

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ЗАХИСТ АТМОСФЕРИ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Методичні рекомендації до організації практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Захист атмосфери від забруднень» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, О. С. Ломакіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 53 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. В. Є. Бекетов,
ст. викл. Г. П. Євтухова,
ст. викл. О. С. Ломакіна

Рецензент

Ю. Л. Коваленко, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 1
від 26.08.2021*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 НОРМУВАННЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	5
1.1 Оцінка якості атмосферного повітря. Ефект сумачії	5
1.1.1 Практичне завдання № 1 Оцінка якості атмосферного повітря	5
1.2 Питання для самоконтролю.....	8
2 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	9
2.1 Статистичні характеристики забруднення атмосферного повітря	9
2.1.1 Практичне завдання № 2 Розрахунок статистичних характеристик рівня забруднення атмосфери.....	9
2.1.2 Типові розрахункові завдання.....	12
2.2 Організація спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні.....	13
2.2.1 Практичне завдання № 3 Розрахунок параметру використання повітря... ..	13
2.3 Порядок та програми спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні.....	16
2.3.1 Типові розрахункові завдання.....	16
2.4 Питання для самоконтролю.....	19
3 ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	20
3.1 Природоохоронні заходи.....	20
3.1.1 Типові розрахункові завдання.....	20
3.2 Апарати гравітаційної та інерційної очистки	22
3.2.1 Практичне завдання № 4 Розрахунок розміру часток пилу, які стовідсотково будуть вловлені в апараті	22
3.2.2 Типові розрахункові завдання.....	25
3.3 Фільтри. Електрофільтри.....	27
3.3.1 Практичне завдання № 5 Розрахунок характеристик поруватої перегородки фільтру.....	27
3.3.2 Практичне завдання № 6 Розрахунок теоретичного ступеня очистки електрофільтра.....	29
3.3.3 Типові розрахункові завдання.....	31
3.4 Фізичні основи мокрої очистки газів.....	33
3.4.1 Практичне завдання № 7 Фізичні основи мокрої очистки газів	33
3.4.2 Практичне завдання № 8 Енергетичний метод розрахунку. мокрих пиловловлювачів.....	35
3.4.3 Типові розрахункові завдання.....	37
3.5 Будова, принцип дії і основи розрахунку апаратів мокрої очистки газів	38
3.5.1 Практичне завдання № 9 Розрахунок форсуночних скрубєрів	38
3.5.2 Практичне завдання № 10 Розрахунок труби Вентурі	40
3.5.3 Практичне завдання № 11 Розрахунок апаратів ударно-інерційної та відцентрової дії.....	42
3.5.4 Практичне завдання № 12 Розрахунок барботажних пінних апаратів.....	46
3.5.5 Типові розрахункові завдання.....	47
3.6 Питання для самоконтролю.....	50
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	52

ВСТУП

Дисципліна «Захист атмосфери від забруднень», згідно з навчальним планом підготовки бакалавра, є фаховою вибірковою дисципліною і вивчається протягом одного семестру здобувачами денної та заочної форми навчання.

Метою вивчення дисципліни є формування у здобувачів теоретичних знань та практичних навичок в галузі нормування та контролю якості атмосферного повітря; використання методів і технологій очистки газів від домішок, необхідних при розв'язанні інженерних завдань, як підґрунтя для прийняття вірних проектних та технологічних рішень в галузі захисту атмосферного повітря.

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

Самостійна робота передбачає вивчення конспекту лекцій та додаткової літератури. Для контролю засвоєння матеріалу під час самостійної роботи після кожного змістового модуля наведені контрольні запитання.

Методичні рекомендації побудовані так:

1. Подається приклад розв'язання практичних завдань, що є засобом контролю, або теоретичні відомості, необхідні для їх розв'язання, а також вихідні дані для розрахунку завдань. Номер варіанта визначається згідно з номером здобувача за списком групи.

2. Подається приклад розв'язання типових завдань або теоретичні відомості, необхідні для їх розв'язання;

3. Подаються питання для самоконтролю щодо засвоєння теоретичного матеріалу за тематикою змістового модуля.

1 НОРМУВАННЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

1.1 Оцінка якості атмосферного повітря. Ефект сумачії

1.1.1 Практичне завдання № 1 Оцінка якості атмосферного повітря

Виконати оцінку рівня забруднення атмосферного повітря за наведеними даними (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку

Найменування забруднюючої речовини	Фактична концентрація, мг/м ³
Двоокис азоту	0,21
Ацетон	0,33
Двоокис сірки	0,47
Сірководень	0,0076

Для виконання оцінки необхідно :

а) заповнити графу ГДК. Якщо для речовини відсутнє значення ГДК, треба користуватися ОБРВ (тимчасовим санітарно-гігієнічним нормативом, який називається орієнтовно безпечний рівень впливу)

б) порівняти значення фактичної концентрації з її ГДК (гранично допустимою концентрацією) і поставити знак у графу «оцінка» (+) або (-).

Таблиця 1.2 – Оцінка стану атмосферного повітря

Найменування забруднюючої 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 ГДК – ставити (-).

в) врахувати ефект сумачії. Для цього з переліку речовин знайти групи сумачії і перевірити дотримання рівняння

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} \leq 1.$$

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

Розраховуємо коефіцієнт комбінованої дії згідно з рівняннями

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} \leq 1,$$

$$\frac{0,21}{0,2} + \frac{0,47}{0,5} = 1,99,$$

$$\frac{0,0076}{0,008} + \frac{0,47}{0,5} = 1,89.$$

За результатами розрахунку робимо висновок, що якість атмосферного повітря з урахуванням ефекту сумачії не відповідає нормативним вимогам.

Варіанти для розрахунків подано у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	Назва забруднюючої речовини	Фактична концентрація, мг/м ³	ГДК м. р. мг/м ³	Оцінка (+) – задовільна (-) – незадовільна
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		
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		

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5
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		
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	0,16		
	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 1.3

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		

1.2 Питання для самоконтролю

1. Подайте визначення гранично допустимої концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.
2. Подайте визначення максимально разової граничнодопустимої концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.
3. Подайте визначення середньодобової граничнодопустимої концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.
4. Принципи, що використовуються при затвердженні величин граничнодопустимих концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених міст та в робочій зоні.
5. Поясніть, що таке ефект сумації та як він враховується.
6. Що таке ОБРВ?
7. На який строк затверджуються ГДК (гранично допустима 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.

2 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1 Статистичні характеристики забруднення атмосферного повітря

2.1.1 Практичне завдання № 2 Розрахунок статистичних характеристик рівня забруднення атмосфери

Виконати розрахунок статистичних характеристик рівня забруднення атмосферного повітря по даним спостережень на посту Харківського гідрометеоцентру, а саме:

- середньоарифметичне значення, мг/м³ (\bar{q});
- середньоквадратичне відхилення концентрації від середньоарифметичного (σ);
- коефіцієнт варіації (V);
- індекс забруднення атмосфери окремою речовиною (I_i);
- комплексний індекс забруднення атмосфери (I_n).

Теоретичні відомості

Розрахунок \bar{q} виконується за формулою:

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^n q_i / n ,$$

де n – кількість разових концентрацій.

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

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

Коефіцієнт варіації (V) розраховується за формулою:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}} .$$

Індекс забруднення атмосфери окремою речовиною розраховується за формулою:

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

де c_i – константа, яка має значення залежно від класу небезпеки речовини.

Для 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 ступеню шкідливості діоксиду сірки.

Комплексний індекс забруднення атмосфери розраховується за формулою:

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

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

Варіанти для розрахунку подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	Забруднююча речовина	Концентрація, (q) мг/м ³									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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
4	СО	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	СО	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	СО	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

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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
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

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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

2.1.2 Типові розрахункові завдання

Завдання 1. Визначити комплексний індекс (КІЗА, I_n) забруднення атмосферного повітря чотирма речовинами, середньодобові концентрації q_i ($\text{мг}/\text{м}^3$) яких надано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання

Назва речовини	$q_i, \text{мг}/\text{м}^3$
Фенол	0,031
Бензол	0,08
NO ₂	0,045
SO ₂	0,052

Приклад розрахунку

КІЗА розраховується за формулою:

$$I_n = \sum I_i.$$

Індекс забруднення атмосфери окремою речовиною визначається за формулою:

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

Для виконання розрахунку КІЗА необхідно заповнити з додаткової літератури в таблиці 2.3 відповідні графи 3–5.

Таблиця 2.3 – Розрахунок КІЗА

Назва речовини	q_i , мг/м ³	ГДКс.д., мг/м ³	Клас небезпеки, КН	C_i	Індекс забруднення, I_i
Фенол	0,031	0,03	2	1,3	$I_{\text{фенол}} = \left(\frac{0,031}{0,03}\right)^{1,3} = 1,044$
Бензол	0,08	0,1	2	1,3	$I_{\text{бензол}} = \left(\frac{0,08}{0,1}\right)^{1,3} = 0,748$
NO ₂	0,045	0,04	2	1,3	$I_{\text{SO}_2} = \left(\frac{0,052}{0,05}\right)^1 = 1,165$
SO ₂	0,052	0,05	3	1	$I_{\text{NO}_2} = \left(\frac{0,045}{0,04}\right)^{1,3} = 1,04$
КІЗА					$= \sum I_i$

2.2 Організація спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні

2.2.1 Практичне завдання № 3 Розрахунок параметру використання повітря

Скласти перелік речовин, що підлягають контролю в першу чергу, для середніх концентрацій домішок.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані до розрахунку

Назва речовини	M_i , т/рік	ГДК _і с.с., мг/м ³	q_i , мг/м ³
ацетон	2,3	0,35	0,32
ксилол	1,7	0,2	0,33
толуол	1,4	0,6	0,65
ангідрид сірчистий (SO ₂)	1,8	0,05	0,4

Приклад розрахунку

Для складання переліку речовин, що підлягають контролю, визначають параметр використання повітря (ПВ). Це об'єм повітря, що є необхідним для розбавлення викидів i -ї речовини M_i до рівня концентрації q_i або до рівня ГДКі.

Визначають реальний параметр використання повітря PB_i ($m^3/рік$) та необхідний PB_{mi} за формулами:

$$PB_i = \frac{M_i}{q_i},$$

$$PB_{mi} = \frac{M_i}{ПДК_i},$$

де M_i – сумарна кількість викидів i -ї домішки від усіх джерел, розташованих на території міста, тис.т/рік;

q_i – концентрація i -ї домішки, встановлена за даними розрахунку або спостережень, mg/m^3 .

У разі, якщо $PB_{ти} > PB_i$, очікувана концентрація у повітрі може дорівнювати ГДК або перевищить її, тобто i -та домішка повинна контролюватися.

Знаходимо:

$$PB_{ац} = 2,3 : 0,32 = 7,18; \quad PB_{m ац} = 2,3 : 0,35 = 6,57;$$

$$PB_{ксил} = 1,7 : 0,33 = 5,15; \quad PB_{m ксил} = 1,7 : 0,2 = 8,5;$$

$$PB_{толуол} = 1,4 : 0,65 = 2,15; \quad PB_{m толуол} = 1,4 : 0,6 = 2,33;$$

$$PB_{SO_2} = 1,8 : 0,04 = 4,5; \quad PB_{TSO_2} = 1,8 : 0,05 = 36.$$

З розрахунку випливає, що контролювати потрібно всі речовини, крім ацетону у наступній послідовності: двоокис сірки, ксилол, толуол.

Варіанти для розрахунку завдання подано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	Назва речовини	M_i , т/рік	q_i , mg/m^3
1	2	3	4
1	ацетон	1,4	0,31
	ксилол	1,9	0,34
	толуол	0,4	0,65
2	ангідрид сірчастий (SO_2)	1,8	0,14
	оксиди азоту	2,14	0,1
	оксид вуглецю	2,8	2,9
3	пил	1,4	0,11
	оксиди азоту	0,1	0,09
	оксид вуглецю	3,2	3,6

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
4	ацетон	1,4	0,4
	ксилол	1,9	0,19
	толуол	0,4	0,56
5	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,06
	оксиди азоту	2,14	0,09
	оксид вуглецю	2,8	3,1
6	пил	1,4	0,14
	оксиди азоту	0,1	0,08
	оксид вуглецю	3,2	2,9
7	ацетон	1,4	0,36
	ксилол	1,9	0,3
	толуол	0,4	0,4
8	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,03
	оксиди азоту	2,14	0,05
	оксид вуглецю	2,8	2,8
9	пил	1,4	0,12
	оксиди азоту	0,1	0,03
	оксид вуглецю	3,2	2,7
10	ацетон	1,4	0,4
	ксилол	1,9	0,18
	толуол	0,4	0,71
11	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,04
	оксиди азоту	2,14	0,07
	оксид вуглецю	2,8	3,0
12	пил	1,4	0,12
	оксиди азоту	0,1	0,08
	оксид вуглецю	3,2	3,1
13	ацетон	1,4	0,4
	ксилол	1,9	0,18
	толуол	0,4	0,62
14	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,06
	оксиди азоту	2,14	0,05
	оксид вуглецю	2,8	2,7
15	пил	1,4	0,16
	оксиди азоту	0,1	0,05
	оксид вуглецю	3,2	3,1
16	ацетон	1,4	0,22
	ксилол	1,9	0,12
	толуол	0,4	0,76
17	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,06
	оксиди азоту	2,14	0,1
	оксид вуглецю	2,8	3,4
18	пил	1,4	0,13
	оксиди азоту	0,1	0,05
	оксид вуглецю	3,2	3,3
19	ацетон	1,4	0,43
	ксилол	1,9	0,1
	толуол	0,4	0,5

Закінчення таблиці 2.5

1	2	3	4
20	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,07
	оксиди азоту	2,14	0,05
	оксид вуглецю	2,8	2,2
21	пил	1,4	0,16
	оксиди азоту	0,1	0,03
	оксид вуглецю	3,2	2,7
22	ацетон	1,4	0,41
	ксилол	1,9	0,12
	толуол	0,4	0,5
23	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,07
	оксиди азоту	2,14	0,03
	оксид вуглецю	2,8	2,2
24	пил	1,4	0,14
	оксиди азоту	0,1	0,08
	оксид вуглецю	3,2	3,1
25	ангідрид сірчастий (SO ₂)	1,8	0,06
	оксиди азоту	2,14	0,09
	оксид вуглецю	2,8	3,1

2.3 Порядок та програми спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні

2.3.1 Типові розрахункові завдання

Завдання 1. Виконати оцінку рівня забруднення атмосферного повітря у місті А та у місті Б, за наступними значеннями середньорічної концентрації забруднюючих речовин (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Вихідні дані до завдання

Назва речовини	Концентрація (q), мг/м ³	
	Місто А	Місто Б
Свинець	0,000 35	0,000 3
Бензол	0,06	0,08
Азоту двоокис	0,045	0,035

Приклад розрахунку

Для 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:

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

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. Для кл. 1 – 1,7; кл. 2 – 1,3; кл. 3 – 1,0; кл. 4 – 0,9. Ця константа дозволяє призвести ступінь шкідливості і-тої речовини до ступеня шкідливості двоокису сірки.

Розрахунок I_i у місті А

$$I_{\text{свинець}} = \left(\frac{0,00035}{0,0003} \right)^{1,7} = 1,0949;$$

$$I_{\text{бензол}} = \left(\frac{0,06}{0,1} \right)^{1,3} = 0,675;$$

$$I_{\text{NO}_2} = \left(\frac{0,045}{0,04} \right)^{1,3} = 1,0948.$$

Розрахунок I_i у місті Б

$$I_{\text{свинець}} = \left(\frac{0,00035}{0,003} \right)^{1,7} = 1;$$

$$I_{\text{бензол}} = \left(\frac{0,08}{0,1} \right)^{1,3} = 0,842;$$

$$I_{\text{NO}_2} = \left(\frac{0,035}{0,04} \right)^{1,3} = 0,902.$$

Розрахунок комплексного індексу забруднення атмосфери, I_n (КІЗА)

місто А $I_n = 1,0949 + 0,675 + 1,0948 = 2,8647$;

місто Б $I_n = 1 + 0,842 + 0,902 = 2,744$

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

Завдання 2 Оцінити ступінь змінчивості концентрацій речовин в атмосферному повітря за результатами спостережень (табл. 2.7)

Таблиця 2.7 – Вихідні дані до завдання

Назва речовини	Концентрації, мг/м ³									
	Аміак	0,2	0,15	0,18	0,25	0,35	0,15	0,11	0,21	0,45
Оксид вуглецю	4,15	4,22	5,02	3,9	4,19	4,42	3,8	2,65	5,2	4,75

Теоретичні відомості

Для розв'язання завдання треба розрахувати для кожної речовини такі статистичні характеристики, як \bar{q} , σ , V . За результатами розрахунку ступінь змінчивості тієї речовини більша, у якої значення V більше. Розрахунок характеристик виконується за наступними формулами:

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^n q_i / n,$$

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

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}}.$$

Порядок виконання розрахунку:

- а) розрахуємо для аміаку та фенолу такі характеристики, як \bar{q} , σ , V ;
- б) порівнюємо значення коефіцієнтів варіації для двох речовин;
- в) робимо висновок, зважаючи на те, що ступінь змінчивості більша буде для тої речовини, в якої значення коефіцієнту варіації більше.

2.4 Питання для самоконтролю

1. Поясніть, що таке моніторинг атмосферного повітря ?
2. Які бувають програми спостережень?
3. Перелічіть пости спостережень.
4. Подайте визначення параметра споживання повітря, $PВ_t$, $PВ_p$.
5. Перелічіть завдання, які вирішують автоматизовані системи контролю атмосферного повітря (АСКАП).
6. Подайте 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.

3 ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

3.1 Природоохоронні заходи

3.1.1 Типові розрахункові завдання

Завдання 1. Розрахувати коефіцієнт ефективності системи пилогазоочистки (ступінь очищення) та коефіцієнт проскоку, якщо концентрація забруднюючої речовини до очищення складала 30 г/м^3 , а після $1,2 \text{ мг/м}^3$ (відсутні підсоси та втрати повітря).

Приклад розрахунку

Ступінь очищення забруднюючих речовин визначається за формулою:

$$\eta = 1 - \frac{C_{вих}}{C_{вх}},$$

де $C_{вих}$ – концентрація забруднюючої речовини після системи пилогазоочистки, мг/м^3 ;

$C_{вх}$ – концентрація забруднюючої речовини на вході до системи пилогазоочистки, мг/м^3 ;

$$\eta = 1 - \frac{C_{вих}}{C_{вх}} = 1 - \frac{1,2}{30} = 0,96 = 96 \% .$$

Завдання 2. Визначити, чи буде підприємство сплачувати штраф за викид в атмосферне повітря металевого пилу, якщо норматив викиду пилу затверджено в кількості $M_n = 0,145 \text{ т/рік}$. Об'ємна витрата газоповітряної суміші з джерела викиду складає $4500 \text{ м}^3/\text{год}$, ефективність очищення складає $\eta = 75 \%$; концентрація пилу до очищення $C_{вх} = 70 \text{ мг/м}^3$. Час роботи джерела викиду – зміна 1,8 годин, 250 робочих днів.

Приклад розрахунку

Користуючись формулою, можемо визначити концентрацію пилу після очищення:

$$\eta = 1 - \frac{C_{вих}}{C_{вх}} = 70(1 - 0,75) = 17,5 \text{ мг / м}^3,$$

Розрахуємо фактичний масовий викид пилу з джерела за рік:

$$M = C_{вих} \cdot \tau \cdot Q \cdot 10^{-9} = 17,5 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 4 \cdot 500 \cdot 10^{-9} = 0,157 \text{ т/рік}.$$

Висновок: підприємство буде сплачувати штраф, тому що фактичний викид (0,157 т/рік) перевищує норматив (0,145 т/рік).

Завдання 3. Визначити сумарний коефіцієнт очищення, якщо є дисперсний склад пилу та фракційна ступінь очищення у табличному вигляді (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до завдання

$d_r, \text{мкм}$	0–5	5–10	10–20	20–30	30–50
$\Phi, \%$	5	15	25	30	25
$\eta, \%$	10	20	50	60	80

Приклад розрахунку

Кількість викидів визначається за формулою:

$$\eta_{\Sigma} = \eta \cdot \Phi_1 + \eta \cdot \Phi_2 + \dots + \eta \cdot \Phi_n$$

або

$$\eta = \sum \eta_{\phi} \frac{\Phi_{\phi}}{100},$$

де η – фракційна ступінь очищення, %;

Φ – дисперсний склад, %.

$$\eta_{\Sigma} = (5 \cdot 10 + 15 \cdot 20 + 25 \cdot 50 + 30 \cdot 60 + 25 \cdot 80) / 100 = 54 \% = 0,54.$$

3.2 Апарати гравітаційної та інерційної очистки

3.2.1 Практичне завдання № 4 Розрахунок розміру часток пилу, які стовідсотково будуть вловлені в апараті

Завдання 1. В пилоосаджувальній камері довжиною 3м, висотою 2м, шириною 2,5 м очищують 10 000м³/годину запиленого повітря. Щільність пилу – 3 000 кг/м³, щільність газу – 1,2 кг/м³. Коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu = 18 \cdot 10^{-6}$ Па·с. Визначити найменший розмір часток пилу, який буде вловлено в пилоосаджувальній камері.

Приклад розрахунку

Найменший розмір часток пилу, який буде вловлено в пилоосаджувальній камері визначається за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu_2 Q_2}{LB(\rho_1 - \rho_2)g}}$$

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 10\,000 / 3600}{2,5 \cdot 3 \cdot (3000 - 1,2) \cdot 9,81}} = 6,386 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Варіанти для розрахунків подано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	L, м	H, м	B, м	Q, м ³ /год	ρ_1 , кг/м ³	ρ_2 , кг/м ³	μ , Па·с
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	2	2,4	7 000	1 250	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
2	4	2,7	3,2	5 000	2 700	1,28	$20 \cdot 10^{-6}$
3	5	3,3	4	20 000	4 200	2,7	$20 \cdot 10^{-6}$
4	6	4	4,8	25 000	4 500	1,4	$20 \cdot 10^{-6}$
5	7	4,7	5,6	12 000	1 500	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
6	8	5,3	6,4	10 000	1 250	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
7	9	6,0	7,2	15 000	2 700	1,28	$20 \cdot 10^{-6}$

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
8	10	6,7	8	16 000	1 200	2,7	$20 \cdot 10^{-6}$
9	11	7,3	8,8	17 000	4 500	1,4	$20 \cdot 10^{-6}$
10	12	8	9,6	18 000	1 500	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
11	13	8,7	10,4	19 000	1 250	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
12	14	9,3	11,2	20 000	2 700	1,28	$20 \cdot 10^{-6}$
13	15	10	12	22 000	4 200	2,7	$20 \cdot 10^{-6}$
14	4	3,1	4	7 000	4 500	1,4	$20 \cdot 10^{-6}$
15	5	3,8	5	5 000	1 500	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
16	6	4,6	6	20 000	1 250	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
17	7	5,4	7	25 000	2 700	1,28	$20 \cdot 10^{-6}$
18	8	6,2	8	12 000	4 200	2,7	$20 \cdot 10^{-6}$
19	9	6,9	9	10 000	4 500	1,4	$20 \cdot 10^{-6}$
20	10	7,7	10	15 000	1 500	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
21	11	8,5	11	16 000	1 250	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
22	12	9,5	12	17 000	2 700	1,28	$20 \cdot 10^{-6}$
23	13	10	13	18 000	4 200	2,7	$20 \cdot 10^{-6}$
24	14	10,8	14	19 000	4 500	1,4	$20 \cdot 10^{-6}$
25	15	11,5	15	20 000	1 500	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$

Завдання 2. Визначити найменший розмір часток пилу (d_p), який може бути вловлено на 100 % в циклоні.

Вихідні дані: діаметр циклона $D_2 = 1,1$ м, висота циліндричної частини циклона $H_{\text{ц}} = 2,5$ м, висота вхідного патрубку $v = 0,75$ м, ширина вхідного патрубку $a = 0,25$ м, щільність пилу $3\,500$ кг/м³, об'ємна витрата газу, який очищується $Q_{\text{г}} = 15\,000$ м³/год, коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_{\text{г}} = 21 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Приклад виконання розрахунку

Найменший розмір часток пилу, який буде вловлено в циклоні, визначається за формулою:

$$d_u = \frac{3\sqrt{(R_2^2 - R_1^2)\mu_g}}{W\sqrt{\rho_p t}},$$

$$W = Q_g/F,$$

де F – площа перетину вхідного патрубку, м²;

R_2 – радіус циліндричної частини циклону, м;

R_1 – радіус внутрішньої труби циклону, м;

t – час, за який тверда частинка проходить циліндричну частину циклону, с

$$t = H_y / W_y,$$

де W_y – швидкість газу в циліндричній частині циклону.

$$F = a \cdot v = 0,25 \cdot 0,75 = 0,187 \text{ м}^2,$$

$$R_2 = D_2 / 2 = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ м},$$

$$R_1 = R_2 - a = 0,55 - 0,25 = 0,3 \text{ м},$$

$$W_y = Q \cdot 4 / \pi D^2 = 3500 \cdot 4 / 3,14 \cdot 1,1^2 \cdot 3600 = 0,438 \text{ м/с},$$

$$t = H_y / W_y = 2,5 / 0,438 = 5,7 \text{ с}.$$

Таким чином, усі параметри знайдені і можна розрахувати найменший розмір часток пилу d_r .

Варіанти для розрахунків подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	D, м	H, м	a, м	v, м	ρ_c , кг/м ³	Q, м ³ /год	μ_r , Па·с
1	1	1,5	0,66	0,2	3 500	13 000	$20 \cdot 10^{-6}$
2	1,2	1,8	0,79	0,24	3 500	13 500	$20 \cdot 10^{-6}$
3	1,3	1,95	0,86	0,26	2 500	15 000	$20 \cdot 10^{-6}$
4	1,4	2,1	0,92	0,28	2 500	16 000	$20 \cdot 10^{-6}$
5	1,5	2,25	0,99	0,3	3 500	28 000	$20 \cdot 10^{-6}$
6	1,6	2,4	1,06	0,32	3 500	22 000	$20 \cdot 10^{-6}$
7	1,7	2,55	1,12	0,34	3 500	32 000	$20 \cdot 10^{-6}$
8	1,8	2,7	1,19	0,36	2 500	30 000	$20 \cdot 10^{-6}$
9	1,9	2,85	1,25	0,38	2 500	26 000	$20 \cdot 10^{-6}$
10	2	3	1,32	0,4	3 500	45 000	$20 \cdot 10^{-6}$
11	1	1,5	0,66	0,2	3 500	12 000	$20 \cdot 10^{-6}$
12	1,2	1,8	0,79	0,24	3 500	13 000	$20 \cdot 10^{-6}$
13	1,3	1,95	0,86	0,26	2 500	15 000	$20 \cdot 10^{-6}$
14	1,4	2,1	0,92	0,28	2 500	20 000	$20 \cdot 10^{-6}$
15	1,5	2,25	0,99	0,3	3 500	25 000	$20 \cdot 10^{-6}$
16	1,6	2,4	1,06	0,32	3 500	29 000	$20 \cdot 10^{-6}$
17	1,7	2,55	1,12	0,34	3 500	31 500	$20 \cdot 10^{-6}$
18	1,8	2,7	1,19	0,36	3 000	30 000	$20 \cdot 10^{-6}$
19	1,9	2,85	1,25	0,38	2 500	32 000	$20 \cdot 10^{-6}$
20	2	3	1,32	0,4	3 500	37 000	$20 \cdot 10^{-6}$
21	0,5	0,75	0,33	0,1	3 500	2 000	$20 \cdot 10^{-6}$
22	0,7	1,05	0,46	0,14	3 500	3 500	$20 \cdot 10^{-6}$

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
23	0,9	1,35	0,59	0,18	2 500	8 000	$20 \cdot 10^{-6}$
24	1,1	1,65	0,73	0,22	2 500	13 000	$20 \cdot 10^{-6}$
25	1,3	1,95	0,86	0,26	3 500	20 000	$20 \cdot 10^{-6}$

3.2.2 Типові розрахункові завдання

Завдання 1. Визначити гідравлічний опір (ΔP) циклону ЦН – 11. Витрата газу складає $11\,000\text{ м}^3/\text{год}$, діаметр циклону – $1,0\text{ м}$; щільність газу $\rho_r = 1,15\text{ кг/м}^3$, запиленість газу $C_1 = 150\text{ г/м}^3$.

Приклад розрахунку

1. Гідравлічний опір циклону визначається за формулою:

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho W_0^2}{2}.$$

Визначаємо дійсну швидкість газу в циклоні:

$$W_0 = \frac{Q_z \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{11\,000 \cdot 4}{3,14 \cdot 1^2} = 3,89\text{ м/с}.$$

Визначаємо коефіцієнт гідравлічного опору за формулою:

$$\zeta = K_1 K_2 \zeta_{500} + K_3,$$

де ζ_{500} – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона діаметром 500 мм і більш; для ЦН-11 приймаємо з допоміжних таблиць значення $\zeta_{500} = 245$;

K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклона, для ЦН-11 приймаємо з таблицею 3.4 значення $K_1 = 1$;

K_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газу, приймаємо з таблицею 3.5 значення $K_2 = 0,85$ для $C_1 = 150\text{ г/м}^3$;

K_3 – поправочний коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску, які пов'язані з компоновкою циклонів в групі, $K_3 = 0$ для одиночного циклону; $K_3 = 35$ для групового компонування.

$$\zeta = 1 \cdot 0,85 \cdot 245 = 208,25.$$

3. Визначаємо гідравлічний опір циклону:

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho W_0^2}{2} = 208,25 \frac{1,15 \cdot 3,89^2}{2} = 1812 \text{ Па.}$$

Таблиця 3.4 – Поправочний коефіцієнт K_1 на діаметр циклона

D, мм	Марка циклону		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

Примітка. Якщо діаметр циклону більший за 500 мм, значення коефіцієнту приймається 1.

Таблиця 3.5 – Поправочний коефіцієнт K_2 на запиленість газів (D = 500 мм)

Марка циклона	Запиленість 10^3 , кг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	–	–	–

Завдання 2. Визначити сумарний ступінь очищення газу від пилу в установці двоступеневої очистки. Перший ступінь – інерційний пиловловлювач, який забезпечує ефективність очищення 70 %, другий ступінь – циклон ЦН-15. Параметри пилу, що потрапляє в циклон: $d_m = 10,3$ мкм, $l_q \sigma_{\text{ч}} = 0,3$; $d_{50} = 6$ мкм, $l_q \sigma_{\eta} = 0,4$.

Приклад розрахунку

Сумарний ступінь очистки визначається за формулою:

$$\eta_{\Sigma} = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n),$$

де η_2 – ефективність очистки апарату ЦН-15.

Для визначення $\Phi(x)$ необхідно попередньо розрахувати параметр x за формулою:

$$x = \frac{\lg(d_m / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\epsilon}} = \frac{\lg 50 / 10}{\sqrt{0,8^2 + 0,5^2}} = 0,74.$$

За таблицею для параметра $x = 0,74$ знаходимо $\Phi(x) = 0,7703$ і визначаємо ступінь очистки η_2 за таким співвідношенням:

$$\eta_2 = \frac{1}{2}[\Phi(x) + 1] = \frac{1}{2}[0,7703 + 1] = 0,885.$$

Визначаємо сумарний ступінь очистки:

$$\eta_\Sigma = 1 - (1 - 0,7)(1 - 0,885) = 0,9655 = 96,5\%.$$

3.3 Фільтри. Електрофільтри

3.3.1 Практичне завдання № 5 Розрахунок характеристик поруватої перегородки фільтру

Ідеальний пористий матеріал має циліндричні порові канали $d = 0,25$ мкм, які розташовані рівномірно. Відстань між вісями отворів $a = 1,0$ мм. Витрата повітря, яке фільтрується, $Q = 1\,000$ м³/годину, площа поверхні фільтра 25 м², товщина – 0,1 м. Визначити характеристики фільтруючого матеріалу (ϵ , α , s , W_ϕ , W).

Приклад розрахунку

Поруватість (ϵ) дорівнює співвідношенню порового простору (обсягу пор) між твердими непроникними елементами пористого середовища до загального обсягу, який займає пористе середовище.

Поруватість є основною характеристикою поруватої перетинки та визначається за формулою:

$$\epsilon = \frac{V_{\text{пор}}}{V} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{l}{a^2 \cdot l} = \frac{(0,25 \cdot 10^{-3})^2}{4(10^{-3})^2} = 0,0491 = 0,05.$$

Щільність упаковки (α) – величина обсягу твердих елементів фільтруючої перетинки, що міститься в одиниці об'єму пористого середовища.

$$\alpha = \frac{V_m}{V} = 1 - \varepsilon = 1 - 0,05 = 0,95.$$

Відносна поверхня порових каналів (S) – це сумарна поверхня порових каналів в одиниці об'єму фільтруючого матеріалу:

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

Швидкість фільтрації (w_ϕ) – умовна швидкість, що дорівнює відношенню об'ємної витрати газу, що проходить через фільтр, до повної площі фільтруючої перетинки:

$$w_\phi = \frac{Q_z}{F} = \frac{1000}{3600 \cdot 25} = 0,011 \text{ м/с}.$$

Фактична швидкість газу в поровому каналі перевищує швидкість фільтрації та залежить від поруватості фільтруючої перетинки:

$$w = \frac{Q_z}{\varepsilon F} = \frac{w_\phi}{\varepsilon} = \frac{0,011}{0,05} = 0,224 \text{ м/с}.$$

Варіанти для розрахунків подано в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	Діаметр порового каналу, 10^4 м	Проміжок між осями отворів, 10^4 м	Витрата повітря, $\text{м}^3/\text{год}$	Площа поверхні фільтра, м^2
1	2	3	4	5
1	2	8	1 800	20
2	1	6	2 520	40
3	5	25	3 600	60
4	1	6	4 600	30
5	3	12	6 500	40
6	1	5	8 500	20
7	2	5	7 500	30
8	3	7	4 500	40
9	4	8	5 500	50
10	5	15	6 500	60
11	6	16	8 500	70

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
12	7	10	9 500	80
13	8	12	10 000	90
14	9	27	9 500	110
15	10	25	10 500	100
16	20	25	12 000	20
17	18	22	20 000	20
18	16	20	24 000	60
19	14	18	16 000	60
20	12	17	100 000	120
21	10	15	120 000	120
22	8	14	410 000	200
23	6	9	360 000	200
24	4	6	90 000	60
25	2	5	59 000	60

3.3.2 Практичне завдання № 6 Розрахунок теоретичного ступеня очистки електрофільтра

Визначити теоретичний ступінь очистки для пластинчатого електрофільтра для часток діаметром 6 та 1 мкм. Напруженість електричного поля $E = 25 \cdot 10^4$ В/м; шаг між однойменними електродами $2H = 0,275$ м; швидкість газів в активному перетині $W = 2$ м/с ; довжина активної зони $L = 4$ м; коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_r = 21 \cdot 10^{-6}$ Па·с. У розрахунку поправку Кеннингема прийняти $A=1$, $\lambda = 10^{-7}$ м.

Теоретичні відомості

Для часток пилу розміром $d_p > 1$ мкм швидкість дрейфу розраховуємо за формулою:

$$\omega = 0,118 \cdot 10^{-10} \frac{E^2 r_p}{\mu},$$

де r_p – радіус частки пилу, що дорівнює $d_p/2$, мкм.

Для часток пилу з розміром $d_p \leq 1 \mu\text{м}$, швидкість дрейфу розраховуємо за формулою:

$$\omega = 0,17 \cdot 10^{-11} \frac{EC_k}{\mu},$$

де C_k – поправка Кеннінгема – Міллікена:

$$C_k = 1 + (A\lambda/r),$$

де $A = 0,815 - 1,63$ (чисельний коефіцієнт), у розрахунку значення A приймаємо $= 1$;

λ – довжина середнього вільного пробігу молекул газу, м ($\lambda = 10^{-7}$ м).

Парціальна ефективність пластинчастого електрофільтра визначається за формулою:

$$\eta_n = 1 - e^{-\frac{2\omega L}{WR}},$$

где ω – швидкість дрейфу часток, м/с:

W – швидкість газу в активному перетині, м/с;

L – активна зона електрофільтра, м;

H – відстань між коронуючим електродом та пластинчастим осаджувальним електродом, м.

Варіанти для розрахунків подано в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Вихідні дані до розрахунку

Варіант	d_{q1} , мкм	d_{q2} , мкм	E , В/м	$2H$, м	W , м/с	L , м
1	2	3	4	5	6	7
1	8	0,2	250 000	0,275	1,2	4
2	4	0,3	250 000	0,275	0,8	5
3	2	0,4	230 000	0,275	0,6	8
4	6	0,6	200 000	0,35	1,2	6
5	2	0,8	350 000	0,275	0,5	5,5
6	1	0,7	450 000	0,285	1,2	4,5
7	6	0,6	250 000	0,275	1,2	4
8	2	0,5	250 000	0,275	0,8	5
9	1,5	0,4	230 000	0,275	0,6	8
10	8	0,3	200 000	0,35	1,2	6

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7
11	2	0,2	350 000	0,275	0,5	5,5
12	2	0,2	450 000	0,275	0,8	6
13	3	0,4	400 000	0,275	0,8	4
14	5	0,5	450 000	0,285	1,2	4,5
15	6	0,4	250 000	0,275	1,2	4
16	2	0,2	250 000	0,275	0,8	5
17	1	0,6	230 000	0,275	0,6	8
18	8	0,9	200 000	0,35	1,2	6
19	2	0,6	350 000	0,275	0,5	5,5
20	1,5	0,2	450 000	0,275	0,8	6
21	1,1	0,4	400 000	0,275	0,8	4
22	1,7	0,5	450 000	0,285	1,2	4,5
23	6	0,6	250 000	0,275	1,2	4

3.3.3 Типові розрахункові завдання

Завдання 1. В електрофільтр, який має 4 осаджувальних електроди з розмірами $h = 3$ м (висота осаджувального електрода); $L = 6$ м (довжина осаджувального електрода) потрапляє запилений газ з об'ємною витратою $Q_r = 20\,000$ м³/год. Швидкість дрейфу часток пилу в електростатичному полі електрофільтру $\omega = 1$ см/с. Визначити теоретичний ступінь очистки.

Теоретичні відомості

Теоретичний ступінь очистки газів для пластинчатого електрофільтру розраховується за формулою:

$$\eta_n = 1 - e^{-\frac{\omega L}{WH}},$$

де ω – швидкість дрейфу, м/с;

W – швидкість газу в електрофільтрі, м/с;

L – довжина активної зони, тобто довжина осаджувального електрофільтру, м;

H – шаг між різнойменними електродами, м.

Також теоретичний ступінь очистки газів можна визначити за формулою:

$$\eta_n = 1 - e^{-wf},$$

де f – питома поверхня осадження;

$$f = \frac{S}{Q} = \frac{Lh}{WHh} = \frac{L}{WH};$$

де S – площа поверхні осадження осаджувальних електродів;

Q – об'ємна витрата газів, м³/с;

Завдання 2. Визначити теоретичний ступінь очистки газів від часток пилу діаметром $d_q = 8$ мкм у електрофільтрі з наступними характеристиками: напруженість електричного поля – $25 \cdot 10^4$ В/м; шаг між однойменними електродами $2H = 0,275$ м; швидкість газів в активному перетині – 1 м/с; довжина активної зони $L = 5$ м; коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu = 21 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Приклад розрахунку

1. Теоретичний ступінь очистки газів розраховується за формулою:

$$\eta_n = 1 - e^{-\frac{\omega L}{WH}},$$

де ω – швидкість дрейфу, м/с, для часток пилу розміром $d_q > 1$ мкм:

$$w = 0,118 \cdot 10^{-10} \frac{E^2 r_q}{\mu},$$

де r_q – радіус частки пилу дорівнює $d_q/2 = 4$ мкм;

$$w = 0,118 \cdot 10^{-10} \frac{E^2 r_q}{\mu} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(25 \cdot 10^4)^2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{21 \cdot 10^{-6}} = 0,14 \text{ м/с.}$$

2. Розрахуємо теоретичний ступінь очистки:

$$\eta_n = 1 - e^{-\frac{\omega L}{WH}} = 1 - e^{-\frac{0,145}{10,137}} = 1 - e^{-5,109} = 0,994 \text{ \%}.$$

3.4 Фізичні основи мокрої очистки газів

3.4.1 Практичне завдання № 7 Фізичні основи мокрої очистки газів

Визначити кількість часток пилу, вловлених в апараті мокрої очистки газів за певний проміжок часу. Коефіцієнт захвату – 0,75, діаметр крапель 0,1 мм, швидкість газу – 14 м/с, швидкість крапель – 4,8 м/с, запиленість – $2,1 \cdot 10^7$ од/м³, період часу – 30 с.

Теоретичні відомості

Кількість часток, що вловлюється за одиницю часу при розпилуванні обсягу води, визначають за формулою (од/с):

$$N_t = \eta_z \frac{\pi d_k^2}{4} \omega_o z,$$

де η_z – коефіцієнт захвату;

d_k – діаметр краплі води, м;

ω_o – відносна швидкість рідини й газу, м/с;

z – запиленість газу, од/м³.

Відносна швидкість рідини і газу визначається залежно від того, як рухаються краплі води й пилу відносно одна одної.

У разі однонаправленого руху (газ і краплі рухаються в одному напрямку) $\omega_o = \omega_n - \omega_g$.

У разі різнонаправленого руху (газ і краплі рухаються назустріч одне одному) $\omega_o = \omega_n + \omega_g$.

Для розрахунку кількості вловлених часток за період часу необхідно знайти добуток з кількості часток N_t , вловлених за одиницю часу на загальний час пилоловлювання τ .

Таблиця 3.8 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	Напрямок руху	η_z	d_k , мм	$\omega_{п}$, м/с	$\omega_{в}$, м/с	z , од/м ³	τ , с
1	Різонаправлений рух	0,92	0,1	25,0	5,0	1,5E + 07	45
2		0,75	0,1	25,0	5,0	1,0E + 08	15
3		0,95	1,0	12,0	3,5	1,8E + 06	10
4		0,85	1,0	15,0	6,2	2,0E + 05	25
5		0,80	1,0	10,5	5,8	3,5E + 05	10
6		0,65	1,0	12,8	4,0	4,6E + 06	20
7		0,75	0,1	14,0	4,8	2,1E + 07	30
8		0,68	0,2	16,0	3,5	3,2E + 06	40
9		0,58	0,5	12,5	2,6	1,2E + 06	60
10		0,75	1,0	18,0	5,5	8,5E + 04	80
11		0,60	1,0	25,0	3,5	7,7E + 05	45
12		0,65	1,5	22,0	4,2	5,6E + 03	80
13		0,78	1,5	18,0	1,9	5,5E + 04	30
14		0,92	0,8	9,8	5,5	2,1E + 04	300
15		0,75	0,9	13,0	6,8	9,5E + 05	10
16	Однонаправлений рух	0,68	0,2	16,0	3,5	3,2E + 06	40
17		0,58	0,5	12,5	2,6	1,2E + 06	60
18		0,75	1,0	18,0	5,5	8,5E + 04	80
19		0,60	1,0	25,0	3,5	7,7E + 05	45
20		0,65	1,5	22,0	4,2	5,6E + 03	80
21		0,78	1,5	18,0	1,9	5,5E + 04	30
22		0,92	0,8	9,8	5,5	2,1E + 04	300
23		0,75	0,9	13,0	6,8	9,5E + 05	10
24		0,92	0,1	25,0	5,0	1,5E + 07	45
25		0,75	0,1	25,0	5,0	1,0E + 08	15

3.4.2 Практичне завдання № 8 Енергетичний метод розрахунку мокрих пиловловлювачів

Визначити запиленість очищеного газу від мартенівської печі, що працює на повітряному дутті, за допомогою енергетичного методу. Запиленість газу на вході – $1,01 \text{ г/м}^3$, гідравлічний опір апарату очистки – 5 кПа , питома витрата води – $0,002$, тиск рідини, що розпилюється – 750 кПа .

Теоретичні відомості

Запиленість очищеного газу встановлюють за формулою (г/м^3):

$$z_2 = z_1 (1 - \eta),$$

де z_1 – початкова запиленість газу, г/м^3 ;

η – ступінь очищення, долі од.

Ступінь очищення газу згідно з енергетичним методом розрахунку мокрих пиловловлювачів визначають за формулою (долі од.):

$$\eta = 1 - \exp(-B \cdot K_q^x),$$

де B та X – константи, що залежать від фізико-хімічних властивостей пилу та дисперсного складу і визначаються експериментально. B і X для окремих видів пилу наведені у таблиці 3.9;

K_q – сумарна енергія контакту, Па.

Таблиця 3.9 – Значення показників B та X

Вид пилу	B	X
Пил вагранок	$1,355 \times 10^{-2}$	0,6210
Пил доменної печі	$6,61 \times 10^{-2}$	0,891
Пил вапневої печі	$6,5 \times 10^{-4}$	1,0529
Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті	$1,565 \times 10^{-6}$	1,619
Пил мартенівських печей, що працюють на повітряному дутті	$1,74 \times 10^{-6}$	1,594
Зола димових газів ТЕС	$4,34 \times 10^{-3}$	0,3

Сумарну енергію контакту визначають за формулою (Па):

$$K_c = \Delta P_{an} + P_g (Q_g/Q_z),$$

де ΔP_{an} – гідравлічний опір апарату очистки, Па;

Q_g, Q_z – об'ємні витрати води і газу, м³/с;

P_g – тиск рідини, що розпилюється, Па.

Таблиця 3.10 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	$z_1, \text{г/м}^3$	$\Delta P_{ap}, \text{кПа}$	Q_B/Q_T	$P_B, \text{кПа}$	Тип пилу
1	2	3	4	5	6
1	30,00	6,50	0,005	400	Пил вагранок
2	50,00	0,40	0,002	500	Пил доменної печі
3	10,50	2,50	0,005	350	Пил вапневої печі
4	8,50	9,00	0,001	200	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
5	6,50	5,50	0,004	500	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
6	15,00	9,75	0,003	200	Пил вагранок
7	25,00	1,20	0,001	250	Пил доменної печі
8	5,25	3,75	0,002	175	Пил вапневої печі
9	4,25	7,50	0,001	100	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
10	3,25	8,25	0,002	250	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
11	37,50	6,12	0,006	500	Пил вагранок
12	62,50	0,50	0,004	300	Пил доменної печі
13	13,13	3,12	0,006	438	Пил вапневої печі
14	10,62	10,25	0,001	250	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
15	8,12	6,80	0,005	625	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
16	10,00	4,33	0,003	260	Пил вагранок
17	8,50	0,26	0,002	330	Пил доменної печі
18	7,50	1,66	0,003	230	Пил вапневої печі
19	5,60	6,20	0,001	130	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6
20	4,30	6,50	0,006	300	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті
21	8,55	4,20	0,005	448	Пил вагранок
22	56,00	1,35	0,002	560	Пил доменної печі
23	11,76	2,83	0,005	392	Пил вапневої печі
24	4,52	6,40	0,001	424	Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті
25	7,28	6,50	0,005	560	Пил мартенівських печей, що працюють на повітр. дутті

3.4.3 Типові розрахункові завдання

Завдання 1. Визначення масової і об'ємної концентрації пилу. Запиленість газу – $2,1 \cdot 10^7$ од/м³, діаметр часток – 1 мм, щільність пилу – 4,82 кг/м³.

Теоретичні відомості

Масова концентрація C_m (кг/м³) визначається як добуток маси однієї частки пилу m_1 й запиленості газу z .

Масу однієї частки знаходять за формулою (кг):

$$m_1 = \frac{\pi d_q^3}{6} \rho_q,$$

де d_q – діаметр частки пилу, м;

ρ_q – щільність пилу, кг/м³.

Об'ємну концентрацію C_v (м³/м³) визначають як добуток об'єму однієї частки V_1 на запиленість газу z .

Об'єм однієї частки знаходять за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi d_q^3}{6}, \text{ м}^3.$$

Завдання 2. Визначити кількість крапель, що утворюються при розпиленні 1,3 л/с зрошуючої рідини та поверхню міжфазного контакту між водою та газом, якщо діаметр крапель складає 1,5 мм.

Теоретичні відомості

Визначення кількості крапель, що утворюються при розпиленні певного обсягу воду, проводять за формулою (од/с):

$$n_k = \frac{6Q_g}{\pi d_k^3},$$

де Q_g – витрата зрошуючої води, м³/с;

d_k – діаметр краплі води, м.

Поверхню міжфазного контакту F (м²) встановлюють як добуток площі поверхні однієї краплі води S на кількість крапель n_k .

Площу краплі визначають за формулою (м²):

$$S = \pi d_k^2.$$

3.5 Будова, принцип дії і основи розрахунку апаратів мокрої очистки газів

3.5.1 Практичне завдання № 9 Розрахунок форсуночних скруберів

Визначити ступінь очистки газу у форсуночному скрубєрі. Діаметр часток пилу – 16 мм, щільність пилу – 1 500 кг/м³, щільність газу – 3,16 кг/м³, швидкість газу – 3,7 м/с, μ_r – $1,7 \cdot 10^{-5}$ Нс/м², швидкість краплі – 4,5 м/с, діаметр краплі – 1,5 мм, активна висота скрубєра – 3 м, питома витрата води – 5 л/м³

Теоретичні відомості

Ступінь очищення газів у форсуночних скрубєрах визначають за формулою:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{3}{2} \eta_z \frac{\omega_0 H}{\omega_k d_k} \cdot \frac{Q_{жс}}{Q_2}\right),$$

де η_3 – коефіцієнт захвату, частки од.;

ω_0 – відносна швидкість рідини й газу, м/с;

H – активна висота скрубера, м;

ω_k – швидкість краплі води, м/с;

d_k – діаметр краплі води, м;

$Q_{ж}/Q_2$ – питома витрата води, м³/м³.

Коефіцієнт захвату визначають залежно від питомої витрати води:

а) коли $Q_{ж}/Q_2$ строго дорівнює 2 л/м³:

$$\eta_3 = 1 - 0,15Stk^{-1,24},$$

де Stk – критерій Стокса;

б) коли $Q_{ж}/Q_2$ не дорівнює 2 л/м³:

$$\eta_3 = \frac{Stk^2}{(Stk+0.35)^2}.$$

Критерій Стокса знаходять за формулою:

$$Stk = \frac{d_q^2 \omega_0 \rho_q}{18 \mu d_k},$$

де d_q – діаметр часток пилу, м;

ρ_q – щільність пилу, кг/м³;

μ – динамічна в'язкість, Нс/м²;

Таблиця 3.11 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	d_q , мкм	ρ_q , кг/м ³	ρ_r , кг/м ³	ω_r , м/с	μ_r , Нс/м ²	ω_k , м/с	d_k , мм	H , м	$Q_{ж}/Q_2$, л/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	1 200	1,29	3,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5,5	1,0	1,5	2,5
2	15	1 200	1,45	4,2	$2,2 \cdot 10^{-5}$	6,2	1,2	2,0	3,0
3	20	1 200	1,29	2,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,8	1,5	3,0	3,5
4	25	1 200	1,45	1,9	$2,2 \cdot 10^{-5}$	3,5	2,0	3,5	4,0
5	30	1 200	2,15	4,0	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,2	2,5	4,0	4,5
6	21	2 400	3,25	3,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5,1	0,8	1,5	5,0
7	16	2 400	0,85	2,8	$2,2 \cdot 10^{-5}$	6,2	1,0	2,0	2,5

Продовження таблиці 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	13	2 400	1,65	3,7	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5,4	1,2	2,5	3,0
9	21	2 400	2,25	2,8	$2,2 \cdot 10^{-5}$	3,5	1,0	1,5	3,5
10	17	2 400	3,14	3,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,1	1,5	2,5	4,0
11	15	3 200	2,87	4,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	3,9	1,2	1,8	4,5
12	12	3 200	4,12	3,0	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,2	1,1	2,0	5,0
13	14	3 200	1,02	2,6	$2,2 \cdot 10^{-5}$	2,9	1,3	1,5	2,5
14	11	3 200	1,22	3,2	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,3	1,5	2,5	3,0
15	13	3 200	3,16	2,7	$2,2 \cdot 10^{-5}$	3,8	1,2	1,8	3,5
16	9	4 500	1,29	3,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5,5	1,0	1,5	4,0
17	11	4 500	1,45	4,2	$2,2 \cdot 10^{-5}$	6,2	1,2	2,0	4,5
18	8	4 500	1,29	2,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,8	1,5	3,0	5,0
19	14	4 500	1,45	1,9	$2,2 \cdot 10^{-5}$	3,5	2,0	3,5	2,5
20	12	4 500	2,15	4,0	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,2	2,5	4,0	3,0
21	17	1 500	3,25	3,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5,1	1,5	2,8	3,5
22	30	1 200	0,85	3,8	$2,2 \cdot 10^{-5}$	6,2	1,7	2,0	4,0
23	30	1 500	1,65	3,7	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5,4	2,0	3,6	4,5
24	20	1 500	2,25	2,8	$2,2 \cdot 10^{-5}$	5	1,5	3,5	3,5
25	10	1 500	3,14	3,5	$2,2 \cdot 10^{-5}$	4,1	1,8	4,0	2,5

3.5.2 Практичне завдання № 10 Розрахунок труби Вентурі

Визначити гідравлічний опір труби Вентурі. Відношення $l_r / d_r = 2,8$, температура газу на виході – 45 °С, густина газу на виході 1,1 кг/м³, питома витрата зрошувальної рідини 5,2 л/м³, швидкість газу 80 м/с.

Теоретичні відомості

Гідравлічний опір труби Вентурі виникає як наслідок руху газу й зрошуючої рідини.

Гідравлічний опір труби Вентурі визначають за формулою (Па):

$$\Delta P_{ТВ} = \Delta P_r + \Delta P_v,$$

де ΔP_r – частка гідравлічного опору, що обумовлена рухом газів, Па;

ΔP_v – частка гідравлічного опору, обумовлена введенням зрошувальної рідини, Па.

$$\Delta P_2 = \xi_2 \cdot \rho_{г2} \cdot \frac{\omega_2^2}{2},$$

де ξ_2 – коефіцієнт гідравлічного опору сухої труби Вентурі;

$\rho_{г2}$ – густина газу на виході з апарату, кг/м³;

ω_2 – швидкість газу у горловині, м/с.

Частка гідравлічного опору, що обумовлена введенням зрошувальної рідини, дорівнює:

$$\xi_2 = 0,165 + 0,034 \frac{l_2}{d_2} (0,06 + 0,28 \frac{l_2}{d_2}) M,$$

де $\frac{l_2}{d_2}$ – відношення довжини до діаметра горловини труби Вентурі (задається в межах від 1,5 до 3);

M – число Маха:

$$M = \frac{\omega_2}{\omega_{зв}},$$

де $\omega_{зв}$ – швидкість звуку в газі, м/с

$$\omega_{зв} = \sqrt{2 \frac{K}{K+1}} \sqrt{\frac{RT}{Mr}},$$

де K – коефіцієнт адиабати для повітря (Па); $K = 1,4$;

Mr – молярна маса повітря (приймаємо $Mr = 29$);

R – універсальна газова постійна; $R = 8314$;

T – температура газу у Кельвінах; $T = 273 + t_{г2}$.

Частка гідравлічного опору, обумовлена введенням зрошувальної рідини (Па):

$$\Delta P_в = \xi_в \cdot \rho_в \cdot m \cdot \frac{\omega_2^2}{2},$$

де m – питома витрата зрошувальної рідини;

$\xi_в$ – коефіцієнт гідравлічного опору, обумовленого введенням зрошувальної рідини

$$\xi_в = 0,63 \xi_2 m^{-0,3},$$

$\rho_в$ – густина зрошувальної рідини, кг/м³.

Таблиця 3.12 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	l_r / d_r	$t_{r2}, ^\circ\text{C}$	$\rho_{r2}, \text{кг/м}^3$	$m, \text{л/м}^3$	$\omega_r, \text{м/с}$
1	3	50	0,9	1,0	150
2	2,5	50	0,9	1,0	140
3	2	45	1,1	2,0	130
4	1,5	50	0,85	3,0	120
5	1	55	0,8	4,0	110
6	0,5	60	0,8	5,0	100
7	0,15	40	1,12	1,5	90
8	2,2	42	1,12	2,5	80
9	2	44	1,05	3,5	70
10	1,8	46	1,12	4,0	150
11	3	48	0,92	5,5	60
12	2,5	50	0,95	1,5	80
13	2	50	0,9	0,7	100
14	1,5	40	1,12	1,5	90
15	2,8	45	1,1	1,2	120
16	2,6	50	0,9	1,4	130
17	2,4	55	1	1,6	140
18	2,2	60	0,85	1,8	150
19	2	40	1,12	2,1	150
20	1,8	42	1,15	2,3	140
21	2,6	60	0,85	2,4	130
22	2,4	40	1,12	2,5	120
23	2,2	42	1,15	2,9	110
24	2	44	1,08	3,2	100
25	1,8	46	1,08	3,5	90

3.5.3 Практичне завдання № 11 Розрахунок апаратів

ударно-інерційної та відцентрової дії

Завдання 1. Визначити витрату води на зрошення відцентрового скрубера й ступеня очистки. Діаметр скрубера – 3,2 м, ступінь очистки у відцентровому скрубери діаметром 1 м – 88 %.

Теоретичні відомості

Витрату води на зрошення відцентрового скрубера визначають за формулою (кг/с):

$$M_g = 0,14 \cdot \pi \cdot d_{скр},$$

де $d_{скр}$ – діаметр відцентрового скрубера.

Ступінь очистки у відцентровому скрубери знаходять за формулою:

$$\eta = 100 - (100 - \eta_1) \cdot (d_{скр})^{1/2},$$

де η_1 – ступінь очистки у відцентровому скрубери діаметром 1 м;

$d_{скр}$ – діаметр скрубера, для якого визначається ступінь очистки.

Таблиця 3.13 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	$d_{скр}$, м	η_1 , %	Номер варіанта	$d_{скр}$, м	η_1 , %
1	2,0	90	14	3,0	83
2	0,8	75	15	3,2	78
3	1,0	78	16	2,0	90
4	1,2	80	17	0,8	92
5	1,0	82	18	1,0	94
6	4,0	84	19	1,2	96
7	1,6	86	20	1,0	98
8	1,8	88	21	4,0	74
9	2,1	90	22	1,6	78
10	2,2	92	23	1,8	90
11	2,4	94	24	2,1	75
12	2,6	96	25	2,2	78
13	2,8	98			

Завдання 2 Визначити гідравлічний опір і ступень очистки газів в апараті УІД. Висота верхнього рівня води від нижньої кромки верхньої перегородки 80 мм, витрата газу на один метр довжини перегородки – 4800 (м³ / год)/м, медіанний розмір часток пилу 3 мкм, $\lg\sigma_{\tau} - 3,10$.

Теоретичні відомості

Гідравлічний опір апаратів ударно-інерційної дії визначається за формулою (Па):

$$\Delta P = 10^4 \delta + 880 \sqrt{Q_2},$$

де δ – висота верхнього рівня води від нижньої кромки верхньої перегородки, м;

Q_2 – витрата газу на один метр довжини перегородки, м³ / с.

Ступінь очистки визначають за формулою:

$$\eta = \frac{1}{2} (\Phi(x) + 1),$$

де $\Phi(x)$ – функція від X .

$\Phi(x)$ знаходять за таблицею 3.14.

Таблиця 3.14 – Значення нормальної функції розподілу

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
-0,20	0,420 7	0,04	0,516 0	0,30	0,617 9	0,56	0,712 3
-0,18	0,428 6	0,06	0,523 9	0,32	0,625 5	0,58	0,719 0
-0,16	0,436 4	0,08	0,531 9	0,34	0,633 1	0,60	0,725 7
-0,14	0,444 3	0,10	0,539 8	0,36	0,640 6	0,62	0,732 4
-0,12	0,452 2	0,12	0,547 8	0,38	0,648 0	0,64	0,738 9
-0,10	0,460 2	0,14	0,555 7	0 40	0,655 4	0,66	0,745 4
-0,08	0,468 1	0,16	0,563 6	0,42	0,662 8	0,68	0,751 7
-0,06	0,476 1	0,18	0,571 4	0,44	0,670 0	0,70	0,758 0
-0,04	0,484 0	0,20	0,579 3	0 46	0,677 2	0,72	0,764 2
-0,02	0,492 0	0,22	0,587 1	0,48	0,684 4	0,74	0,770 3
-0,00	0,500 0	0,24	0,594 8	0,50	0,691 5	0,76	0,776 4
0,00	0,500 0	0,26	0,602 6	0,52	0,698 5	0,78	0,782 3
0,02	0,508 0	0,28	0,610 3	0,54	0,705 4	0,80	0,788 1

Параметр x визначають за формулою:

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_m}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg \delta_\eta^2 + \lg \delta_u^2}},$$

де d_m – медіанний розмір часток, мкм;

d_{50} – діаметр часток, що осаджується з ефективністю 50 %;

$lg \sigma_\eta$ – стандартне відхилення від функції розподілу парціальних коефіцієнтів очистки;

$lg \sigma_\sigma$ – середньоквадратичне відхилення у функції розподілу часток.

Дисперсний склад пилу задається двома параметрами: d_m і $lg \sigma_\sigma$.

Характеристика роботи апарату ударно-інерційної дії задається двома параметрами: d_{50} і $lg \sigma_\eta$ (табл. 3.15).

Таблиця 3.15 – Параметри, що характеризують роботу апарату ударно-інерційної дії

$\delta, \text{м}$	$d_{50}, \text{мкм}$	$lg \sigma_\eta$
0,04	1,5	0,3
0,08	1,5	0,24
0,20	1,5	0,17

Таблиця 3.16 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	$\delta, \text{мм}$	$Q_r, (\text{м}^3 / \text{год})/\text{м}$	$d_m, \text{мкм}$	$lg \sigma_\sigma$
1	2	3	4	5
1	40	2 000	8,00	4,70
2	80	2 100	9,60	2,06
3	200	2 200	0,65	2,60
4	40	2 300	1,50	2,30
5	80	2 400	14,50	4,80
6	200	7 500	3,00	3,00
7	200	2 500	30,00	1,76
8	40	2 600	45,00	3,91
9	80	2 700	20,00	3,40
10	200	2 800	15,50	5,50
11	40	2 900	12,00	3,42
12	80	3 000	6,90	2,60
13	200	3 100	25,00	2,00
14	40	3 200	2,90	2,07
15	80	3 300	5,00	3,20

Продовження таблиці 3.16

1	2	3	4	5
16	200	3 400	13,00	2,55
17	40	3 500	11,50	2,67
18	80	3 600	17,00	3,55
19	200	3 700	22,00	2,35
20	40	3 800	19,00	3,30
21	80	3 900	25,00	2,19
22	200	4 000	15,00	4,00
23	40	4 100	20,00	3,20
24	80	4 200	23,00	2,56
25	200	4 300	24,00	2,02

3.5.4 Практичне завдання № 12 Розрахунок барботажних пінних апаратів

Визначити ступень очистки в БПА. Медіанний розмір часток 3 мкм, $\lg \sigma_{\eta} = 3,1$, швидкість газу 1,5 м/с, висота шару піни 2 см.

Теоретичні відомості

Ступінь очистки в барботажних пінних апаратах знаходять за формулою:

$$\eta = \eta_0 \left(\frac{\omega_g}{2} \right)^{0,036} \left(\frac{H}{0,09} \right)^{0,032},$$

де η_0 – еталонний ступінь очистки для апаратів з висотою шару піни 9 см;

H – висота шару піни, м.

Еталонний ступінь очистки є функцією від x , тобто $\eta_0 = \Phi(x)$. Процес визначення $\Phi(x)$ детально описано у завданні 11.

Варто пам'ятати, що для барботажних пінних апаратів з висотою шару піни 9 см, d_{50} – діаметр часток, що осаджується з ефективністю 50 % – дорівнює 0,85 мкм, а $\lg \sigma_{\eta}$ – стандартне відхилення від функції розподілу парціальних коефіцієнтів очистки – 0,769.

Таблиця 3.17 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	d_m , мкм	$lg\sigma_{\tau}$	W_{Γ} , м/с	H , см
1	8,00	4,70	1,10	8,0
2	9,60	2,06	1,30	10,0
3	0,65	2,60	0,80	11,0
4	1,50	2,30	2,20	5,0
5	14,50	4,80	1,90	15,0
6	3,00	3,00	2,00	16,0
7	30,00	1,76	2,20	15,0
8	45,00	3,91	2,50	16,0
9	20,00	3,40	2,70	17,0
10	15,50	5,50	1,50	8,0
11	12,00	3,42	1,80	5,0
12	6,90	2,60	1,30	4,0
13	25,00	2,00	1,50	7,0
14	2,90	2,07	1,70	5,0
15	5,00	3,20	1,90	3,0
16	13,00	2,55	2,00	2,0
17	11,50	2,67	2,20	5,0
18	17,00	3,55	2,50	20,0
19	22,00	2,35	2,70	18,0
20	19,00	3,30	2,20	12,0
21	25,00	2,19	2,50	14,0
22	15,00	4,00	1,30	8,0
23	20,00	3,20	1,10	10,0
24	23,00	2,56	1,70	7,0
25	24,00	2,02	1,50	7,0

3.5.5 Типові розрахункові завдання

Завдання 1 Визначити діаметр крапель у скрубєрі Вентурі. Швидкість краплі води 1 м/с, швидкість газу 170 м/с, температура зрошуючої води 25 °С, питома витрата води 0,3 л/м³

Теоретичні відомості

Визначення розміру крапель, що утворюються у скрубєрі Вентурі в процесі подрібнення крапель води газовим потоком, можливе двома методами:

1. За формулою Нукіяма – Таназава (м):

$$d_{\kappa} = \frac{0,585 \cdot 10^{-3} \sqrt{\delta}}{\omega_0 \sqrt{\rho_{\text{жс}}}} + 53,4 \left(\frac{\mu_{\text{жс}}}{\sqrt{\rho_{\text{жс}} \sigma}} \right)^{0,45} \left(\frac{Q_{\text{жс}}}{Q_2} \right)^{1,5},$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натяжіння, Н/м,

$\mu_{\text{жс}}$ – динамічна в'язкість, Нс/м²;

ω_0 – відносна швидкість рідини й газу, м/с;

$\frac{Q_{\text{жс}}}{Q_2}$ – питома витрата води, м³/м³.

Фізичні властивості води (σ , $\mu_{\text{жс}}$, $\rho_{\text{жс}}$) залежать від температури й наведені в таблиці 3.18

Таблиця 3.18 – Фізичні властивості води

t, °C	$\rho_{\text{ж}}, \text{кг/м}^3$	$\mu_{\text{ж}} \cdot 10^3, \text{Нс/м}^2$	$\sigma \cdot 10^3, \text{Н/м}$
10	999,73	1,307	74,22
15	999,13	1,138	73,49
20	998,23	1,002	72,75
25	997,07	0,894	71,97
30	995,67	0,800	71,18
35	994,06	0,719	70,48
40	992,24	0,653	69,73
50	988,07	0,547	67,99

2. За допомогою критерію Вебера

Крапля починає дробитися, якщо значення критерію Вебера (We) міститься в діапазоні від 5 до 12.

Діаметр краплі знаходять за формулою, отриманою з формули критерію Вебера (м):

$$d_{\kappa} = \frac{We \cdot \delta}{\rho_2 \cdot \omega_0^2}.$$

Отримані за допомогою обох формул діаметри можуть відрізнятись тому, що обидві формули є експериментальними.

Завдання 2. Визначити відносну величину живого перерізу решітки у БПА. Діаметр отворів в решітці 3,5 мм, діаметр апарата – 2 м., кількість отворів – 54300 од.

Теоретичні відомості

Відносну величину живого перерізу решітки визначають як відношення загальної площі отворів у решітці до загальної площі перерізу апарату ($\text{м}^2 / \text{м}^2$):

$$f_o = \frac{S_{oms}}{S_a} = \frac{d_{oms}^2}{d_a^2} n,$$

де d_{oms} – діаметр отворів решітки, м;

d_a – діаметр апарату, м;

n – кількість отворів у решітці, од.

Завдання 3. Визначення гідравлічного опору решітки й критичної швидкості газу в БПА. m – 0,5 л/м³, щільність зрошення – 1,2 м³/м²с, густина газу – 1,19 кг/м³, густина зрошуючої рідини – 1 200 кг/м³, площа живого перерізу решітки – 0,29, коефіцієнт поверхневого натягіння – 0,081 Н/м, діаметр отворів у решітці 3,4 мм, швидкість газу 1,6 м/с.

Теоретичні відомості

Гідравлічний опір решітки визначають за формулою (Па):

$$\Delta P = A^2 \cdot \rho_g \frac{\omega_g^2}{2 \cdot f_o^2} + \Delta P_\delta,$$

де A – допоміжний коефіцієнт;

ρ_g – густина газу, кг/м³;

ω_g – швидкість газу, м/с;

f_o – площа живого перерізу решітки;

ΔP_{δ} – частка гідравлічного опору, обумовлена поверхневим натяжінням рідини, Па

$$\Delta P_{\delta} = \frac{4\delta}{1,3d_0 + 0,08d_0^2},$$

де δ – коефіцієнт поверхневого натяжіння, Н/м;

d_0 – діаметр отворів у решітці, мм.

Допоміжний коефіцієнт A визначають за формулою:

$$A = 38,8m^{0,7} \cdot Q_{жс}^{-0,57} \left(\frac{\rho_g}{\rho_{жс}}\right)^{0,35},$$

де $Q_{жс}$ – щільність зрошення, м³/м²с.

Швидкість, при якій відбувається перехід від пінного режиму до хвильового, тобто захлинення апарату (критична швидкість) визначають за формулою (м/с):

$$\omega_{кр} = 10^{\log \omega_{кр}},$$

$$\log \omega_{кр} = 1350 \frac{f_0^2 d_0}{A} + 0,154.$$

3.6 Питання для самоконтролю

1. Наведіть та поясніть показники, за якими може бути виконана оцінка ефективності системи пило- та газоочистки.
2. Наведіть будову та поясніть принцип дії інерційних пиловловлювачів.
3. Наведіть будову та поясніть принцип дії пилоосаджувальних камер.
4. Наведіть будову та поясніть принцип дії циклону.
5. Наведіть будову та поясніть принцип дії батарейних циклонів.
6. Наведіть будову та поясніть принцип дії жалюзійних пиловловлювачів.
7. Наведіть будову та поясніть принцип дії інерційних пиловловлювачів.
8. Наведіть будову та поясніть принцип дії пиловловлювачів ротаційної дії.
9. Наведіть будову та поясніть принцип дії фільтрів.

10. Наведіть будову та поясніть принцип дії електрофільтрів.

11. Поясніть, у чому полягає енергетичний метод розрахунку мокрих пиловловлювачів.

12. Наведіть будову та поясніть принцип дії форсуночних скрубєрів.

13. Наведіть будову та поясніть принцип дії скрубєрів Вєнтурі.

14. Наведіть будову та поясніть принцип дії апаратів відцентрової дії.

15. Наведіть будову та поясніть принцип дії ПВМ.

16. Наведіть будову та поясніть принцип дії барботажних пінних апаратів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Экология города / Под ред. Стольберга Ф. В. – Киев : Либра, 2000.– 464 с.
2. Моніторинг довкілля : підручник / за ред. В. М. Боголюбова, Т. А. Сафранова. – Херсон : Грінь Д. С., 2013. – 530 с.
3. Ровенский А. И. Защита атмосферы от промышленных загрязнений / А. И. Ровенский, В. С. Гурьев, В. И. Бородин. – Киев : Будівельник, 1985. – 152 с.
4. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього середовища : навчальний посібник / В. С. Джигирей. – Київ : Знання, 2002. – 203 с.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до організації практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ЗАХИСТ АТМОСФЕРИ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

Укладачі: **БЕКЕТОВ** Володимир Єгорович,
ЄВТУХОВА Галина Петрівна,
ЛОМАКІНА Ольга Сергіївна

Відповідальний за випуск *Д. В. Дядін*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *О. С. Ломакіна*

План 2021, поз 132М

Підп. до друку 16.11.2022. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 3,0

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса : office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.