

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять і організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЇ СУХОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОЧИСТКИ ГАЗІВ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до проведення практичних занять і організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Технології сухої механічної очистки газів» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / Харків. нац. ун-т. міськ. гос-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. Є. Бекетов, О. С. Ломакіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 26 с.

Укладачі: канд. техн. наук В. Є. Бекетов,
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 № 2 від 28 серпня 2023 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Основні заходи з охорони повітря.....	5
1.1 Заходи у сфері охорони атмосферного повітря	5
1.2 Ефективність роботи апаратів очистки газів	7
1.3 Питання з підготовки до модульного контролю	11
2 Механічна очистка газів	12
2.1 Фізичні основи гравітаційного і інерційного осадження пилу. Гравітаційні та інерційні пиловловлювачі	12
2.2 Основи теорії апаратів відцентрової дії. Апарати відцентрової дії ...	15
2.3 Питання з підготовки до модульного контролю	16
3 Фільтрація та електрична очистка газів	18
3.1 Фізичні засади очищення газів фільтрацією	18
3.2 Електричне очищення газів	20
3.3 Питання з підготовки до модульного контролю	23
4 Самостійна робота «Порівняння апаратів очистки»	24
Список рекомендованих джерел	25

ВСТУП

Обізнаність здобувачів вищої освіти з основними технологіями очистки промислових викидів та газоочисного обладнання (видів апаратів очистки, їх призначення, будови, принципу дії та основ розрахунку) важливе для формування професійних компетентностей зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Метою вивчення цієї дисципліни є формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок у галузі використання методів і технологій очистки газів від твердих домішок, необхідних при вирішенні інженерних завдань як підгрунтя для прийняття доцільних проєктних та технологічних рішень у галузі захисту навколишнього середовища.

Під час вивчення дисципліни здобувачі мають навчитися:

- визначати види заходів, що використовуються для охорони атмосферного повітря на промислових об'єктах;
- виокремлювати основні методи очистки промислових викидів від твердих домішок;
- обирати необхідний метод сухої механічної очистки газів та газоочисне обладнання;
- обчислювати основні технологічні та конструктивні параметри апаратів сухої механічної очистки газів;
- оцінювати ефективність роботи пилогазоочисного обладнання.

Методичні рекомендації містять:

- практичні завдання з необхідними теоретичними поясненнями та вихідні дані до кожного завдання. Номер варіанта визначається за номером у списку;
- перелік питань за кожним змістовим модулем для підготовки до модульного контролю.

1 ОСНОВНІ ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПОВІТРЯ

1.1 Заходи у сфері охорони атмосферного повітря

Організація санітарно-захисних зон (далі – СЗЗ) є одним із заходів з охорони атмосферного повітря.

СЗЗ призначена для відокремлення від житлової забудови промислових, сільськогосподарських та інших об'єктів, що є джерелами забруднення навколишнього середовища хімічними, фізичними та біологічними факторами при неможливості створення безвідходних технологій.

Вимоги до організації нормативної СЗЗ наведені у «Державних санітарних правилах планування та забудови населених пунктів», затверджених Наказом МОЗ України № 173 від 19.06.1996 (з подальшими змінами).

Практичне завдання 1 Організація санітарно-захисних зон

а) Ознайомтеся з Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів (Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text>) та знайдіть у Правилах відповіді на такі запитання (крім відповіді також вкажіть відповідний пункт Правил):

1. Яка організація здійснює контроль за дотриманням Правил?
2. Чи можна звести на території СЗЗ нову житлову забудову?
3. У яких випадках можливе збільшення розмірів нормативної СЗЗ?
4. У яких випадках можливе зменшення розмірів нормативної СЗЗ?
5. Якою є мінімальна площа озеленення СЗЗ?

б) Визначте розмір нормативної СЗЗ для таких підприємств:

- 1) підприємство з виробництва целофану;
- 2) миловарний комбінат;
- 3) вугільна шахта;
- 4) швейна фабрика;

- 5) елеватор;
- 6) полігон ТПВ.

Практичне завдання 2 «Побудова санітарно-захисної зони»

Використавши такі вихідні дані, побудуйте:

- а) нормативну СЗЗ;
- б) розрахункову СЗЗ за результатами розсіювання забруднюючих речовин;
- в) розрахункову СЗЗ з урахуванням рози вітрів.

Вихідні дані до завдання:

- а) проммайданчик підприємства має форму прямокутника. Координати проммайданчика наведені в таблиці 1.1;

Таблиця 1.1 – Координати проммайданчика

Координати	Значення координат			
	X, м	300	300	1 100
Y, м	500	1 000	500	1 000

- б) викид забруднюючих речовин в атмосферу здійснюється з п'яти джерел викидів. Координати джерел викидів наведені в таблиці 1.2. Крок сітки – 100 м. Нормативна СЗЗ – 300 м;

Таблиця 1.2 – Координати джерел викидів

Координати	Номер джерела				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
X, м	470	580	800	900	900
Y, м	670	620	800	800	600

- в) селітебна територія розташовується відносно території підприємства паралельно до осі X на відстані 200 м на південь від підприємства; паралельно до осі Y на відстані 150 м на захід від підприємства;

г) за результатами розрахунку розсіювання визначено координати точок, в яких концентрація речовини дорівнює 1 ГДК (табл. 1.3);

Таблиця 1.3 – Координати точок, у яких концентрація речовини дорівнює 1 ГДК

Координати	Значення координат							
X, м	170	250	400	500	600	700	800	900
Y, м	800	900	1 000	1 020	1 030	1 030	1 020	1 020
X, м	1 000	1 080	1 100	1 120	1 110	1 080	1 000	900
Y, м	1 010	900	800	700	600	500	420	360
X, м	800	700	600	500	400	300	200	150
Y, м	400	415	400	410	450	470	500	600

д) повторюваність напрямів вітру по румбах наведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Повторюваність напрямів вітру по румбах

Північний	Північно-східний	Східний	Південно-східний	Південний	Південно-західний	Західний	Північно-західний
18	5	15	10	25	10	5	12

1.2 Ефективність роботи апаратів очистки газів

Оцінка ефективності роботи систем пило- й газоочистки проводиться за такими показниками:

– ступінь (ефективність) очистки газів – це співвідношення кількості вловленої забруднюючої речовини до кількості забруднюючої речовини, що надходить в апарат на очищення;

– коефіцієнт проскоку – це співвідношення кількості забруднюючої речовини, що виходить з викидами з апарату очистки, до кількості речовини, що надходить до нього;

– фракційний ступінь очистки – це співвідношення кількості пилу цієї фракції, вловленої апаратом, до кількості пилу тієї самої фракції, що входить до

апарату очистки;

– парціальний ступінь (коефіцієнт) очистки – це співвідношення кількості часток певного розміру, вловлений апаратом, до кількості часток того самого розміру на вході в апарат.

Практичне завдання 3 Визначення загального ступеню очистки газів

За вихідними даними (табл. 1.5) побудуйте гістограму дисперсного складу та загального ступеня очистки і визначте загальний ступінь очистки.

Загальний ступінь очистки визначається за формулою

$$\eta = \frac{\sum \Phi_i \cdot \eta_{\phi i}}{100},$$

де Φ_i – відсоток часток пилу, що належать до i -ї фракції, %;

$\eta_{\phi i}$ – фракційний ступінь очистки i -ї фракції, %.

Таблиця 1.5 – Вихідні дані до практичного завдання 3

Ва-ріант	Вихідні дані за варіантами					
1	2	3	4	5	6	7
	Діаметр часток $d_{\text{ч}}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	6	14	40	28	12
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	30	51	69	75	89
2	Діаметр часток $d_{\text{ч}}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	8	15	38	25	14
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	26	45	66	70	85
3	Фракційний склад Φ , %	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	10	15	21	35	19
	Фракційний склад Φ , %	35	55	74	85	92
4	Діаметр часток $d_{\text{ч}}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	5	12	45	25	13
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	25	45	55	84	90

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7
5	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	5	10	50	24	11
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	20	40	65	76	88
6	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	7	17	35	36	5
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	26	55	68	84	89
7	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	10	12	29	32	17
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	31	42	50	68	85
8	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	3	14	26	47	10
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	20	42	65	79	91
9	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	15	16	29	30	10
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	25	45	72	78	85
10	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	5	13	28	40	14
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	15	40	64	75	92
11	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	6	10	35	45	4
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	35	52	71	80	93
12	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	6	14	40	28	12
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	30	51	69	75	89
13	Фракційний склад Φ , %	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	8	15	38	25	14
	Фракційний склад Φ , %	26	45	66	70	85
14	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	10	15	21	35	19
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	35	55	74	85	92

Закінчення таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7
15	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	5	12	45	25	13
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	25	45	55	84	90
16	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	5	10	50	24	11
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	20	40	65	76	88
17	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	7	17	35	36	5
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	26	55	68	84	89
18	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	10	12	29	32	17
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	31	42	50	68	85
19	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	3	14	26	47	10
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	20	42	65	79	91
20	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	15	16	29	30	10
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	25	45	72	78	85
21	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	5	13	28	40	14
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	15	40	64	75	92
22	Діаметр часток $d_{ч}$, мкм	0–5	5–10	10–15	15–20	20–30
	Фракційний склад Φ , %	6	10	35	45	4
	Фракційний ступінь очистки η_{ϕ} , %	35	52	71	80	93

Практичне завдання 4 Визначення показників ефективності очистки газів від пилу

За вихідними даними (табл. 1.6) визначте ступінь очистки та коефіцієнт проскоку в апараті очистки.

Ступінь (ефективність) очистки газів визначається за формулою

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

де $C_{\text{вх}}$ – концентрація забруднюючої речовини в одиниці об'єму сухого повітря на вході в апарат очистки, г/м³;

$C_{\text{вих}}$ – концентрація забруднюючої речовини в одиниці об'єму сухого повітря на виході з апарату очистки, г/м³.

Коефіцієнт проскоку визначається за формулою

$$K_{\text{пр}} = 1 - \eta.$$

Ступінь очистки та коефіцієнт проскоку можуть бути виражені у частках одиниці або у відсотках.

Таблиця 1.6 – Вихідні дані до практичного завдання 4

Ва- ріант	Концент- рація на вході, г/м ³	Концент- рація на виході, мг/м ³	Ва- ріант	Концент- рація на вході, г/м ³	Концент- рація на виході, мг/м ³
1	10,1	250	12	3,6	140
2	9,6	320	13	5,5	125
3	8,4	400	14	6,1	300
4	7,3	390	15	4,9	500
5	4,2	280	16	9,6	600
6	5,1	160	17	10,1	250
7	4,7	250	18	9,6	320
8	6,3	300	19	8,4	400
9	4,8	150	20	7,3	390
10	5,6	140	21	4,2	280
11	7,2	310	22	5,1	160

1.3 Питання з підготовки до модульного контролю

1. Які види заходів належать до інженерно-організаційних заходів?
2. Які види заходів належать до архітектурно-планувальних заходів?
3. Які вимоги висуваються до розташування проммайданчика відносно житлової забудови?

4. Які вимоги висувають до розташування цехів на території проммайданчика?

5. Поясніть значення термінів «ступінь очистки газів», «коефіцієнт проскоку», «парціальний ступінь очистки», «фракційний ступінь очистки».

6. Наведіть та поясніть розрахункові формули для визначення показників, що характеризують ефективність роботи апарату очистки газів.

7. Поясніть, як визначається сумарний ступінь очистки газів.

2 МЕХАНІЧНА ОЧИСТКА ГАЗІВ

2.1 Фізичні основи гравітаційного та інерційного осадження пилу.

Гравітаційні та інерційні пиловловлювачі

Пилоосаджувальні камери – це найпростіші установки, які використовуються для вловлювання крупнодисперсного пилу. Осадження часток пилу в пилоосаджувальній камері відбувається під дією сили тяжіння.

При приблизному розрахунку пилоосаджувальних камер приймають, що частки рухаються вздовж камери зі швидкістю, що дорівнює швидкості газового потоку W_r і одночасно опускаються донизу зі швидкістю, що дорівнює швидкості витання W_o . Для забезпечення необхідного ступеню очистки частка пилу повинна досягнути дна раніше, ніж газовий потік винесе її з камери.

Практичне завдання 5 Визначення витрати газу в ПОК

За вихідними даними (табл. 2.1) визначте витрату газу в пилоосаджувальній камері (далі – ПОК).

Витрата газу, який може бути очищений у пилоосаджувальній камері, можна визначити за формулою

$$Q_r = \omega_o \cdot F = \frac{d_q^2(\rho_q - \rho_r)g}{18\mu_r} \cdot (L \cdot B), \text{ м}^3/\text{с},$$

де ω_o – швидкість витання частки пилу, м/с;

F – площа перетину пилоосаджувальної камери, m^2 ;

$d_{\text{ч}}$ – діаметр часток пилю, m ;

$\rho_{\text{ч}}$ – щільність пилю, kg/m^3 ;

$\rho_{\text{г}}$ – густина газу, kg/m^3 ;

$\mu_{\text{г}}$ – динамічна в'язкість газу, $N \cdot s/m^2$;

L – довжина пилоосаджувальної камери, m ;

B – ширина пилоосаджувальної камери, m

Зважаючи на значну різницю між щільністю часток пилю та густиною газу, при виконанні розрахунків густиною газу можна знехтувати (тобто прийняти, що вона дорівнює 0 kg/m^3).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до практичного завдання 5

Варіант	Довжина ПОК, м	Ширина ПОК, м	Діаметр часток пилю, мкм	Щільність пилю, kg/m^3	Динамічна в'язкість газу, $N \cdot s/m^2$
1	3	2	100	1 900	$18 \cdot 10^{-6}$
2	3,5	1,5	95	1 850	$18 \cdot 10^{-6}$
3	2,8	2,5	80	2 300	$18 \cdot 10^{-6}$
4	3,1	2,2	83	2 700	$18 \cdot 10^{-6}$
5	3,2	2,1	74	1 700	$18 \cdot 10^{-6}$
6	3	2	82	2 200	$18 \cdot 10^{-6}$
7	3,5	1,5	65	2 030	$18 \cdot 10^{-6}$
8	2,8	2,5	52	1 850	$18 \cdot 10^{-6}$
9	3,1	2,2	63	1 920	$18 \cdot 10^{-6}$
10	3,2	2,1	75	3 200	$18 \cdot 10^{-6}$
11	3	2	72	2 600	$18 \cdot 10^{-6}$
12	3,5	1,5	95	2 100	$18 \cdot 10^{-6}$
13	2,8	2,5	81	1 950	$18 \cdot 10^{-6}$
14	3,1	2,2	79	1 790	$18 \cdot 10^{-6}$
15	3,2	2,1	64	1 850	$18 \cdot 10^{-6}$
16	3	2	100	1 900	$18 \cdot 10^{-6}$
17	3,5	1,5	95	1 850	$18 \cdot 10^{-6}$
18	2,8	2,5	80	2 300	$18 \cdot 10^{-6}$
19	3,1	2,2	83	2 700	$18 \cdot 10^{-6}$
20	3,2	2,1	74	1 700	$18 \cdot 10^{-6}$
21	3	2	82	2 200	$18 \cdot 10^{-6}$
22	3,5	1,5	65	2 030	$18 \cdot 10^{-6}$

Практичне завдання 6 Визначення мінімального діаметру часток пилю що повністю вловлюються в пилоосаджувальній камері

За вихідними даними (табл. 2.2) визначте мінімальний діаметр часток пилю, що повністю вловлюються цією ПОК.

Найменший розмір часток пилю, які буде повністю вловлено в пилоосаджувальній камері, визначається за формулою

$$d_{ч} = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu_{г} \cdot Q_{г}}{L \cdot B \cdot (\rho_{ч} - \rho_{г}) \cdot g}}$$

Таблиця 2.2– Вихідні дані до практичного завдання 6

Варіант	L, м	H, м	B, м	Q, м ³ /год	ρ _ч , кг/м ³	ρ _г , кг/м ³	μ _г , Па·с
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	2	2,4	7 000	1 250	1,2	20·10 ⁻⁶
2	4	2,7	3,2	5 000	2 700	1,28	22·10 ⁻⁶
3	5	3,3	4	20 000	4 200	2,7	22·10 ⁻⁶
4	6	4	4,8	25 000	4 500	1,4	22·10 ⁻⁶
5	7	4,7	5,6	12 000	1 500	1,2	20·10 ⁻⁶
6	8	5,3	6,4	10 000	1 250	1,2	20·10 ⁻⁶
7	9	6,0	7,2	15 000	2 700	1,28	22·10 ⁻⁶
8	10	6,7	8	16 000	1 200	2,7	22·10 ⁻⁶
9	11	7,3	8,8	17 000	4 500	1,4	22·10 ⁻⁶
10	12	8	9,6	18 000	1 500	1,2	20·10 ⁻⁶
11	13	8,7	10,4	19 000	1 250	1,2	20·10 ⁻⁶
12	14	9,3	11,2	20 000	2 700	1,28	22·10 ⁻⁶
13	15	10	12	22 000	4 200	2,7	22·10 ⁻⁶
14	4	3,1	4	7 000	4 500	1,4	22·10 ⁻⁶
15	5	3,8	5	5 000	1 500	1,2	20·10 ⁻⁶
16	6	4,6	6	20 000	1 250	1,2	20·10 ⁻⁶
17	7	5,4	7	25 000	2 700	1,28	20·10 ⁻⁶
18	8	6,2	8	12 000	4 200	2,7	22·10 ⁻⁶
19	9	6,9	9	10 000	4 500	1,4	22·10 ⁻⁶
20	10	7,7	10	15 000	1 500	1,2	22·10 ⁻⁶

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
21	11	8,5	11	16 000	1 250	1,2	$20 \cdot 10^{-6}$
22	12	9,5	12	17 000	27 000	1,28	$20 \cdot 10^{-6}$
23	13	10	13	18 000	4 200	2,7	$22 \cdot 10^{-6}$
24	14	10,8	14	19 000	4 500	1,4	$22 \cdot 10^{-6}$
25	15	11,5	15	20 000	1 500	1,2	$22 \cdot 10^{-6}$

2.2 Основи теорії апаратів відцентрової дії. Апарати відцентрової дії

Циклони призначені для вловлювання часток пилу розміром 15–20 мкм та більше. Робота циклона базується на використанні відцентрових сил, що виникають при обертанні газового потоку всередині корпусу циклону.

Практичне завдання 7 Визначення мінімального діаметра часток пилу, що повністю вловлюються циклоном

Найменший розмір часток пилу, які будуть вловлені циклоном, визначається за формулою

$$d_{\text{ч}} = \frac{3}{w_{\text{г}}} \sqrt{\frac{(R_2^2 - R_1^2) \cdot \mu_{\text{г}}}{\rho_{\text{ч}} \cdot t}},$$

де $w_{\text{г}}$ – швидкість газу на вході, м/с;

R_2 – радіус циклона, м;

R_1 – радіус вихлопної труби, м;

$\rho_{\text{ч}}$ – щільність пилу, кг/м³;

$\mu_{\text{г}}$ – динамічна в'язкість газу, Па·с;

t – час, за який частинка проходить шлях $H_{\text{ц}}$.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до практичного завдання 7

Варіант	Діаметр циклона D, м	Висота циліндричної частини H, м	Ширина вхідного патрубку b, м	Висота вхідного патрубку а, м	Щільність часток пилу $\rho_{ч}$, кг/м ³	Витрата газу Q, м ³ /год	μ_r , Па·с
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1,5	0,66	0,2	3 500	13 000	21·10 ⁻⁶
2	1,2	1,8	0,79	0,24	3 500	13 500	21·10 ⁻⁶
3	1,3	1,95	0,86	0,26	2 500	15 000	21·10 ⁻⁶
4	1,4	2,1	0,92	0,28	2 500	16 000	21·10 ⁻⁶
5	1,5	2,25	0,99	0,3	3 500	28 000	21·10 ⁻⁶
6	1,6	2,4	1,06	0,32	3 500	22 000	21·10 ⁻⁶
7	1,7	2,55	1,12	0,34	3 500	32 000	21·10 ⁻⁶
8	1,8	2,7	1,19	0,36	2 500	30 000	21·10 ⁻⁶
9	1,9	2,85	1,25	0,38	2 500	26 000	21·10 ⁻⁶
10	2	3	1,32	0,4	3 500	45 000	21·10 ⁻⁶
11	1	1,5	0,66	0,2	3 500	12 000	21·10 ⁻⁶
12	1,2	1,8	0,79	0,24	3 500	13 000	21·10 ⁻⁶
13	1,3	1,95	0,86	0,26	2 500	15 000	21·10 ⁻⁶
14	1,4	2,1	0,92	0,28	2 500	20 000	21·10 ⁻⁶
15	1,5	2,25	0,99	0,3	3 500	25 000	21·10 ⁻⁶
16	1,6	2,4	1,06	0,32	3 500	29 000	21·10 ⁻⁶
17	1,7	2,55	1,12	0,34	3 500	31 500	21·10 ⁻⁶
18	1,8	2,7	1,19	0,36	3 000	30 000	21·10 ⁻⁶
19	1,9	2,85	1,25	0,38	2 500	32 000	21·10 ⁻⁶
20	2	3	1,32	0,4	3 500	37 000	21·10 ⁻⁶
21	0,5	0,75	0,33	0,1	3 500	2 000	21·10 ⁻⁶
22	0,7	1,05	0,46	0,14	3 500	3 500	21·10 ⁻⁶
23	0,9	1,35	0,59	0,18	2 500	8 000	21·10 ⁻⁶
24	1,1	1,65	0,73	0,22	2 500	13 000	21·10 ⁻⁶
25	1,3	1,95	0,86	0,26	3 500	20 000	21·10 ⁻⁶

2.3 Питання з підготовки до модульного контролю

1. Поясніть, які сили діють на частку пилу при її осадженні в ПОК.
2. Наведіть будову та поясніть принцип дії пилоосаджувальної камери.
3. Поясніть призначення, будову та принцип дії жалюзійного

пиловловлювача.

4. Поясніть призначення, будову та принцип дії інерційного пиловловлювача.

5. Наведіть параметри, які впливають на ефективність роботи циклона та поясніть у чому полягає їх вплив.

6. Поясніть будову та принцип дії основних типів одиничних циклонів.

7. Поясніть будову та принцип дії батарейного циклона.

8. Поясніть, які порушення можуть спостерігатися при роботі циклона та що їх спричиняє.

3 ФІЛЬТРАЦІЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНА ОЧИСТКА ГАЗІВ

3.1 Фізичні засади очищення газів фільтрацією

Робота поруватих фільтрів усіх видів базується на фільтрації запиленого газу через поруvату перетинку. У процесі фільтрації частки пилу, що зависли в газі, затримуються перетинкою, а газ безперешкодно проходить крізь неї. Як поруvаті перетинки, можуть використовуватися тканина, папір, волокнуватий матеріал, кераміка, металева сітка, зернистий шар.

До основних характеристик поруvатої перетинки належать:

– поруvатість – дорівнює співвідношенню порожнього простору (обсягу пор) між твердими непроникними елементами поруvатого середовища до загального обсягу, який займає поруvате середовище;

– щільність упаковки – дорівнює співвідношенню твердих елементів фільтруючої перетинки до загального обсягу, який займає поруvате середовище;

– відносна поверхня порових каналів – це сумарна поверхня порових каналів в одиниці об'єму фільтруючого матеріалу;

– швидкість фільтрації – умовна швидкість, що дорівнює відношенню об'ємної витрати газу, що проходить через фільтр, до повної площі фільтруючої перетинки;

– фактична швидкість газу в поровому каналі перевищує швидкість фільтрації та залежить від поруvатості фільтруючої перетинки.

Практичне завдання 8 Розрахунок характеристик поруvатої перетинки фільтра

За вихідними даними (табл. 3.1) визначте характеристики ідеального поруvатого матеріалу.

В ідеальному матеріалі перетин капілярних каналів циліндричний, канали паралельні один щодо іншого (рис. 3.1).

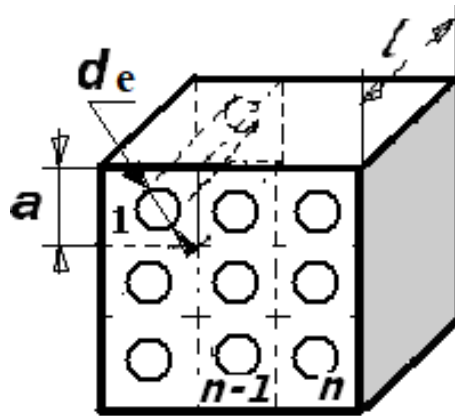


Рисунок 3.1 – Одиничний об’єм ідеального фільтруючого матеріалу

Поруватість визначається за формулою

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{пор}}}{V} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4 \cdot a^2},$$

де d_e – діаметр порового каналу, м;

a – проміжок між вісями отворів, м.

Щільність упаковки визначається за формулою

$$\alpha = 1 - \varepsilon.$$

Відносна поверхня порових каналів визначається за формулою

$$S = \frac{\pi \cdot d_e}{a^2}.$$

Швидкість фільтрації визначається за формулою

$$w_{\phi} = \frac{Q_{\Gamma}}{F},$$

де Q_{Γ} – витрата газу, м^3 ;

F – площа поверхні фільтра, м^2 .

Фактична швидкість газу в поровому каналі визначається за формулою

$$w = \frac{Q_{\Gamma}}{\varepsilon \cdot F} = \frac{w_{\phi}}{\varepsilon}.$$

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до практичного завдання 8

Варіант	Діаметр порового каналу, 10^4м	Проміжок між осями отворів, 10^4м	Витрата повітря, $\text{м}^3/\text{год}$	Площа поверхні фільтра, м^2
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
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	10 000	120
21	2	8	1 800	30
22	1	6	2 520	50
23	5	25	3 600	40
24	1	6	4 600	30
25	3	12	6 500	40

3.2 Електричне очищення газів

Електрофільтри широко використовуються для очистки промислових газів майже в усіх галузях, зокрема теплоенергетиці, чорній та кольоровій металургії, хімії та нафтохімії, будівництві, виробництві добрив та утилізації промислових відходів, атомній енергетиці тощо.

Процес електроочистки можна поділити на такі стадії:

– зарядження часток, завислих у газі;

- рух заряджених часток до електродів;
- осадження часток на електродах;
- видалення осаджених часток з електроду.

Умовою осадження частки пилу на поверхню електроду є забезпечення певного співвідношення між швидкістю газу, швидкістю дрейфу частки та міжелектродним проміжком. Прирівнюючи силу взаємодії між електродом та зарядом частки, з одного боку, та силу аеродинамічного опору руху частки, з іншого боку, можна теоретично визначити швидкість руху частки до осаджувального електроду, тобто швидкість дрейфу.

Ступінь очистки в електрофільтрі залежить від швидкості дрейфу та питомої поверхні осадження.

Практичне завдання 9 Визначення ступеня очистки електрофільтра

За вихідними даними (табл. 3.2) розрахуйте теоретичний ступінь очистки для електрофільтра часток різного діаметра.

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

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

де r_p – радіус частки пилу, мкм;

E – напруженість електричного поля, В/м.

Для часток пилу з розміром $d_p \leq 1$ мкм швидкість дрейфу розраховуємо за формулою

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

де C_K – поправка Кеннінгема – Міллікена;

$$C_K = 1 + \left(\frac{A \cdot \lambda}{r}\right),$$

де A – чисельний коефіцієнт, що дорівнює 0,815–1,63; у розрахунку значення A приймаємо рівним одиниці;

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

Парціальна ефективність пластинчастого електрофільтра визначається за формулою

$$\eta_{\text{п}} = 1 - e^{-\frac{2\omega L}{WN}},$$

где ω – швидкість дрейфу часток, м/с;

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

L – активна зона електрофільтра, м;

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

Таблиця 3.2 – Вихідні дані до практичного завдання 9

Варіант	$d_{\text{ч1}}$, мкм	$d_{\text{ч2}}$, мкм	E , В/м	$2N$, м	W , м/с	L , м
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
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

3.3 Питання з підготовки до модульного контролю

1. Які матеріали можуть бути використані у фільтрах, як фільтруючий матеріал?
2. Поясніть, що означає термін «ідеальний поруватий матеріал».
3. Поясніть основні механізми (ефекти) процесу фільтрації.
4. Поясніть механізм виникнення «ситового ефекту».
5. Поясніть призначення, будову та принцип дії рукавного фільтра.
6. Поясніть призначення, будову та принцип дії волокнуватого фільтра.
7. Поясніть призначення, будову та принцип дії зернистого фільтра.
8. Опишіть перебіг процесу електричної очистки в електрофільтрі.
9. Поясніть, що означає поняття «критична напруга електричного поля».
10. Поясніть призначення вольт-амперної характеристики та встановіть, від чого вона залежить.
11. Наведіть основні переваги та недоліки електрофільтрів.
12. Поясніть будову та принцип дії електрофільтра.
13. Наведіть класифікацію електрофільтрів.
14. Охарактеризуйте чинники, що впливають на роботу електрофільтрів.

4 САМОСТІЙНА РОБОТА «ПОРІВНЯННЯ АПАРАТІВ ОЧИСТКИ»

Заповніть таблицю порівняльних характеристик апаратів сухої механічної очистки газів, за формою, наведеною в таблиці 4.1, для таких апаратів очистки:

- а) пилоосаджувальна камера;
- б) циклон;
- в) зернуватий фільтр;
- г) волокнуватий фільтр;
- д) тканинний фільтр;
- ж) жалюзійний пиловловлювач;
- к) електрофільтр

Таблиця 4.1 – Форма для заповнення таблиці порівняльних характеристик апаратів сухої механічної очистки газів

Параметри	Назва апарату очистки
Ступінь очистки	
Розмір вловлених часток	
Гідравлічний опір	
Сфера застосування	
Особливості застосування	

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Зацерклянний М. М. Процеси захисту навколишнього середовища : підручник / М. М. Зацерклянний, О. М. Зацерклянний, Т. Б. Столевич. – Одеса : Фенікс, 2017. – 454 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zatser_2017_454.pdf , вільний).
2. Природоохоронні технології : навч. посіб. Частина 1. Захист атмосфери / Л. І. Северин, В. Г. Петрук, І. І. Безвозюк, І. В. Васильківський. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 388 с. – Існує електронна версія. (Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/213/389/428-1?inline=1> , вільний).
3. Ратушняк Г. С. Технічні засоби очищення газових викидів : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 158 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/7027> , вільний).

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять і організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЇ СУХОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОЧИСТКИ ГАЗІВ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища)

Укладачі: **БЄКСТОВ** Володимир Єгорович,
ЛОМАКІНА Ольга Сергіївна

Відповідальний за випуск *Д. В. Дядін*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *О. С. Ломакіна*

План 2023, поз. 36М

Підп. до друку 19.02.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк арк. 1,5.

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.