінення тиску (зменшення) на висоті складає:

$$\Delta P = 101,3 - 98,59 = 2,71 \text{ кПа.}$$

Варіанти для розрахунків завдання подано у таблиці 1.1.2.

Таблиця 1.1.2 – Варіанти для розрахунків завдання 3

Номер варіанта	$\Delta T, ^\circ K$	Номер варіанта	$\Delta T, ^\circ K$
1	8,0	16	27,3
2	10,5	17	27,8
3	11,0	18	28,3
4	12,2	19	31,2
5	12,7	20	32,4
6	13,8	21	34,6
7	14,5	22	34,9
8	15,9	23	35,2
9	16,1	24	39,6
10	17,0	25	39,8
11	18,8	26	40,6
12	21,9	27	43,5
13	23,0	28	49,5
14	24,3	29	45,9
15	25,5	30	46,8

Завдання 4. На деякій висоті дано атмосферний тиск $P(H)$ (мм). Визначити висоту(км) і температуру($^\circ C, ^\circ K$) в даній точці на цій висоті.

Розв'язання цього завдання виконується за рівняннями (1) та (2).

Варіанти для розрахунку завдання 4 подано у таблиці 1.1.3

Таблиця 1.1.3 – Варіанти для розрахунків завдання 4

Номер варіанта	$P(H), \text{мм Hg}$	Номер варіанта	$P(H), \text{мм Hg}$
1	733,3	16	710,0
2	716,0	17	320,0
3	600,0	18	360,0
4	250,0	19	390,0
5	311,0	20	435,0
6	690,0	21	465,0
7	540,0	22	486,0
8	480,0	23	515,0
9	200,0	24	538,0
10	180,0	25	586,0
11	290,0	26	615,0
12	310,0	27	639,0
13	410,0	28	498,0
14	510,0	29	275,0
15	610,0	30	488,0

1.1.2 Контрольні запитання

1. Склад і будова атмосфери Землі.
2. Дати визначення терміна атмосфера?
3. Які функції виконує атмосфера?
4. Навести приклади антропогенних та природних джерел викидів, класифікувати антропогенні джерела.
5. Поясніть, що таке фізичне забруднення атмосфери (види, приклади).
6. Що таке хімічне забруднення атмосфери? Дайте пояснення.
7. Поясніть, що таке трансформація домішок в атмосфері?
8. Дайте визначення первинної та вторинної домішки.
9. Дайте характеристику основних забруднюючих речовин.
10. Трансформація в атмосфері з'єднань азоту, сірки та вуглецю; навести приклади хімічних реакцій.

Змістовий модуль 1.2 Властивості пилу і газів

1.2.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань до самостійної роботи студентів

Завдання 1. Дисперсний склад пилу заданий у вигляді таблиці із вказаними частками фракцій, які виражені у відсотках від загальної кількості.

Подати дисперсний склад пилу у вигляді:

1) двох таблиць, у яких вказати частку часток пилу за розміром крупніше (дрібніше) даного;

2) графіків: гістограма, диференціальна крива та інтегральна крива.

Вихідні дані для розв'язання завдання 1 подано у таблиці 1.2.1.

Таблиця 1.2.1– Дисперсний склад пилу за фракціями

Розмір часток, мкм	0 – 5	5 – 10	10 –20	20 –30	30 –40	40 –50	>50
Фракційний склад, %	12	14	22	18	13	12	9

Розв'язання завдання

1. Таблиця з розмірами пилу більш або менш даного виконується шляхом розрахунків. Для цього необхідна таблиця 1.2.1 (з розміром часток за фракціями). Наприклад, $100 - 12 = 88$; $100 - (12+14) = 74$; $100 - (12+14+22) = 52$. Розміри пилу подані у таблиці 1.2.2

Таблиця 1.2.2 – Розмір часток пилу більш ніж даний

Розмір часток, мкм	> 5	> 10	> 20	> 30	> 40	> 50
Частка частинок за розміром > даного	88	74	52	34	21	9

Таблиця з розмірами пилу менше даного виконується за даними таблиці 2. Треба від 100 % відняти частку кожного розміру. Наприклад: $100 - 88 = 12$; $100 - 74 = 26$; $100 - 52 = 48$. Розміри пилу подані у таблиці 1.2.3

Таблиця 1.2.3 – Розмір часток пилу менше ніж даний

Розмір часток, мкм	< 5	< 10	< 20	< 30	< 40	< 50
Доля часток за розміром < даного	12	26	48	66	79	91

2. Для того, щоб показати дисперсний склад пилу у вигляді *гістограми*, на вісі ординат відкладаємо фракційний состав пилу у %, а вздовж вісі абсцис – розмір фракції (дані у табл. 1.2.1).

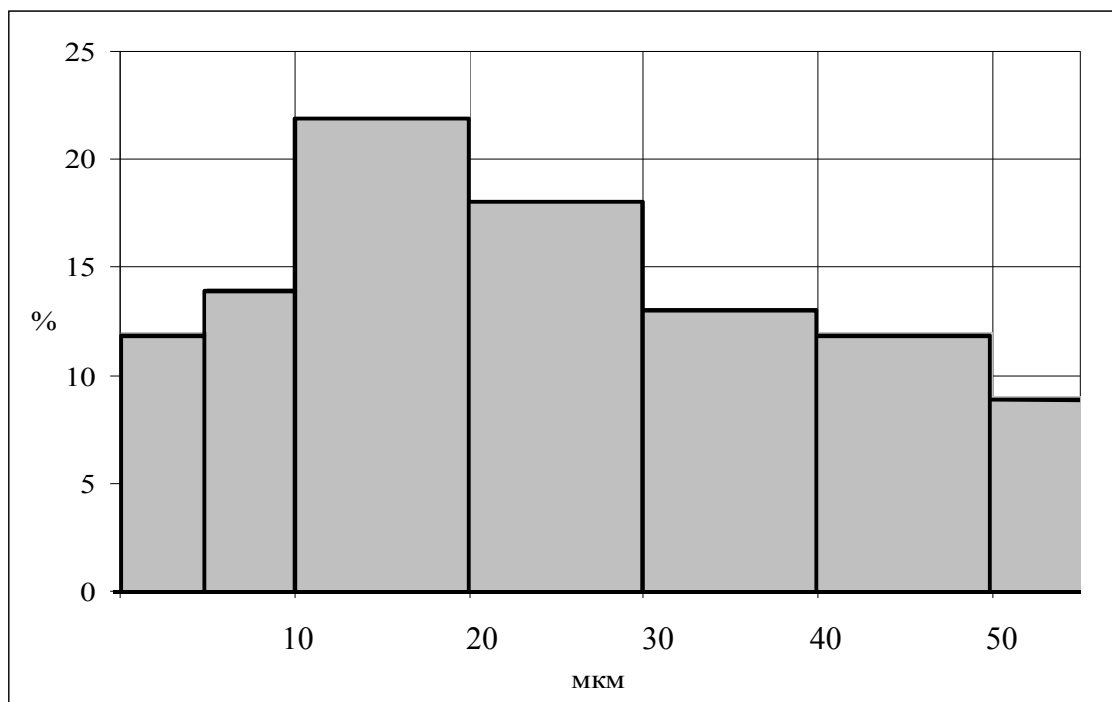


Рисунок 1.2.1– Гістограма

Для побудови *диференціальної кривої* треба визначити значення, які відкладатимемо по вісях x і y . Вздовж вісі абсцис відкладаємо середній розмір фракції (суму мінімального та максимального розміру даної фракції розділену на два). Наприклад:

$$\left(\frac{0+5}{2} = 2,5; \frac{5+10}{2} = 7,5; \frac{10+20}{2} = 15 \right) \quad (3)$$

На осі ординат відкладаємо число, яке розраховується таким чином: відсоткова частка фракції ділиться на різницю максимального та мінімального розмірів даної фракції:

$$\left(\frac{12}{5-0} = 2,4; \frac{14}{10-5} = 2,8; \frac{22}{20-10} = 2,2 \right) \quad (4)$$

Диференціальна крива зображена на рисунку 1.2.2

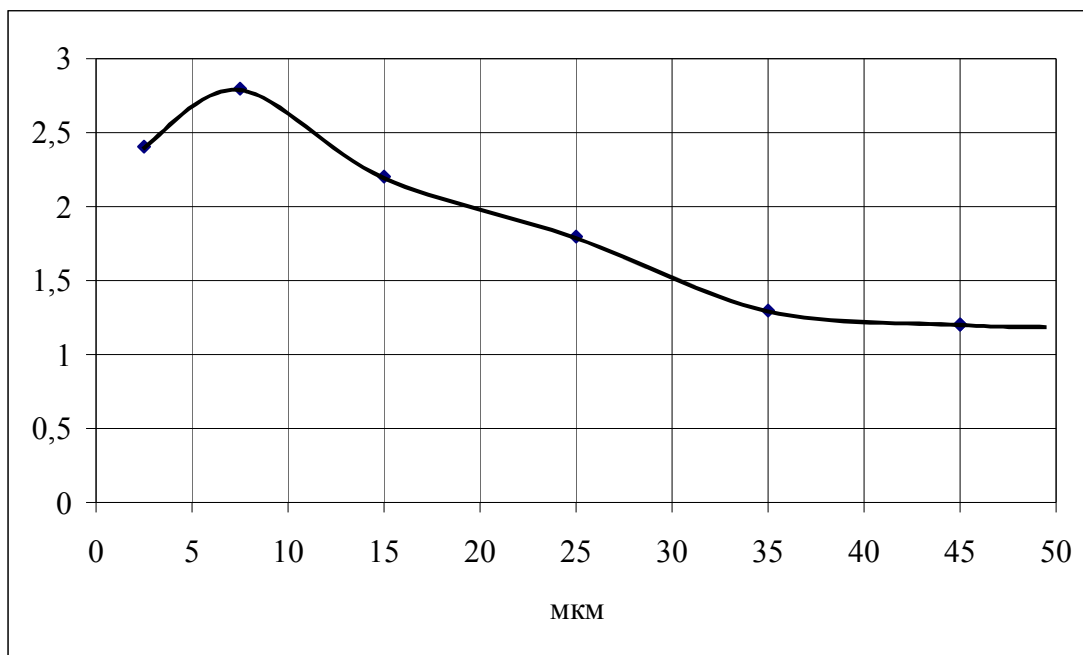


Рисунок 1.2.2 – Диференціальна крива

Для побудови *Інтегральної кривої* треба використовувати таблиці 1.2.2 і 1.2.3. Здовж осі абсцис відкладаємо величину діаметра часток пилу. На осі ординат – долю часток за розміром більше ($R_{дч}$) або менше ($D_{дч}$) даного (з табл. 1.2.2 і 1.2.3).

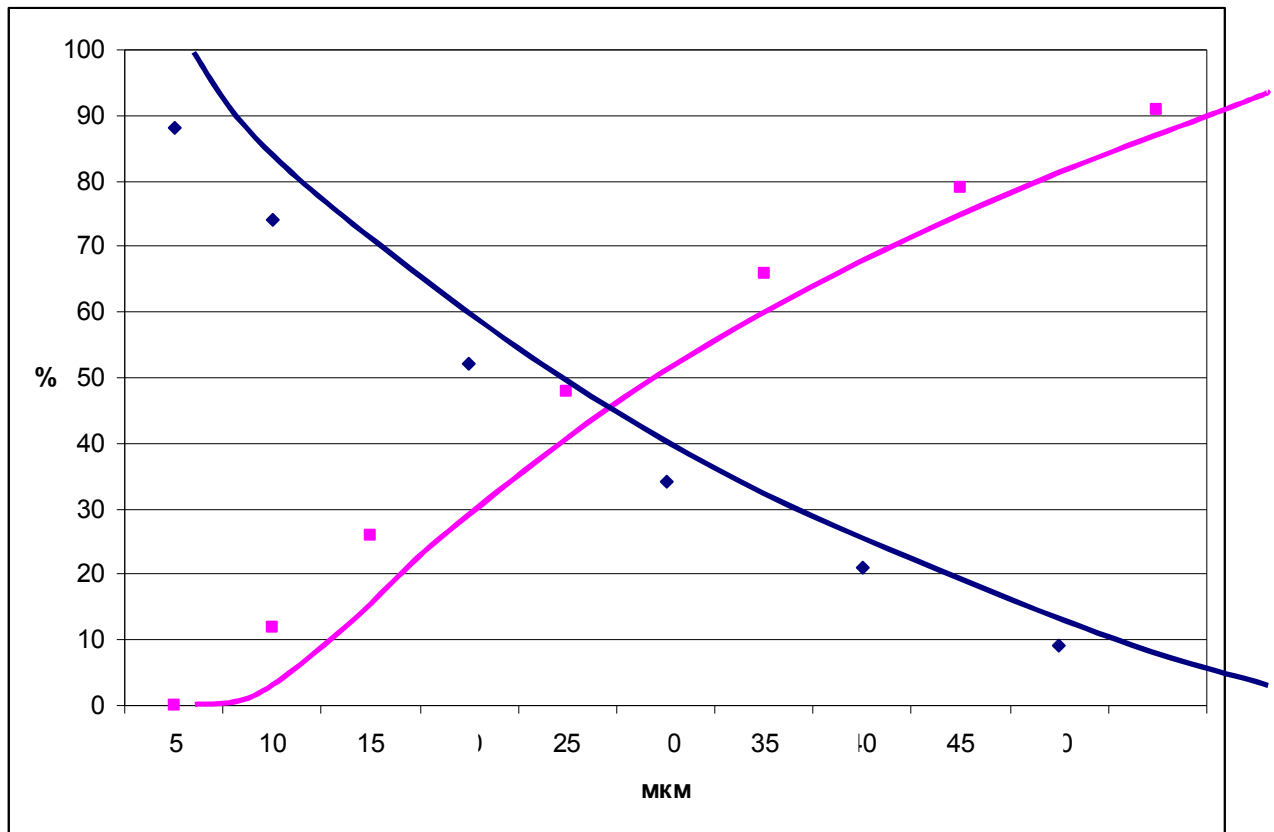


Рисунок 1.2.3– Интегральні криві

Варіанти для розрахунків завдання 1 подано у таблиці 1.2.4.

Таблиця 1.2.4 – Варіанти для розрахунків завдання 1

Номер варіанта	Дисперсний склад пилу								
	1	2							
1	Вміст фракції, %	5	10	15	26	20	10	8	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–12	12–20	20–30	30–40	40–50	>50
2	Вміст фракції, %	8	15	12	25	20	10	5	5
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–12	12–20	20–30	30–40	40–50	>50
3	Вміст фракції, %	5	5	15	35	16	10	8	6
	Розмір часток, мкм	0–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50
4	Вміст фракції, %	5	3	5	16	37	20	8	6
	Розмір часток, мкм	0–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50
5	Вміст фракції, %	2	2	5	15	37	25	8	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50

Продовження таблиці 1.2.4

1	2								
6	Вміст фракції, %	2	4	25	30	15	10	8	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50
7	Вміст фракції, %	2	5	50	20	10	5	2	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–55	>55
8	Вміст фракції, %	5	12	40	20	10	5	2	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–15	15–30	30–40	40–50	50–55	>55
9	Вміст фракції, %	5	22	35	20	5	5	2	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–15	15–20	20–30	30–35	35–45	45–55	>55
10	Вміст фракції, %	5	35	25	15	5	5	4	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–35	35–45	45–55	>55
11	Вміст фракції, %	10	42	20	10	5	3	4	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–45	>45
12	Вміст фракції, %	5	20	35	30	5	2	1	2
	Розмір часток, мкм	0–5	5–15	15–20	20–30	30–40	40–50	50–55	>55
13	Вміст фракції, %	2	20	15	30	25	5	1	2
	Розмір часток, мкм	0–5	5–20	20–25	25–30	30–40	40–50	50–55	>55
14	Вміст фракції, %	2	12	8	15	35	20	5	3
	Розмір часток, мкм	0–5	5–20	20–25	25–30	30–35	35–50	50–55	>55
15	Вміст фракції, %	2	5	30	30	15	10	5	3
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–25	25–30	30–35	35–45	45–50	>50
16	Вміст фракції, %	5	8	25	25	20	10	2	5
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–25	25–35	35–45	45–50	>50
17	Вміст фракції, %	2	7	15	34	20	15	2	5
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–45	45–50	>50
18	Вміст фракції, %	2	10	37	20	10	15	2	4
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–45	45–50	>50

Закінчення таблиці 1.2.4

1	2								
19	Вміст фракції, %	5	10	15	26	20	10	8	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–12	12–20	20–30	30–40	40–50	>50
20	Вміст фракції, %	8	15	12	25	20	10	5	5
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–12	12–20	20–30	30–40	40–50	>50
21	Вміст фракції, %	5	5	15	35	16	10	8	6
	Розмір часток, мкм	0–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50
22	Вміст фракції, %	5	3	5	16	37	20	8	6
	Розмір часток, мкм	0–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50
23	Вміст фракції, %	2	2	5	15	37	25	8	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50
24	Вміст фракції, %	2	4	25	30	15	10	8	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–25	25–30	30–40	40–50	>50
25	Вміст фракції, %	2	5	50	20	10	5	2	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–55	>55
26	Вміст фракції, %	5	12	40	20	10	5	2	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–15	15–30	30–40	40–50	50–55	>55
27	Вміст фракції, %	5	22	35	20	5	5	2	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–15	15–20	20–30	30–35	35–45	45–55	>55
28	Вміст фракції, %	5	35	25	15	5	5	4	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–35	35–45	45–55	>55
29	Вміст фракції, %	10	42	20	10	5	3	4	6
	Розмір часток, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–45	>45
30	Вміст фракції, %	5	20	35	30	5	2	1	2
	Розмір часток, мкм	0–5	5–15	15–20	20–30	30–40	40–50	50–55	>55

Завдання 2. Дано: $d_m=13$ мкм; $d_{84,1}=5$ мкм. Визначити кількість часток пилу з будь-яким з розміром $d_q = 6$ мкм; $d_q = 18$ мкм.

Розв'язання завдання

Кількість часток пилу з розміром d_q визначається за формулою:

$$\zeta_q = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \cdot \lg\sigma_q} \cdot e^{-\frac{\lg^2\left(\frac{d_q}{d_m}\right)}{2 \cdot \lg^2\sigma_q}} \quad (5)$$

де $\lg\sigma_q$ – середнє квадратичне відхилення, визначається за формулою:

$$\lg\sigma_q = \lg d_m - \lg d_{84,1} = \lg d_{15,9} - \lg d_m \quad (6)$$

d_m – медіанний розмір часток пилу;

$d_{84,1}$ – розмір часток пилу при якому 84,1% часток мають розмір менший за d_m ;

$d_{15,9}$ – розмір часток пилу, при якому 15,9% часток мають розмір більший за d_m ;

d_q – розмір часток пилу, кількість яких треба визначити.

Приклад розв'язання завдання

За формулою (6) визначаємо $\lg\sigma_q$

$$\lg\sigma_q = \lg d_m - \lg d_{84,1} = \lg 13 - \lg 5 = 0,414 \quad \lg^2 \sigma_q = 0,414^2 = 0,172$$

За формулою (5) визначаємо кількість часток з розміром 6 мкм

$$\zeta_6 = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \cdot \lg\sigma_q} \cdot e^{-\frac{\lg^2\left(\frac{d_q}{d_m}\right)}{2 \cdot \lg^2\sigma_q}} = \frac{100}{\sqrt{3,14} \cdot \lg 0,414} \cdot e^{-\frac{\lg^2 \frac{6}{13}}{2 \cdot \lg^2 0,172}} = 0,964 \cdot e^{-0,330} = 0,964 \cdot 0,72 = 0,694$$

$$\zeta_{18} = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \cdot \lg\sigma_q} \cdot e^{-\frac{\lg^2\left(\frac{d_q}{d_m}\right)}{2 \cdot \lg^2\sigma_q}} = \frac{100}{\sqrt{3,14} \cdot \lg 0,414} \cdot e^{-\frac{\lg^2 \frac{18}{13}}{2 \cdot \lg^2 0,172}} = 0,964 \cdot e^{-0,058} = 0,964 \cdot 0,943 = 0,909$$

Варіанти до розрахунків завдання 2 подано у таблиці 1.2.5 – Визначити кількість часток пилу з розміром $d_q = 6$ мкм і $d_q = 18$ мкм.

Таблиця 1.2.5 – Вихідні дані для розрахунку завдання 2

Номер варіанта	d_m	$d_{15,9}$	$d_{84,1}$	Номер варіанта	d_m	$d_{15,9}$	$d_{84,1}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	12		5	16	12	19	
2	13		6	17	13	18	
3	14		7	18	14	17	
4	15		8	19	15	16	
5	16		9	20	16	15	
6	17		10	21	17	14	
7	18		11	22	18	13	
8	19		12	23	19	12	
9	20		13	24	20	11	
10	21		14	25	21	10	
11	22		15	26	22	9	
12	23		16	27	23	8	
13	24		17	28	24	7	
14	25		18	29	25	6	
15	26		19	30	26	5	

Завдання 3. Визначити щільність газової суміші за нормальних умов, склад якої задано у частках об'єму: $r_{N_2} = 0,8$; $r_{O_2} = 0,11$; $r_{CO_2} = 0,09$. Температура газу $T_r = 273K$, атмосферний тиск $P = 101000$ Па.

Розв'язання завдання

Щільність газової суміші визначається за формулою:

$$\rho_{см} = q_1 \cdot \rho_1 + q_2 \cdot \rho_2 + \dots + q_n \cdot \rho_n, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (7)$$

де q_1 – масова частка компонента, який входить до складу газової суміші;

$\rho_1, \rho_2 \dots \rho_n$ – щільність компонента суміші, яка визначається за рівнянням Клапейрона-Менделєєва:

$$PV = \frac{m}{M} \cdot RT, \quad \rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \quad (8)$$

де R – газова постійна = 8,314;

P – атмосферний тиск, кПа;

M – молекулярна маса компонента суміші;

T – температура газової суміші, К.

Склад газу в частках маси визначається за формулою:

$$q_i = r_i \frac{M_i}{M_{\text{см}}} \quad (9)$$

де q_i – частка компоненту в частках маси;

r_i – частка компоненту, який входить до складу газу в частках об'єму;

$M_{\text{см}}$ – молекулярна маса газової суміші;

M_i – молекулярна маса компоненту, що входить до складу газу.

До складу газової суміші входять азот, кисень та діоксид вуглецю:

$$M_{\text{N}_2} = 14 \cdot 2 = 28; M_{\text{O}_2} = 16 \cdot 2 = 32; M_{\text{CO}_2} = 12 + 16 \cdot 2 = 44 .$$

$$M_{\text{N}_2} = 0,8 \cdot 28 = 22,4; M_{\text{O}_2} = 0,11 \cdot 32 = 3,52;$$

$$M_{\text{CO}_2} = 0,09 \cdot 44 = 3,96;$$

$$M_{\text{см}} = 22,4 + 3,52 + 3,96 = 29,88.$$

За рівнянням (8,9) визначаємо щільність компоненту суміші та масову частку компоненту суміші:

$$q_{\text{N}_2} = 0,8 \cdot 28 / 29,88 = 0,75 \quad \rho_{\text{N}_2} = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \frac{100000 \cdot 28}{8314 \cdot 273} = 1,23$$

$$q_{\text{O}_2} = 0,11 \cdot 32 / 29,88 = 0,118 \quad \rho_{\text{O}_2} = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \frac{100000 \cdot 32}{8314 \cdot 273} = 1,409$$

$$q_{\text{CO}_2} = 0,09 \cdot 44 / 29,88 = 0,132 \quad \rho_{\text{CO}_2} = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \frac{100000 \cdot 44}{8314 \cdot 273} = 1,936$$

$$\rho_{\text{см}} = 0,75 \cdot 1,23 + 0,118 \cdot 1,409 + 0,132 \cdot 1,936 = 1,344 \text{ кг/м}^3$$

Варіанти до розрахунку завдання 3 подано у таблиці 1.2.6

Таблиця 1.2.6 – Вихідні дані для розрахунку завдання 3

№ варіанта	r_{N_2}	r_{O_2}	r_{CO_2}	№ варіанта	r_{N_2}	r_{O_2}	r_{CO_2}
1	79	10	11	16	77	10	13
2	78	11	11	17	76	11	13
3	76	12	12	18	75	14	11
4	75	13	12	19	74	12	14
5	80	10	10	20	76	10	14
6	79	11	10	21	77	13	10
7	77	11	12	22	78	12	10
8	78	10	12	23	80	8	12
9	76	13	11	24	74	11	15
10	75	11	14	25	78	10	12
11	78	11	11	26	81	9	10
12	77	12	11	27	81	10	9
13	79	11	10	28	74	14	12
14	74	13	13	29	75	10	15
15	75	12	13	30	80	12	8

1.2.2 Контрольні запитання

1. Для чого потрібно знати властивості пилу і газів?
2. Перелічіть властивості пилу.
3. Назвіть основні властивості газів.
4. За допомогою яких способів можна задати дисперсний склад пилу?
5. На що впливає абразивність пилу в апаратах очищення газів?
6. Як класифікують пил за аутогезійними властивостями (злипання)?
7. За якими критеріями пил поділяють на сипучий або не сипучий?
8. Дайте визначення поняття медіанний розмір часток пилу.
9. Поясніть, які параметри газової суміші можна визначити в будь-якій точці за і-Д діаграмою.
10. Якими засобами можна задати вологість газу, що таке відносна вологість?

Модуль 2. Нормування якості атмосферного повітря

Змістовий модуль 2.1 Нормування вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

2.1.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань до самостійної роботи студентів

Завдання 1. Виконати оцінку рівня забруднення атмосферного повітря за такими даними (табл. 2.1.1):

Таблиця 2.1.1 – Вихідні дані

Найменування забр. речовини	Фактична концентрація, мг/м ³	ГДК м.р., мг/м ³	Оцінка
Двоокис азоту	0,21	0,2	–
Ацетон	0,33	0,35	+
Двоокис сірки	0,47	0,5	+
Сірководень	0,0076	0,008	+

Примітка: якщо ГДК не перевищується, у графі «Оцінка» ставити (+), якщо перевищується (–).

Розв'язання завдання

Для виконання оцінки необхідно :

- заповнити графу ГДК, порівняти значення фактичної концентрації з її ГДК (граничнодопустимою концентрацією) і поставити знак у графу «оцінка» (+) або (-). Якщо для речовини відсутнє значення ГДК, треба користуватися ОБРД (тимчасовим санітарно-гігієнічним нормативом, який називається орієнтовно безпечний рівень дії);
- врахувати ефект сумачії. Для цього з переліку речовин знайти групи сумачії і перевірити таке рівняння $C_1 / ГДК_1 + C_2 / ГДК_2 \leq 1$.

У переліку речовин є дві групи сумачії, це: двоокис азоту та двоокис сірки; сірководень та двоокис сірки;

Розраховуємо коефіцієнт комбінованої дії:

$$C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 \leq 1 \quad (10)$$

$$0,15 / 0,2 + 0,47/0,5 = 0,75 + 0,94 = 1,69$$

$$0,0076 / 0,008 + 0,47/0,5 = 0,95 + 0,94 = 1,89$$

За результатами розрахунку робимо висновок, що рівень забруднення атмосферного повітря перевищує санітарні норми за ефектом сумачії, оскільки коефіцієнт комбінованої дії більш 1.

Варіанти для розрахунків завдання 1 подано у таблиці 2.1.2

Таблиця 2.1.2 – Вихідні дані до завдання 1

Номер варіанта	Назва забруднюючої речовини	Фактична концентрація, мг/м ³	ГДКм.р. мг/м ³	Оцінка (+) –задовільна (-) – незадов.
1	2	3	4	5
1	Ацетон	0,33		
	Фенол	0,009		
	Аміак	0,19		
2	Сірководень	0,007		
	Аміак	0,18		
	Азоту двоокис	0,2		

Продовження таблиці 2.1.2

1	2	3	4	5
3	Сірководень	0,006		
	Ангідрид сірчаний	0,45		
	Фенол	0,009		
4	Сірководень	0,005		
	Аміак	0,18		
	Формальдегід	0,034		
5	Ацетон	0,33		
	Фенол	0,009		
	Аміак	0,19		
6	Сірководень	0,007		
	Аміак	0,18		
	Азоту двоокис	0,2		
7	Сірководень	0,006		
	Ангідрид сірчаний	0,45		
	Фенол	0,009		
8	Сірководень	0,005		
	Аміак	0,18		
	Формальдегід	0,034		
9	Оксид вуглецю	4,8		
	Фенол	0,007		
	Ангідрид сірчаний	0,44		
10	Ацетон	0,33		
	Оксид свинцю	0,0009		
	Ангідрид сірчаний	0,39		
11	Ацетон	0,33		
	Фенол	0,009		
	Аміак	0,19		
12	Сірководень	0,007		
	Аміак	0,18		
	Азоту двоокис	0,2		

Продовження таблиці 2.1.2

1	2	3	4	5
13	Сірководень	0,006		
	Ангідрид сірчаний	0,45		
	Фенол	0,009		
14	Сірководень	0,005		
	Аміак	0,18		
	Формальдегід	0,034		
15	Ацетон	0,33		
	Оксид свинцю	0,0009		
	Ангідрид сірчаний	0,39		
16	Ацетон	0,33		
	Оксид свинцю	0,0009		
	Ангідрид сірчаний	0,39		
17	Аміак	0,17		
	Формальдегід	0,034		
	Ацетон	0,34		
18	Ангідрид сірчаний	0,47		
	Азоту двоокис	016		
	Сірководень	0,007		
19	Ацетон	0,29		
	Сірководень	0,007		
	Ангідрид сірчаний	0,48		
20	Аміак	0,18		
	Сірководень	0,008		
	Ацетон	0,32		
21	Ангідрид сірчаний	0,47		
	Сірководень	0,007		
	Фенол	0,008		
22	Аміак	0,17		
	Формальдегід	0,034		
	Ацетон	0,34		

Закінчення таблиці 2.1.2

1	2	3	4	5
23	Ангідрид сірчаний	0,47		
	Азоту двоокис	016		
	Сірководень	0,007		
24	Ацетон	0,29		
	Сірководень	0,007		
	Ангідрид сірчаний	0,48		
25	Аміак	0,18		
	Сірководень	0,008		
	Ацетон	0,32		

2.1.2 Контрольні запитання

1. Дайте визначення граничнодопустимої концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.
2. Дайте визначення максимально разової граничнодопустимої концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.
3. Дайте визначення середньодобової граничнодопустимої концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.
4. Які принципи залягають при затвердженні величин граничнодопустимих концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та в робочій зоні.
5. Поясніть, що таке ефект сумачії та як він враховується.
6. Що таке ОБРВ?
7. На який строк затверджуються ГДК(граничнодопустима концентрація) та ОБРВ (орієнтовно безпечний рівень дії)?
8. У яких одиницях вимірюються ГДК та ОБРВ?
9. Як визначається ГДК забруднюючої речовини в атмосферному повітрі рекреаційної зони?
10. Перелічіть категорії ГДК.

Змістовий модуль 2.2 Система контролю якості атмосферного повітря

2.2.1 Приклади рішення типових завдань та варіанти завдань до самостійної роботи студентів

Завдання 1. Виконати розрахунок статистичних характеристик рівня забруднення атмосферного повітря по даним спостережень на посту Харківського гідрометеоцентру для таких забруднюючих речовин: оксид вуглецю, ангідрид сірчаний та пил (вихідні дані подані у табл. 2.2.1):

- 1) середньоарифметичне значення, мг/м^3 (\bar{q});
- 2) середньоквадратичне відхилення концентрації від середньоарифметичного (σ);
- 3) коефіцієнт варіації (V);
- 4) індекс забруднення атмосфери окремою речовиною (I_i);
- 5) комплексний індекс забруднення атмосфери (I_n).

Таблиця 2.2.1 – Вихідні дані для розрахунку завдання 1

Забруднена. речовина	Концентрація, (q) мг/м^3									
	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1
Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33

Розрахунок \bar{q} виконується за формулою:

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^n q_i / n \quad (11)$$

де: n – кількість разових концентрацій.

Середньоквадратичне відхилення концентрації від середньоарифметичного (σ) розраховується за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 / (n - 1)} \quad (12)$$

Коефіцієнт варіації (V) розраховується за формулою:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}} \quad (13)$$

Індекс забруднення атмосфери окремою речовиною розраховується за формулою:

$$I_i = \left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{c.c.}} \right)^{c_i} \quad (14)$$

де c_i – константа, яка має значення залежно від класу небезпеки речовини: 1 кл. – 1,7; 2 кл. – 1,3; 3 кл. – 1,0; 4 кл. – 0,9. Ця константа дозволяє призвести ступінь шкідливості і-тої речовини до ступеню шкідливості діоксиду сірки.

Комплексний індекс забруднення атмосфери розраховується за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i \quad (15)$$

де n – кількість речовин, за якими розраховується індекс забруднення, I_i

Варіанти для розрахунків завдання 1 подано у таблиці 2.2.2. *Виконати розрахунок статистичних характеристик рівня забруднення атмосферного повітря по даним спостережень на посту Харківського гідрометеоцентру.*

Таблиця 2.2.2 – Вихідні дані для завдання 1

Номер варіанта	Забр. речовина	Концентрація, (q) мг/м ³									
		3									
1	2										
1	СО	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
2	СО	2,6	3,2	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,2	0,36	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,24	0,37	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
3	СО	2,6	3,2	1,85	4,6	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,4	0,39	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,61	0,37	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33

Продовження таблиці 2.2.2

1	2	3									
4	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,5	3,6	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,43	0,48	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,25	0,3	0,28	0,42	0,28	0,33
5	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,5	3,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,48	0,24	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,18	0,46	0,28	0,33
6	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
7	CO	2,5	3,2	1,95	4,7	2,8	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,48	0,35	0,26	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,23	0,45	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
8	CO	3,9	3,1	1,9	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,7	0,35	0,25	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,22	0,45	0,41	0,17	0,26	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
9	CO	3,3	3,1	1,8	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,7	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,37	0,46	0,41	0,17	0,26	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
10	CO	3,2	3,6	1,8	4,7	2,8	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,48	0,36	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,35	0,44	0,41	0,17	0,36	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
11	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
12	CO	2,6	3,2	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,2	0,36	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,24	0,37	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
13	CO	2,6	3,2	1,85	4,6	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,4	0,39	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,61	0,37	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
14	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,5	3,6	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,43	0,48	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,25	0,3	0,28	0,42	0,28	0,33

Продовження таблиці 2.2.2

1	2	3									
15	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,5	3,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,48	0,24	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,18	0,46	0,28	0,33
16	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
17	CO	2,5	3,2	1,95	4,7	2,8	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,48	0,35	0,26	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,23	0,45	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
18	CO	3,9	3,1	1,9	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,7	0,35	0,25	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,22	0,45	0,41	0,17	0,26	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
19	CO	3,3	3,1	1,8	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,7	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,37	0,46	0,41	0,17	0,26	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
20	CO	3,2	3,6	1,8	4,7	2,8	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,48	0,36	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,35	0,44	0,41	0,17	0,36	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
21	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
22	CO	2,6	3,2	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,2	0,36	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,24	0,37	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
23	CO	2,6	3,2	1,85	4,6	2,3	3,3	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,4	0,39	0,23	0,41	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,61	0,37	0,21	0,32	0,28	0,42	0,28	0,33
24	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,5	3,6	4,8	2,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,43	0,48	0,38	0,28	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,25	0,3	0,28	0,42	0,28	0,33
25	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,5	3,85	4,1	4,6
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,48	0,24	0,47	0,32
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,18	0,46	0,28	0,33

Закінчення таблиці 2.2.2

1	2	3									
26	CO	2,9	3,1	1,95	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,1	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,22	0,35	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
27	CO	2,5	3,2	1,95	4,7	2,8	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,48	0,35	0,26	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,23	0,45	0,41	0,17	0,21	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
28	CO	3,9	3,1	1,9	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,7	0,35	0,25	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,22	0,45	0,41	0,17	0,26	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
29	CO	3,3	3,1	1,8	4,7	2,3	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,7	0,35	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,37	0,46	0,41	0,17	0,26	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43
30	CO	3,2	3,6	1,8	4,7	2,8	3,3	4,8	2,85	4,9	4,1
	Пил	0,48	0,36	0,2	0,29	0,23	0,41	0,38	0,28	0,43	0,38
	SO ₂	0,35	0,44	0,41	0,17	0,36	0,32	0,28	0,42	0,38	0,43

Завдання 2. Виконати оцінку рівня забруднення атмосферного повітря у місті А та у місті Б, якщо концентрація забруднюючих речовин така:

Назва речовини	Концентрація (q), мг/м ³	
	Місто А	Місто Б
Свинець	0,00035	0,0003
Бензол	0,06	0,08
Азоту двоокис	0,045	0,035

Розв'язання завдання

Щодо виконання оцінки рівня забруднення повітря у містах А та Б, треба розрахувати комплексні індекси забруднення атмосфери (КІЗА, I_n) у місті А та у місті Б. КІЗА розраховується за формулою (11):

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i,$$

де I_i – індекс забруднення забруднюючою речовиною;

$$I_i = \left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{с.с.}} \right)^{c_i}$$

де c_i – константа, яка має значення залежно від класу небезпеки речовини: 1 кл. – 1,7; 2 кл. – 1,3; 3 кл. – 1,0; 4 кл. – 0,9. Ця константа дозволяє привести ступінь шкідливості і-тої речовини до ступеня шкідливості двоокису сірки.

1. Розрахунок I_i у місті А:

$$I_{\text{свинець}} = \left(\frac{0,00035}{0,0003}\right)^{1,7} = 1,0949; \quad I_{\text{бензол}} \left(\frac{0,06}{0,1}\right)^{1,3} = 0,675; \quad I_{\text{NO}_2} \left(\frac{0,045}{0,04}\right)^{1,3} = 1,0948.$$

Розрахунок I_i у місті Б:

$$I_{\text{свинець}} = \left(\frac{0,00035}{0,0003}\right)^{1,7} = 1; \quad I_{\text{бензол}} \left(\frac{0,08}{0,1}\right)^{1,3} = 0,842; \quad I_{\text{NO}_2} \left(\frac{0,035}{0,04}\right)^{1,3} = 0,902.$$

2. Розрахунок комплексного індексу забруднення атмосфери, I_n (КІЗА):

$$\text{місто А} - I_n = 1,0949 + 0,675 + 1,0948 = 2,8647;$$

$$\text{місто Б} - I_n = 1 + 0,842 + 0,902 = 2,744$$

Отже, значення КІЗА у місті А має більше значення, тому і рівень забруднення атмосферного повітря більший, ніж у місті Б.

2.2.2 Контрольні запитання

1. Поясніть, що таке моніторинг атмосферного повітря ?
2. Які бувають програми спостережень?
3. Перелічіть пости спостережень.
4. Дайте визначення параметра споживання повітря, $PВ_t$, $PВ_p$.
5. Перелічіть завдання, які вирішують автоматизовані системи контролю атмосферного повітря (АСКАП).
6. Дайте визначення індексу забруднення повітря окремою речовиною.
7. Поясніть, що таке комплексний індекс забруднення атмосфери.
8. Назвіть статистичні характеристики, які характеризують ступінь змінення концентрації забруднюючих речовин.

МОДУЛЬ 3 Основи утворення та процеси формування викидів в атмосферне повітря

Змістовий модуль 3.1 Забруднення атмосферного повітря об'єктами енергетики, розрахунок викидів та Змістовий модуль 3.2 Забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом, розрахунок викидів

Приклади рішення типових завдань та варіанти завдань до самостійної роботи студентів надано в окремих методичних вказівках (МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к курсовому проекту «ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ», Часть 2. Расчет выбросов в атмосферный воздух от энергетических установок и автотранспорта, ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2015).

Змістовий модуль 3.3 Забруднення атмосферного повітря промисловими підприємствами, розрахунок викидів.

3.3.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання 1. Розрахувати кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря за рік ливарним виробництвом під час виплавляння сталі у електродугових печах ємністю 12 т. Очищення від пилу дорівнює $\eta = 95\%$, від оксидів азоту $\eta = 30\%$. Процес плавлення – плавка легованої сталі. Кількість робочих днів за рік – 250.

Розв'язання завдання

Кількість викидів забруднюючих речовин визначається за формулою:

$$П = q \cdot \beta \cdot Д (1 - \eta) \cdot \tau, \quad (16)$$

q – питомий викид забруднюючої речовини, кг/т (визначається за таблицями № 2.21, 2.22[5]):

з таблиці: $q_{\text{пилу}} = 8,7$ кг/т; $q_{\text{co}} = 1,5$ кг/т; $q_{\text{NOx}} = 0,29$ кг/т;

β – коефіцієнт, який враховує умови плавлення, $\beta = 0,85$ (визначається за табл. № 2.23 [5]).

$Д$ – продуктивність плавильного агрегату, т/год. Для печі ємністю 12 т $Д = 3,42$ т/год;

η – ступінь очистки (%), або частки одиниці;

$$П_{\text{пилу}} = 8,7 \cdot 0,85 \cdot 3,42 \cdot (1 - 0,95) \cdot 6 \cdot 250 \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік};$$

$$П_{\text{co}} = 1,5 \cdot 0,85 \cdot 3,42 \cdot (1 - 0) \cdot 6 \cdot 250 \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік};$$

$$П_{\text{NOx}} = 0,29 \cdot 0,85 \cdot 3,42 \cdot (1 - 0,3) \cdot 6 \cdot 250 \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік}.$$

Варіанти до розрахунку завдання 1 подано у таблиці 3.3.1

Таблиця 3.3.1 – Вихідні дані до завдання 1

Номер варіанта	Вид плавильного агрегату	Продуктивність, т/годину або ємність, т	Назва металу, який виробляється	Вид плавки	Термін роботи обладнання: годин, днів/рік	Ступінь очистки, %
1	2	3	4	5	6	7
1	Відкрита вагранка	2	чавун	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{co}} - 90$, $\eta_{\text{пил}} - 85$
2	Відкрита вагранка	3	чавун	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{co}} - 85$ $\eta_{\text{пил}} - 90$
3	Відкрита вагранка	4	чавун	Використання кисню	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{co}} - 80$ $\eta_{\text{пил}} - 85$
4	Відкрита вагранка	5	чавун	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{co}} - 65$ $\eta_{\text{пил}} - 85$
5	Відкрита вагранка	7	чавун	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{co}} - 75$ $\eta_{\text{пил}} - 80$
6	Відкрита вагранка	10	чавун	Використання кисню	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{co}} - 75$ $\eta_{\text{пил}} - 85$

Продовження таблиці 3.3.1

1	2	3	4	5	6	7
7	Відкрита вагранка	15	чавун	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 65$ $\eta_{\text{пил}} - 85$
8	Відкрита вагранка	20	чавун	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 60$ $\eta_{\text{пил}} - 90$
9	Відкрита вагранка	25	чавун	Використання кисню	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 80$ $\eta_{\text{пил}} - 85$
10	Електродугова піч	0,5	сталь	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{пил}} - 85$
11	Електродугова піч	1,5	сталь	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 80$
12	Електродугова піч	3	сталь	Використання кисню	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{пил}} - 75$
13	Електродугова піч	5	сталь	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 85$
14	Електродугова піч	6	сталь	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 60$ $\eta_{\text{пил}} - 90$
15	Електродугова піч	10	сталь	Використання кисню	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 75$ $\eta_{\text{пил}} - 85$
16	Електродугова піч	12	сталь	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 90$
17	Електродугова піч	20	сталь	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{пил}} - 75$
18	Електродугова піч	25	сталь	Використання кисню	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 75$
19	Відкрита вагранка	2	чавун	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 90$, $\eta_{\text{пил}} - 85$
20	Відкрита вагранка	3	чавун	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 85$ $\eta_{\text{пил}} - 90$
21	Відкрита вагранка	4	чавун	Використання кисню	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 80$ $\eta_{\text{пил}} - 85$
22	Відкрита вагранка	5	чавун	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 65$ $\eta_{\text{пил}} - 85$
23	Відкрита вагранка	7	чавун	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 75$ $\eta_{\text{пил}} - 80$
24	Електродугова піч	0,5	сталь	Процес кислий	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{пил}} - 85$
25	Електродугова піч	1,5	сталь	Основний процес	14год/добу, 250днів	$\eta_{\text{CO}} - 80$

Завдання 2. Розрахувати кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря за рік під час ручного дугового зварювання. Кількість вико-

ристаних електродів складає 20 кг/зміну, марка електродів АНВ – 17, кількість робочих днів за рік – 250.

Розв'язання завдання

Кількість викидів визначається за формулою:

$$П = q \cdot m \cdot \tau, \quad (17)$$

де q – питомий викид забруднюючої речовини, г/кг електродів (визначається за табл. № 2.19 [5]), з таблиці: $q_{Fe_2O_3} = 11,98$ г/кг; $q_{MnO_2} = 0,71$ г/кг;

$$q_{Cr_2O_3} = 1,35 \text{ г/кг}; q_{SiO_2} = 1,43 \text{ г/кг}; q_{Ni_2O} = 0,72 \text{ г/кг}; q_{HF} = 2,7 \text{ г/кг};$$

$$q_{\text{Фторида доре розчинні/погано розчинні}} = 1,14/6,5 \text{ г/кг};$$

m – кількість використаних електродів, кг/зміну або за годину, або за рік

$$П_{Fe_2O_3} = 11,98 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік}$$

$$П_{MnO_2} = 0,71 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік і т.д.}$$

Варіанти для розрахунків завдання 2 подано у таблиці 3.3.2

Таблиця 3.3.2 – Вихідні дані до завдання 2

Номер варіанта	Вид зварювання металу	Кількість використаних електродів, кг	Термін виконання робіт
1	2	3	4
1	Ручне дугове (марка електродів АНО - 33)	15/зміну	2 зміни, 250 днів
2	Ручне дугове (марка електродів АНВ -17)	25/зміну	1 зміна, 250 днів
3	Ручне дугове (марка електродів Э48-М/18)	18/зміну	2 зміни, 250 днів
4	Ручне дугове (марка електродів АНП - 8)	19/зміну	1 зміна, 250 днів
5	Ручне дугове (марка електродів ЗА - 606/11)	28/зміну	2 зміни, 250 днів

Продовження таблиці 3.3.2

1	2	3	4
6	Ручне дугове (марка електродів АНО -33)	16/зміну	1 зміна, 250 днів
7	Ручне дугове (марка електродів АНВ -17)	22/зміну	2 зміни, 250 днів
8	Ручне дугове (марка електродів Э48-М/18)	23/зміну	1 зміна, 250 днів
9	Ручне дугове(марка електродів АНП - 8)	19/зміну	2 зміни, 250 днів
10	Ручне дугове (марка електродів ЗА - 606/11)	17/зміну	1 зміна, 250 днів
11	Ручне дугове (марка електродів АНО -33)	23/зміну	2 зміни, 250 днів
12	Ручне дугове (марка електродів АНВ -17)	21/зміну	1 зміна, 250 днів
13	Ручне дугове (марка електродів Э48-М/18)	15/зміну	2 зміни, 250 днів
14	Ручне дугове (марка електродів АНП -8)	25/зміну	1 зміна, 250 днів
15	Ручне дугове (марка електродів ЗА - 606/11)	18/зміну	2 зміни, 250 днів
16	Ручне дугове (марка електродів АНО -33)	19/зміну	1 зміна, 250 днів
17	Ручне дугове (марка електродів АНВ -17)	28/зміну	2 зміни, 250 днів
18	Ручне дугове (марка електродів Э48-М/18)	16/зміну	1 зміна, 250 днів
19	Ручне дугове (марка електродів АНП -8)	22/зміну	2 зміни, 250 днів
20	Ручне дугове (марка електродів ЗА - 606/11)	23/зміну	1 зміна, 250 днів
21	Ручне дугове (марка електродів АНО -33)	19/зміну	2 зміни, 250 днів
22	Ручне дугове (марка електродів АНВ -17)	17/зміну	1 зміна, 250 днів
23	Ручне дугове (марка електродів Э48-М/18)	23/зміну	2 зміни, 250 днів
24	Ручне дугове (марка електродів АНП -8)	21/зміну	1 зміна, 250 днів
25	Ручне дугове (марка електродів ЗА - 606/11)	19/зміну	2 зміни, 250 днів

Завдання 3. Розрахувати кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря за рік під час плазмового різання металу. Товщина листу складає 10 мм, довжина шва – 22 м / зміну, кількість робочих днів за рік – 250.

Розв'язання завдання

Кількість викидів визначається за формулою (17)

$$П = q \cdot m \cdot \tau$$

де q – питомий викид забруднюючої речовини, г/м довжини шву (визначається за табл. № 2.20 [5]), за таблицею: $q_{\text{пилу}} = 4,1$ г/м; $q_{\text{со}} = 1,4$ г/м; $q_{\text{Nox}} = 6,8$ г/м;

m – довжина шва, м;

$$П_{\text{пилу}} = 4,1 \cdot 22 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 0,0225 \text{ т/рік};$$

$$П_{\text{со}} = 1,4 \cdot 22 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 0,0077 \text{ т/рік};$$

$$П_{\text{Nox}} = 6,8 \cdot 22 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 0,0374 \text{ т/рік}.$$

Варіанти для розрахунків завдання 3 подано у таблиці 3.3.3.

Таблиця 3.3.3 – Вихідні дані до завдання 3

Номер варіанта	Вид різання	Довжина шву,м/зміну/товщина листа	Термін виконання робіт	Номер варіанта	Вид різання	Довжина шву,м/зміну/товщина листу	Термін виконання робіт
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Газове	10/5	2 зміни, 250 днів	14	Газове	25/10	1 зміна, 250 днів
2	Газове	20/10	1 зміна, 250 днів	15	Газове	10/15	2 зміни, 250 днів
3	Газове	15/15	2 зміни, 250 днів	16	Плазменне	22/10	1 зміна, 250 днів
4	Плазменне	12/10	1 зміна, 250 днів	17	Плазменне	19/14	2 зміни, 250 днів
5	Плазменне	18/14	2 зміни, 250 днів	18	Плазменне	24/20	1 зміна, 250 днів
6	Плазменне	25/20	1 зміна, 250 днів	19	Газове	15/5	2 зміни, 250 днів
7	Газове	15/5	2 зміни, 250 днів	20	Плазменне	25/20	1 зміна, 250 днів
8	Газове	25/10	1 зміна, 250 днів	21	Плазменне	18/14	2 зміни, 250 днів
9	Газове	10/15	2 зміни, 250 днів	22	Плазменне	12/10	1 зміна, 250 днів
10	Плазменне	22/10	1 зміна, 250 днів	23	Газове	15/15	2 зміни, 250 днів
11	Плазменне	19/14	2 зміни, 250 днів	24	Газове	20/10	1 зміна, 250 днів
12	Плазменне	24/20	1 зміна, 250 днів	25	Газове	10/5	2 зміни, 250 днів
13	Газове	15/5	2 зміни, 250 днів	–	–	–	–

Механічне оброблення металів

Завдання 4. Розрахувати кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря за рік внаслідок механічного оброблення металів, якщо у цеху працює:

- два токарних верстата, які охолоджуються емульсором, очищення від пилю складає 80 %(η);
- заточувальний верстат з діаметром круга $d = 300$ мм очищення від пилю складає 90 %(η);
- час роботи обладнання – 1 зміна / 6 годин, 250 днів на рік.

Розв'язання завдання

Кількість викидів визначається за формулою:

$$П = q (1 - \eta) \tau, \quad (18)$$

де q – питомий викид забруднюючої речовини, г/годину; мг/годину, визначається за таблицями № 2.28, 2.29 [5].

1. Кількість викидів від токарних верстатів, т/рік :

$$П_{\text{а.емульс.}} = 2 \cdot 88 \cdot (1 - 0) \cdot 6 \cdot 250 \cdot 10^{-9}$$

$$П_{\text{пил}} = 2 \cdot 4 \cdot (1 - 0,8) \cdot 6 \cdot 250 \cdot 10^{-6}$$

2. Кількість викидів від заточувального верстату:

$$П_{\text{пил SiO}_2} = 135 (1 - 0,9) \cdot 6 \cdot 250 \cdot 10^{-6}.$$

Усього: $П_{\text{а.емульс.}} = \dots$ т/рік; $П_{\text{пил}} = \dots$ т/рік; $П_{\text{пил SiO}_2} = \dots$ т/рік

Деревообробка

Завдання 5. Розрахувати кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря за рік виробництвом меблевої фабрики, якщо: у столярному цеху працюють два круглопильних верстати, один стругальний та два шліфувальних, очищення від пилу $\eta = 80\%$; $K_{\text{по}} = 0,85$; $K_{\text{смо}} = 0,9$. У цеху склеювання використовується смола ОФЖ-3011 у кількості $G_{\text{см}} = 0,9$ кг/годину; $K_2 = 0,6$; $K_3 = 0,75$. Під час оброблювання виробів використовується розчинник Р-5 у кількості $G_{\text{м}} = 0,5$ кг/годину. Кількість робочих змін – 250 на рік, тривалість зміни – 8 годин.

Розв'язання завдання

1. Кількість викидів пилу під час оброблення деревини визначається за формулою:

$$G = G_0 \cdot K_n \cdot K_{\text{смо}} \cdot (1 - K_{\text{по}}) \cdot \tau, \quad (19)$$

де G_0 – середньо-годинна кількість відходів пилу, кг/год., (табл. 2.34 [5]);

K_n – коефіцієнт вмісту пиловидних відходів (табл. 2.34 [5]);

$G_0 = 21$ кг/год, $K_n = 0,3$ – круглопиляльний станок;

$G_0 = 97$ кг/год, $K_n = 0,25$ – стругальний станок;

$G_0 = 4$ кг/год, $K_n = 0,95$ – шліфувальний станок.

Круглопиляльний станок, т/рік:

$$G_{\text{пил}} = 2 \cdot 21 \cdot 0,3 \cdot 0,9 \cdot (1 - 0,85) \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-3}$$

Стругальний станок, т/рік :

$$G_{\text{пил}} = 97 \cdot 0,25 \cdot 0,9 \cdot (1 - 0,85) \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-3}$$

Шліфувальний станок, т/рік :

$$G_{\text{пил}} = 2 \cdot 4 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot (1 - 0,85) \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-3}$$

Усього: $G_{\text{п}} = \dots$ т/рік

2. Кількість викидів під час склеювання:

$$G = G_{\text{см}} \cdot K_1 \cdot (1 - K_2) \cdot K_3 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \quad (20)$$

де K_1 – вміст формальдегіду, фенолу у складі смоли, залежить від марки смоли, (таблиця 2.35 [5]). $K_1 = 1,0\%$ – формальдегід; $K_1 = 2,5\%$ – фенол.

K_2 – кількість фенолу, формальдегіду, яка залишається у готовий продукції (виробництво меблів – $K_2 = 0,7$; виробництво ДСП – $K_2 = 0,6$; виробництво фанери – $K_2 = 0,5$);

K_3 – характерна кількість речовин, яка виділяється на відповідних виробничих ділянках. (Сушіння шпону – $K_3 = 0,75$; склад готової продукції – $K_3 = 0,01$);

$$G_{\text{форм}} = 0,9 \cdot 1,0 \cdot (1 - 0,6) \cdot 0,75 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{фенол}} = 0,9 \cdot 2,5 \cdot (1 - 0,6) \cdot 0,75 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік}.$$

3. Кількість викидів під час оброблювання:

$$G = 0,8 \cdot G_{\text{м}} \cdot K_{\text{к}} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \quad (21)$$

де $K_{\text{к}}$ – вміст розчинника, який входить до складу матеріалу, яким ведеться оброблювання (таблиця 2.36 [5]). Для ацетону $K_{\text{к}} = 30\%$; бутилацетату $K_{\text{к}} = 30\%$; ксилолу $K_{\text{к}} = 30\%$;

$$G_{\text{ацетон}} = 0,8 \cdot G_{\text{м}} \cdot K_{\text{к}} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{бутилацетат}} = 0,8 \cdot G_{\text{м}} \cdot K_{\text{к}} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік};$$

$$G_{\text{ксилол}} = 0,8 \cdot G_{\text{м}} \cdot K_{\text{к}} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік}.$$

Завдання 6. Розрахувати кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря за рік під час фарбування при нанесенні покриття пневмоелектричним розпилюванням. Частка розчинника у фарбі 50 %. Робота відбувається у дві зміни, кількість змін за рік – 250.

Розв'язання завдання

1. Кількість викидів аерозолі фарби визначається за формулою:

$$P_a = m_k \cdot \delta_a \cdot 10^{-2} \cdot \tau; P = 70 \cdot 3,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \text{ т/рік}; \quad (22)$$

2. Кількість викидів парів розчину під час нанесення покриття визначається за формулою:

$$P_p = m_k \cdot f_p \cdot \delta_p' \cdot 10^{-4} \cdot \tau; P_p = 70 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \text{ т/рік}; \quad (23)$$

3. Кількість викидів парів розчину під час сушіння визначається за формулою:

$$P_p = m_k \cdot f_p \cdot \delta_p'' \cdot 10^{-4} \cdot \tau; P_p = 70 \cdot 50 \cdot 80 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \text{ т/рік}; \quad (24)$$

3.3.2 Контрольні запитання

1. Наведіть перелік продуктів згоряння палива (вугілля) у котельні.
2. Наведіть перелік продуктів згоряння палива (мазута) у котельні.
3. Проаналізуйте технологічний процес лакофарбування з точки зору забруднення атмосферного повітря.
4. Дайте якісний склад викидів забруднюючих речовин атмосферне повітря від гальванопокриття.
5. Проаналізуйте технологічний процес зварювання та різання металів з точки зору забруднення атмосферного повітря.
6. Наведіть джерела забруднення атмосферного повітря автотранспортом.

МОДУЛЬ 4 Заходи щодо охорони атмосферного повітря та апарати сухого інерційного очищення газів

Змістовий модуль 4.1 Заходи щодо охорони атмосферного повітря

4.1.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання 1. Концентрація забруднюючої речовини на вході в апарат складає $C_1 = 5 \text{ г/м}^3$, на виході з апарату $C_2 = 100 \text{ мг/м}^3$ (умовно приймаємо відсутність підсосів та втрат повітря). Визначити коефіцієнт проскоку ($K_{\text{пр}}$) та ступінь очищення газів (η) від пилу.

Розв'язання завдання

$$\eta = 1 - \frac{c_1}{c_2} = 1 - \frac{0,1}{5} = 0,98 = 98\%, \quad (25) \quad K_{\text{пр}} = 1 - 0,98 = 0,02 = 2\%, \quad (26)$$

Варіанти для розрахунків завдання 1 подано у таблиці 4.1.1

Таблиця 4.1.1 – Вихідні дані до завдання 1

Номер варіанта	Конц. на вході, (C_1) , г/м^3	Конц. на виході, (C_2) , мг/м^3	Номер варіанта	Конц. на вході, (C_1) , г/м^3	Конц. на виході (C_2) , мг/м^3
1	2	3	4	5	6
1	5	350	14	20	250
2	10	350	15	25	250
3	15	350	16	30	250
4	20	350	17	35	250
5	25	350	18	40	250
6	30	350	19	45	250
7	35	350	20	50	250
8	40	350	21	55	250
9	45	350	22	60	250
10	50	350	23	65	250
11	5	250	24	70	250
12	10	250	25	75	250
13	15	250	26	80	250

Завдання 2. У таблиці 4.2.2 задано фракційний склад та фракційне очищення пилу. Визначити сумарний коефіцієнт очищення.

Таблиця 4.2.2 – Вихідні дані до завдання 2

d_p , мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
Φ , %	5	15	35	35	10
η , %	30	50	70	80	90

Розв'язання завдання

1. Сумарний коефіцієнт очищення визначається за формулою:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_1 \cdot \Phi_1 / 100 + \eta_2 \cdot \Phi_2 / 100 + \eta_3 \cdot \Phi_3 / 100; \quad (27)$$

$$\eta_{\Sigma} = 30 \cdot 5 / 100 + 50 \cdot 15 / 100 + 70 \cdot 35 / 100 + 80 \cdot 35 / 100 + 90 \cdot 10 / 100 = 0,705$$

4.1.1 Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняття нормативна санітарно-захисна зона (СЗЗ).
2. Перелічіть кількість класів небезпеки підприємств та які розміри СЗЗ їм відповідають.
3. Перелічіть, що може розташовуватися у межах нормативної СЗЗ.
4. Дайте пояснення, що таке розрахункова СЗЗ та які межі вона повинна займати відносно нормативної СЗЗ.
5. Поясніть сутність архітектурно-планувальних заходів.
6. Перелічіть заходи, які належать до інженерно-організаційних.
7. У яких випадках доцільно рекомендувати архітектурно-планувальні заходи?
8. Дайте визначення поняття ефективність роботи пилоуловлюючого апарату.
9. Дайте визначення поняття коефіцієнт проскока.
10. Перелічіть заходи з охорони атмосферного повітря.
11. Який параметр характеризує ефективність роботи апаратів очистки газів?
12. Дайте визначення поняття коефіцієнта очищення.

Змістовий модуль 4.2 Апарати сухого очищення газів

4.2.1 Приклади розв'язання типових завдань та варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання 1. Визначити найменший діаметр частки пилу, яка повністю уловлюється у пилоосаджувальній камері за такими даними: довжина $L = 3,2$ м; ширина $B = 1,8$ м; об'ємна витрата $Q_r = 8000$ м³/год.; щільність пилу $\rho_{\text{ч}} = 2500$ кг/м³; в'язкість газу $\mu_r = 18 \cdot 10^{-6}$ Па*с.

Розв'язання завдання

Розмір діаметра частки пилу розраховується за такою формулою:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu_r \cdot Q_r}{L \cdot B \cdot (\rho_r - \rho_g) \cdot g}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 8000 / 3600}{3,2 \cdot 1,8 \cdot 2500 \cdot 9,81}} = \text{мкм}, \quad (28)$$

Варіанти для розрахунків завдання 1 подано у таблиці 4.2.1

Таблиця 4.2.1– Вихідні дані до завдання 1

Номер варіанта	Довжина(L), м	Ширина(B), м	Об'ємна витрата(Q), м ³ /с	Щільність пилу(ρ), кг/м ³	В'язкість газу(μ), 10 ⁻⁶ Па*с
1	2	3	4	5	6
1	2	1,5	6000	2500	16,5
2	2,1	1,6	6100	2600	17
3	2,2	1,7	6200	2700	17,5
4	2,3	1,8	6300	2800	18,0
5	2,4	1,9	6400	2900	16,0
6	2,5	2,0	6500	3000	16,5
7	2,6	2,1	6600	3100	17
8	2,7	2,2	6700	3200	17,5
9	2,8	2,3	6800	3300	18,0
10	2,9	2,4	6900	3400	16,0
11	3,0	2,5	7000	3500	16,5
12	3,1	2,6	7100	3600	17
13	3,2	2,7	7200	2500	17,5
14	3,3	2,8	7300	2600	18,0
15	3,4	2,9	7400	2700	16,0
16	3,5	3,0	7500	2800	16,5
17	3,6	3,1	7600	2900	17
18	3,7	3,2	7700	3000	17,5
19	3,8	3,3	7800	3100	18,0
20	3,9	3,4	7900	3200	16,0
21	4,0	3,5	8000	3300	16,5
22	4,1	3,6	8100	3400	17
23	4,2	3,7	8200	3500	17,5
24	4,3	3,8	8300	3600	18,0

1	2	3	4	5	6
25	4,4	3,9	8400	2500	16,0
26	4,5	4,0	8500	2600	16,5
27	4,6	4,1	8600	2700	17
28	4,7	4,2	8700	2800	17,5
29	4,8	4,3	8800	2900	18,0
30	4,9	4,4	8900	3000	16,0

Завдання 2. Визначити гідравлічний опір(ΔP) циклону ЦН-15 при таких даних: об'ємна витрата $Q_r = 9000 \text{ м}^3/\text{годину}$; щільність газу $\rho_r = 1,25 \text{ кг/м}^3$, діаметр циклону $D = 0,9 \text{ м}$; концентрація на вході в циклон $C_1 = 150 \text{ г/м}^3$.

Розв'язання завдання

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho_s \cdot \omega_d^2}{2}; \quad (29) \quad \zeta = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \zeta_{500} + \kappa_3; \quad (30)$$

де κ_1 – поправка на діаметр циклону, $\kappa_1 = 1$ (довідник [2]);

κ_2 – поправка на запиленість газів, $\kappa_2 = 0,85$ (довідник [2]);

κ_3 – коефіцієнт, який враховує компоновку циклонів. Оскільки в завданні один циклон ЦН-15, приймаємо $\kappa_3 = 0$ (довідник [2]);

$\zeta_{500} = 155$ (довідник [2]).

$$\zeta = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \zeta_{500} + \kappa_3 = 1 \cdot 0,85 \cdot 155 + 0 = 131,75$$

$$\omega_d = \frac{Q_r}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{9000/366}{3/14 \cdot 0,9^2 / 4} = 3,93 \text{ м/с}$$

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho_s \cdot \omega_d^2}{2} = 131,75 \frac{1,25 \cdot 3,93^2}{2} = 1273,1 \text{ кПа}$$

Варіанти для розрахунків завдання 1 подано у таблиці 4.2.2.

Таблиця 4.2.2 – Вихідні дані до завдання 2

Номер варіанта	Q, м ³ /с	D, м	ρ_r , кг/м ³	C_1 , мг/м ³	№ вар.	Q, м ³ /с	D, м	ρ_r , кг/м ³	C_1 , мг/м ³
1	10000	0,4	1,11	10	16	10800	0,5	1,17	85
2	10100	0,5	1,12	15	17	10900	0,6	1,16	90
3	10200	0,6	1,13	20	18	11000	0,7	1,15	95
4	10300	0,7	1,14	25	19	11100	0,8	1,14	100
5	10400	0,8	1,15	30	20	11200	0,9	1,13	110
6	10500	0,9	1,16	35	21	11300	1,0	1,12	120
7	10600	1,0	1,17	40	22	10000	0,4	1,11	130
8	10700	0,4	1,18	45	23	10100	0,5	1,12	140
9	10800	0,5	1,17	50	24	10200	0,6	1,13	150
10	10900	0,6	1,16	55	25	10300	0,7	1,14	10
11	11000	0,7	1,15	60	26	10400	0,8	1,15	20
12	11100	0,8	1,14	65	27	10500	0,9	1,16	30
13	11200	0,9	1,13	70	28	10600	1,0	1,17	40
14	11300	1,0	1,12	75	29	11200	0,9	1,13	50
15	10700	0,4	1,18	80	30	11300	1,0	1,12	55

Завдання 3. Визначити найменший діаметр частки пилю (d_c), яка повністю уловлюється у циклоні за такими даними: діаметр циклону $D_2 = 1,0\text{м}$; ширина вхідного патрубку $b = 0,3\text{м}$, висота вхідного патрубку $a = 0,5\text{м}$; висота циліндричної частини циклону $H = 2,3\text{м}$; об'ємна витрата $Q_{\Gamma} = 10000 \text{ м}^3/\text{годину}$; щільність пилю $\rho_c = 2500 \text{ кг/м}^3$; в'язкість газу $\mu_{\Gamma} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Розв'язання завдання

Розмір часток пилю визначається за формулами:

$$d_c = \frac{3\sqrt{(R_2^2 - R_1^2)} \cdot \mu_{\Gamma}}{W_2 \sqrt{\rho_c} \cdot t}, \quad (31)$$

$$t = \frac{H}{W_u} \quad ; \quad W_o = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad ; \quad R_1 = R_2 - b; \quad R_2 = \frac{D_2}{2} \quad ; \quad W_2 = \frac{Q}{a \cdot b}$$

$$W_u = \frac{4 \cdot 10000 / 3600}{3,14 \cdot 1^2} = 3,54 \text{ м/с} \quad ; \quad R_2 = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ м} \quad ; \quad W_2 = \frac{10000 / 3600}{0,3 \cdot 0,5} = 18,5 \text{ м/с}$$

$$R_1 = 0,5 - 0,3 = 0,2 \text{ м}; \quad t = \frac{2,3}{3,54} = 0,65 \text{ с} \quad ;$$

$$d_c = \frac{3\sqrt{(R_2^2 - R_1^2)} \cdot \mu_{\Gamma}}{W_2 \sqrt{\rho_c} \cdot t} = \frac{3\sqrt{(0,5^2 - 0,2^2)} \cdot 22 \cdot 10^{-6}}{18,5 \sqrt{2500} \cdot 0,65} = 8,64 \text{ мкм}$$

4.2.2 Контрольні запитання

1. Поясніть, у чому полягають переваги та недоліки пилоосаджувальних камер.
2. За рахунок яких сил у циклоні уловлюється пил?
3. Дайте пояснення швидкості витання у пилоосаджувальній камері.
4. Від яких параметрів залежить ефективність очищення в циклоні?

Змістовий модуль 4.3 Фільтри, електрофільтри

4.3.1 Приклади рішення типових завдань та варіанти завдань

для самостійної роботи студентів

Завдання 1. Ідеальний пористий матеріал має порові канали $d = 0,25 \text{ мм}$, які розташовані у шаховому порядку. Відстань між осями отворів $a = 1 \text{ мм}$; об'ємна витрата повітря $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{с}$, площа поверхні фільтру $F = 25 \text{ м}^2$, тов-

щина фільтру $l = 1\text{ м}$. Визначити такі характеристики пористої перегородки: пористість (ε); щільність упакування (α); відносну поверхню порових каналів (S); швидкість фільтрації ($W\phi$); фактичну швидкість газу у поровому каналі (W).

Розв'язання завдання

1. Пористість визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{пор}}}{V} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{4 \cdot a^2 \cdot l} = \frac{3,14 \cdot (0,25 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2} = 0,049, \quad (32)$$

2. Щільність упаковки визначається за формулою:

$$\alpha = 1 - \varepsilon = 1 - 0,049 = 0,9509, \quad (33)$$

3) відносна поверхня порових каналів визначається за формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot d \cdot l \cdot n}{a^2 \cdot l \cdot n} = \frac{3,14 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}}{(1 \cdot 10^{-3})^2} = 785, \quad (34)$$

4) швидкість фільтрації ($W\phi$) визначається за формулою:

$$W\phi = Q/F = 1000/25 \cdot 3600 = 0,011\text{ м/с}, \quad (35)$$

5) фактична швидкість газу у поровому каналі (W) визначається за формулою:

$$W = W\phi/\varepsilon = 0,011/0,049 = 0,224\text{ м/с}, \quad (36)$$

Варіанти до розрахунку завдання 1 подано в таблиці 4.3.1

Таблиця 4.3.1 – Вихідні дані до завдання 1

Номер варіанта	d, мм	a, мм	Q, м ³ /год	F, м ²	Номер варіанта	d, мм	a, мм	Q, м ³ /год	F, м ²
1	0,2	0,8	1800	20	16	2,0	2,5	12000	20
2	0,1	0,6	2520	40	17	1,8	2,2	20000	20
3	0,5	2,5	3600	60	18	1,6	2,0	24000	60
4	0,1	0,06	4600	30	19	1,4	1,8	16000	60
5	0,3	1,2	6500	40	20	1,2	1,7	100000	120
6	0,1	0,5	8500	20	21	1,0	1,5	120000	120
7	0,2	0,5	7500	30	22	0,8	1,4	410000	200
8	0,3	0,7	4500	40	23	0,6	0,9	360000	200
9	0,4	0,8	5500	50	24	0,4	0,6	90000	60
10	0,5	1,5	6500	60	25	0,2	0,5	59000	60
11	0,6	1,6	8500	70	26	0,4	0,7	45000	80
12	0,7	1,0	9500	80	27	0,6	1,0	64000	80
13	0,8	1,2	10000	90	28	0,7	1,1	95000	110
14	0,9	2,7	9500	110	29	0,8	1,3	84000	110
15	1,0	2,5	10500	100	30	0,9	0,9	61000	60

Завдання 2. Визначити теоретичну ступінь очистки газів від часток пилу $d_p = 8$ мкм в електрофільтрі з такими характеристиками: довжина $L = 5,2$ м; напруженість електричного поля $E = 25 \cdot 10^4$ В/м, крок між однойменними електродами $2H = 0,28$ м; швидкість газів в активному перерізі $W = 1$ м/с; коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_r = 21 \cdot 10^{-6}$ Па*с.

Розв'язання завдання

Теоретичну ступінь очищення газів визначають за формулою:

$$\eta = 1 - \varepsilon^{-\frac{\varpi \cdot L}{\omega \cdot H}}, \quad (37)$$

$$\varpi = 0,118 \cdot 10^{-10} \frac{E^2 r_c}{\mu_r} = 0,118 \cdot 10^{-10} \frac{25^2 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{21 \cdot 10^{-6}} = 0,14 \text{ м/с}$$

$$\eta = 1 - \varepsilon^{-\frac{\varpi \cdot L}{\omega \cdot H}} = 1 - \varepsilon^{-\frac{0,14 \cdot 5,2}{1 \cdot 0,14}} = 0,994 = 99,4\%$$

4.3.1 Контрольні запитання

1. Дати визначення швидкості дрейфу часток пилу у електрофільтрі.
2. За рахунок яких механізмів фільтрації пил уловлюється у фільтрах?
3. Назвіть стадії процесу електрогазоочищення.
4. У чому полягають переваги та недоліки фільтрів?
5. У чому полягають переваги та недоліки електрофільтрів.
6. Перелічіть характеристики пористої перегородки.
7. Дайте визначення швидкості дрейфу в електрофільтрі.
8. Як впливає на ефективність очищення в електрофільтрі швидкість дрейфу часток пилу?

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Алиев Г. М. – А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. Справочное издание.– Москва : Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Граничнодопустимі концентрації і орієнтовні безпечні рівні діяння (ОБРД) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць, Український науковий центр технічної екології ОАО «УкрНТЕК», Донецьк, 2006. –133 с.
3. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами, Український науковий центр технічної екології ОАО «УкрНТЕК», том 1 – 3, Донецьк, 2004.
4. Конспект лекцій по дисципліне «Прикладная аэроэкология». Модуль 3. Основы образования и процессы формирования выбросов в атмосферный воздух (для студентов 3 курса дневной и 4 курса заочной форм обучения направления 6.040106 – Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование) / В. Е. Бекетов, Г. П. Евтухова, Ю. Л. Коваленко; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2015. –76 с.
5. Конспект лекцій із розділу МОДУЛЬ 1 «АТМОСФЕРА. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ» із курсу «Прикладна аероекологія» (для студентів 2 курсу денної форми навчання напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») / В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, Ю. Л. Коваленко; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2010 – 45 с.
6. Конспект лекцій по дисципліне Прикладная аэроэкология , модуль 4 «Аппараты сухой очистки газов» (для студентов 4-го курса (7 семестр) дневной и 4 курса (8 семестр) заочной форм обучения направления 6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование») / В. Е. Бекетов, Г. П. Евтухова. – Харьков : ХНУГХ, 2013. – 64 с.
7. Справочник по пыле- и золоулавливанию./ М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др. Под общ. ред. А. А. Русанова. 2–е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
8. Старк С. Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. – Москва : Металлургия, 1977. – 328 с.
9. Экология города : Учебник. / Под ред. Ф. В. Стольберга. – Київ : Либра, 2000.– 464 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи

з навчальної дисципліни

«ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ»

МОДУЛІ 1– 4

*(для студентів 2–4 курсів денної форми навчання за напрямом підготовки
6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване
природокористування)*

Укладачі: **БЕКЕТОВ** Володимир Єгорович,
ЄВТУХОВА Галина Петрівна,
КОВАЛЕНКО Юрій Леонідович

Відповідальний за випуск **Ф. В. Стольберг**

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2016, поз. 76 М

Підп. до друку 29.03. 2016
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 2,0
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rektorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.