

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 1

## **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Державного університету  
«Житомирська політехніка»

протокол від \_\_\_ \_\_\_\_\_  
20\_\_ р. №\_\_

**ПРОЕКТ**  
**МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ**  
для лабораторних робіт студентів  
з навчальної дисципліни  
«Технології захисту атмосферного повітря»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
гірничо-екологічний факультет  
кафедра екології

Розглянуто і рекомендовано  
на засіданні кафедри екології  
протокол від « » 20 р. №

Розробник: к.с.-г.н., доцент кафедри екології Давидова І.В.

Житомир  
2021

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 2

## ЗМІСТ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПІСКА .....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЦИКЛОНІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ РОЗМІРІВ .....	5
1. Загальна характеристика конструкцій циклонів .....	5
2. Методика визначення основних технологічних параметрів роботи циклонів та їх конструктивних розмірів .....	7
3. Визначення конструктивних розміри запроєктованого циклона .....	12
Вихідні дані для розрахунків .....	15
Контрольні запитання .....	15
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПИЛООСАДЖУВАЛЬНИХ КАМЕР І ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ РОЗМІРІВ .....	16
1. Загальна характеристика пилоосаджувальних камер .....	16
2. Методика визначення основних технологічних параметрів роботи пилоосаджувальних камер та їх конструктивних розмірів .....	18
Вихідні дані для розрахунків .....	20
Контрольні запитання .....	20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ РУКАВНИХ ФІЛЬТРІВ .....	21
1. Загальна характеристика рукавних фільтрів .....	21
2. Методика визначення основних технологічних параметрів роботи рукавних фільтрів .....	21
Контрольні запитання .....	28
Вихідні дані для проведення розрахунків технічних параметрів фільтрів .....	29
Рекомендована література .....	30

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 3

## ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

Курс технологій охорони атмосферного повітря є певною мірою узагальнюючим інтегративним курсом по відношенню до циклу як екологічних, так і технічних дисциплін. Він базується на знаннях отриманих студентами із галузевих технічних та екологічних дисциплін.

**Метою навчальної** дисципліни є ознайомлення майбутніх екологів з основним теоретичними і практичними наслідками впливу людської діяльності на стан атмосферного повітря, формування уявлення про фотохімічні процеси що відбуваються в атмосфері, визначення її ролі у розробці та впровадженні заходів зі зменшення викидів забруднюючих речовин підприємствами.

**Завданнями** вивчення навчальної дисципліни є:

- формування в студентів уявлення про процеси, які відбуваються в атмосфері;
- ознайомлення їх із наслідками надходження забруднюючих речовин до газової оболонки землі;
- формування навичок із розробки заходів зменшення антропогенного впливу на стан атмосферного повітря.

**Зміст навчальної дисципліни** направлений на формування наступних компетентностей, визначених стандартом вищої освіти зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»:

K05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

K10. Здатність до попередження забруднення довкілля та кризових явищ і процесів.

K11. Здатність обґрунтовувати, здійснювати підбір, розраховувати, проектувати, модифікувати, готувати до роботи та використовувати сучасну техніку і обладнання для захисту та раціонального використання повітряного та водного середовищ, земельних ресурсів, поводження з відходами.

K15. Здатність до проектування систем і технологій захисту навколишнього середовища та забезпечення їх функціонування.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних програмних результатів навчання за спеціальністю код спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»:

ПР04. Обґрунтовувати природозахисні технології, базуючись на розумінні механізмів впливу людини на навколишнє середовище і процесів, що відбуваються у ньому.

ПР08. Вміти продемонструвати навички вибору, планування, проектування та обчислення параметрів роботи окремих видів обладнання, техніки і технологій захисту навколишнього середовища, використовуючи знання фізико-хімічних властивостей поллютантів, параметрів технологічних процесів та нормативних показників стану довкілля.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 4

ПР12. Обирати інженерні методи захисту довкілля, здійснювати пошук новітніх техніко-технологічних й організаційних рішень, спрямованих на впровадження у виробництво перспективних природоохоронних розробок і сучасного обладнання, аналізувати напрямки вдосконалення існуючих природоохоронних і природовідновлюваних технологій забезпечення екологічної безпеки.

Кількість аудиторних годин – 80,

з них: лекційних – 32

практичних – 16

лабораторних – 32

Кількість годин самостійної роботи – 70.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 5

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЦИКЛОНІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ РОЗМІРІВ

**Мета роботи:** набути практичних навичок у виконанні розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи циклонів та їх конструктивних розмірів.

**Завдання роботи:** 1) освоїти методику виконання розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи циклонів та їх конструктивних розмірів; 2) виконати розрахунки по визначенню основних технологічних параметрів роботи циклонів та їх конструктивних розмірів згідно з варіантом завдання; 3) дати письмову відповідь на питання, наведені в кінці роботи.

### 1. Загальна характеристика конструкцій циклонів

Серед засобів сухого інерційного очищення газових викидів від пилу найбільш поширені циклони, які застосовуються для виділення з газового потоку частинок порівняно великого розміру. Вони здійснюють очищення газів в різних галузях промисловості: у чорній і кольоровій металургії, хімічній і нафтовій промисловості, промисловості будівельних матеріалів, енергетиці і ін.

Залежно від якостей пилу і його дисперсного складу та вимог до очищення газу циклони застосовуються як апарати першого ступеня очищення або в сполученні з іншими пиловловлювачами. Вони ефективно вловлюють з газу частинки пилу діаметром 5 мкм і більші. Допустима початкова концентрація пилу в пилогазовому потоці, що очищується в циклонах, залежить від якостей забруднених газів, конструкції й розмірів циклона. При невеликих капітальних і експлуатаційних витратах, циклони залежно від характеристик уловлюваного пилу, типу і режиму роботи забезпечують ефективність очищення газів і пиловловлювання на рівні 80-95%.

Перевагою циклонів є:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійне функціонування при температурах газів майже до 500°C;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті спеціальним покриттям внутрішньої поверхні;
- простота виготовлення конструкції;
- незалежність роботи апарата від тиску газу;
- незалежність фракційної ефективності очищення від зростання запиленості газів;
- висока продуктивність при порівняно низькій вартості.

Недоліком їх є те, що значний гідравлічний опір 1250...1500 Па вискоефективних циклонів призводить до поганого уловлення частинок розміром менше 5 мкм.

Класифікація циклонів за конструктивними ознаками наведена на рисунку. 1.1.



Рис. 1.1. Класифікація циклонів за конструктивними ознаками

В різних галузях промисловості залежно від умов виробництва та вимог очищення використовують різноманітні типи циклонів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1. Класифікація циклонів за призначенням

Призначення циклона	Марка циклона
Уловлення сухого пилу, що не злипається	СИОТ, СИОТ – М, СИОТ – М1, ЛИОТ
Уловлення пилу в технологічних газах і вентиляційних викидах	ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24, СДК-ЦН33, СДК-ЦН34, СДК-ЦН34М, СК-ЦН
Очищення технологічних викидів деревообробних виробництв від пилу, що не злипається, неволокнистих, а також сумішей пилу з сухою тирсою і стружкою	ОЭКДМ, УЦ конструкції Древопрома, циклони конструкції Гипродревпрома типу Ц, циклони Гипродрева, ЛТА
Видалення відходів борошномельної та комбикормової промисловості	УЦ-38 конструкції Мельстроля, ЦОЛ, 4БЦШ

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 7

Видалення абразивного пилю	ЦОК
Видалення волокнистого і зернистого пилю, та пилю, який злипається	ЦМ, РИСИ
Уловлювання пилю після систем сушки або помелу палива парогенераторів, що спалюють тверде паливо в пилоподібному стані	ЦП-2

## 2. Методика визначення основних технологічних параметрів роботи циклонів та їх конструктивних розмірів

Для виконання розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи циклона необхідні такі вихідні дані:

Об'єм (витрати) очищеного газу	$Q_{г}, \text{ м}^3/\text{с}$
Температура очищеного газу	$t_{г}, \text{ }^{\circ}\text{C}$
Густина очищеного газу за робочих умов	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$
Динамічна в'язкість очищеного газу за нормальних умов	$\mu, \text{ мкПа}\cdot\text{с}$
Дисперсний склад пилю	$d_{50}, \text{ мкм}$
Ступінь полідисперсності пилю	$\lg \delta$
Вхідна концентрація пилю	$C_{вх}, \text{ г}/\text{м}^3$
Густина часток пилю	$\rho_{ч}, \text{ кг}/\text{м}^3$
Необхідна ефективність очищення газопилової суміші	$\eta$

### 2.1. Розраховуємо витрати очищеного газу при робочих умовах:

$$Q_{ГР} = \frac{Q_{г}(t_{г} + T_{0})}{T_{0}} \quad (1.1)$$

де

$Q_{г}$  - об'єм (витрати) очищеного газу,  $\text{ м}^3/\text{с}$ ;

$t_{г}$  - температура очищеного газу,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{0}$  -  $273^{\circ}\text{K}$  – абсолютна температура.

### 2.2. Визначаємо необхідну площу перерізу циклона:

$$S_{ц} = \frac{Q_{гг}}{w_{ог}} \quad (1.2)$$

де

$Q_{гг}$  - витрати очищеного газу при робочих умовах,  $\text{ м}^3/\text{с}$ ;

$w_{ог}$  – оптимальна швидкість руху очищеного газу в циклоні,  $\text{ м}/\text{с}$  (таблиця 1.2).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 8

**Таблиця 1.2. Оптимальна швидкість руху очищеного газу  $\omega_{ог}$  в перерізі циклона з діаметром  $D$ , м/с**

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СКД-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$\omega_{оп}$	4,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

**2.3. Обчислюємо діаметр циклона за формулою 1.3:**

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4S_{ц}}{\pi}} \quad (1.3)$$

Обчислене значення діаметра циклона  $D_{ц}$  округляють до величини стандартного значення циклона  $D$ . Якщо розрахунковий діаметр перевищує максимальне значення, передбачають встановлення декількох паралельних циклонів.

**2.4. За вибраним значенням діаметра циклона знаходимо дійсну швидкість газів у циклоні:**

$$w = 4Q_{гр} / (\pi n D^2) \quad (1.4)$$

де

$n$  – кількість встановлених, за необхідності, паралельних циклонів.

Дійсна швидкість газу в циклоні  $w$  не повинна різнитися з оптимальною  $w_{ог}$  більше, ніж на 15%.

**2.5. Обчислюємо коефіцієнт гідравлічного опору циклона:**

$$\varphi = K_1 K_2 \varphi_{500} + K_3 \quad (1.5)$$

де:

$\varphi_{500}$  – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона діаметром 500 мм, Па (**таблиця 1.3**);

$K_1$  – поправковий коефіцієнт, що враховує діаметр циклона (**таблиця 1.4**);

$K_2$  – поправковий коефіцієнт, що враховує запиленість газу (**таблиця 1.5**);

$K_3$  – поправковий коефіцієнт, який враховується лише для батарейних (групових) циклонів (**таблиця 1.6**).



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 9

**Таблиця 1.3. Параметри, що визначають ефективність роботи типових циклонів**

Марка циклона	Середній розмір частинок $d_{50}^T$ , мкм	Ступінь полідисперсності пилу, $lg \delta_{\eta}$	Коефіцієнт гідравлічного опору, Па		
			без додаткових пристроїв		з вихідним рівником
			$\Phi_{500}^M$	$\Phi_{500}^O$	
ЦН-11	3,65	0,352	245	250	235
ЦН-15	4,50	0,352	155	163	150
ЦН-15У	6,00	0,283	165	170	158
ЦН-24	8,50	0,308	75	80	73
СДК-ЦН-33	2,31	0,364	520	600	500
СДК-ЦН-34	1,95	0,308	050	1150	-
СДК-ЦН-34М	1,13	0,340	-	2800	-
СИОТ	2,6	0,280	-	1400	-
Ц	4,12	0,340	-	210	-

**Примітка.** Коефіцієнт гідравлічного опору для поодиноких циклонів ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24, СДК-ЦН-33, СДК-ЦН-34, СДК-ЦН-34М наведено для діаметра 500 мм. Індекс “М” означає, що циклон працює в гідравлічній мережі, а “О” – безпосередній випуск очищених газів в атмосферу.

**Таблиця 1.4. Значення поправкового коефіцієнта  $K_1$  залежно від діаметра циклона**

Тип циклона	Значення $K_1$ для циклона діаметром D, мм				
	150	200	300	450	500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
СДК-ЦН-33, СДК-ЦН-34, СДК-ЦН-34М	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 10

**Таблиця 1.5. Значення поправкового коефіцієнта  $K_2$  залежно від запиленості газів для циклонів діаметром 500 мм**

Тип циклона	Значення $k_2$ при $C_{вх}$ , г/м <sup>3</sup>						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1,0	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1,0	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1,0	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1,0	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СКД-ЦН-33	1,0	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СДК-ЦН-34	1,0	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СДК-ЦН-34М	1,0	0,99	0,97	0,95	-	-	-

**Таблиця 1.6. Значення поправкового коефіцієнта  $K_3$  для груп циклонів типу ЦН**

Характеристика групового циклона	$K_3$ , Па
Компонування, нижче організоване підведення	60
Компонування, циклонні елементи розташовані в одній площині. Відведення з загальної камери чистого газу	35
Таке саме, але равликове відведення із циклонних елементів	28
Прямокутне компонування. Вільне підведення потоку в загальну камеру	60

### 2.6. Знаходимо втрати тиску в циклоні:

$$\Delta P = 0,5 \varphi_{500} \rho_{ГР} w \quad (1.6)$$

де

$\rho_{ГР}$  – густина газу при робочих умовах, кг/м<sup>3</sup>.

Густина газу при робочих умовах визначається за формулою 1.7:

$$\rho_{ГР} = \rho_{Г} \frac{P_0(P_a - P')}{P_0(T_0 + t_2)} \quad (1.7)$$

де

$\rho_{Г}$  – густина вологого газу за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>;

$P_0$  – нормальний атмосферний тиск, 101300 Па;

$P_a$  – фактичний атмосферний тиск, Па;

$P'$  – розрідження газу в циклоні, Па.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 11

Втрати тиску газу в циклоні не повинні перевищувати допустимого значення для даного типу апарата.

### 2.7. Визначаємо медіанну тонкість очищення при робочих умовах:

$$d_{50}^M = d_{50}^T \sqrt{(D/D_T)(\rho_c/\rho_T)(\mu_{zp}/\mu_T)(w_T/w)} \quad (1.8)$$

де

$d_{50}^T$  – середній розмір часточок пилу, мкм (таблиця 3);

$D_T$  – 0,6 м;

$\rho_T$  – 1930 кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_{гр}$  – динамічна в'язкість газу при робочих умовах, мкПа · с, яку визначають за формулою 1.9:

$$\mu_{гр} = \mu_T \left( \frac{T_0 + C}{(T_0 + t_z) + C} \right) \left( \frac{T_0 + t_z}{T_0} \right)^{3/2} \quad (1.9)$$

де  $C = 124$  – константа.

$\mu_T$  – 22,2 · мкПа · с;

$w_T$  – 3,5 м/с.

### 2.8. Знаходимо ефективність очищення газу в циклоні:

$$\eta = 50 [1 + \Phi(x)] \quad (1.10)$$

де  $\Phi(x)$  – нормальна функція розподілу (табл. 9) від параметра  $X$ , що обчислюється за формулою:

$$X = \lg(d_{50}/d_{50}^T) \frac{1}{\sqrt{\lg^2 \delta_\eta + \lg^2 \delta}}$$

Значення  $d_{50}$  та  $\lg \delta$  для деяких видів пилу наведені в таблиці 1.7, значення  $\lg \delta_\eta$  наведені в таблиці 1.3.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 12

**Таблиця 1.7. Значення середнього розміру частинок і ступеня полідисперсності деяких видів пилу**

Технологічний процес	Вид пилу	Середній розмір частинок, $d_{50}$ мкм	Ступінь полідисперсності, $lg\delta$
Точіння інструментів	Абразивно-металевий	38	0,214
Експериментальні дослідження	Кварцовий пил	3,7	0,405
Сушіння вугілля в барабані	Вугільний пил	15	0,334
Виробництво будівельних матеріалів	Цементний пил	20	0,468

**Таблиця 1.8. Значення нормальної функції розподілу**

Значення X	$\Phi(x)$	Значення X	$\Phi(x)$	Значення X	$\Phi(x)$	Значення X	$\Phi(x)$
-2,7	0,004	-1,3	0,097	0,1	0,540	1,5	0,933
-2,6	0,005	-1,2	0,115	0,2	0,579	1,6	0,945
-2,5	0,006	-1,1	0,136	0,3	0,618	1,7	0,955
-2,4	0,008	-1,0	0,159	0,4	0,655	1,8	0,964
-2,3	0,0011	-0,9	0,184	0,5	0,691	1,9	0,971
-2,2	0,0014	-0,8	0,212	0,6	0,719	2,0	0,977
-2,1	0,0018	-0,7	0,242	0,7	0,758	2,1	0,982
-2,0	0,023	-0,6	0,274	0,8	0,788	2,2	0,986
-1,9	0,029	-0,5	0,308	0,9	0,816	2,3	0,989
-1,8	0,036	-0,4	0,345	1,0	0,841	2,4	0,992
-1,7	0,045	-0,3	0,382	1,1	0,864	2,5	0,994
-1,6	0,055	-0,2	0,421	1,2	0,882	2,6	0,995
-1,5	0,067	-0,1	0,460	1,3	0,903	2,7	0,996
-1,4	0,081	0,0	0,500	1,4	0,919	-	-

### 3. Визначення конструктивних розміри запроектованого циклона

Для визначення конструктивних розмірів запроектованого циклона використовують рекомендовані співвідношення його конструктивних елементів до внутрішнього діаметра  $D$ . Використовуючи відомості, наведені в таблицях 9 і 10, знаходимо конструктивні розміри циліндричних чи спірально-конічних циклонів, величини яких заносимо в таблицю 1.11 чи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 13

1.12. На рис. 1.2. наведені конструктивні схеми циліндричних (а) та конічних (б) циклонів.

Конструктивні розміри циліндричних та конічних циклонів беруться в частинах від внутрішнього діаметра  $D$ . Для циліндричних циклонів ці співвідношення такі:

- загальна висота циклона  $H = (3,31...4,56) D$ ;
- висота циліндричної частини  $H_{ц} = (1,51...2,26) D$ ;
- висота конічної частини  $H_{к} = (1,5...2,0) D$ ;
- діаметр вихлопної труби  $d = (0,22...0,34) D$ ;
- діаметр пиловипускного отвору  $d_1 = (0,3...0,4) D$ ;
- діаметр вхідного патрубку  $a = (0,48...1,11) D$ .

В таблиці 1.9 наведені відносні розміри циліндричних циклонів як частки діаметра їх корпусу.

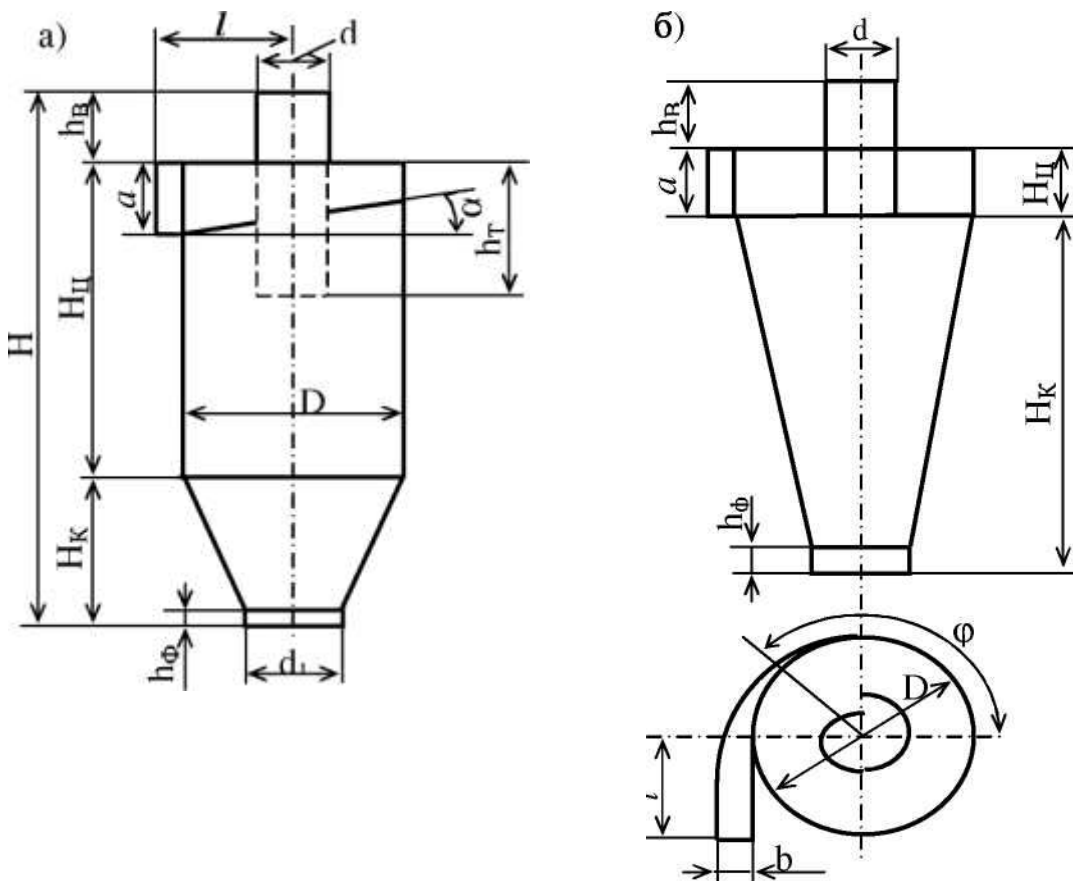


Рис. 1.2. Конструктивні схеми циліндричних (а) та конічних (б) циклонів конструкції НИИОГАЗА



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 15

**Таблиця 1.12. Конструктивні розміри спірально-конічного циклона \_\_\_\_\_, мм**

Тип цикло на	Діаметр циклона	Найменший діаметр конічної частини циклона	Довжина вхідного пагрубка	Діаметр вхідного пагрубка	Висота циліндричної частини циклона	Висота конічної частини циклона	Діаметр вихлопної труби	Висота зовнішньої частини вихлопної труби	Висота заглибленої частини вихлопної труби	Діаметр бункера	Висота циліндричної

Параметри накопичувального бункера циклона визначають, виходячи з того, що його діаметр  $D_6$  для конічних циклонів – 1,1 – 1,2 D, для циліндричних – 1,5 D. Висота циліндричної частини бункера становить 0,8D незалежно від конструкції циклона, його днище виконується з кутом нахилу між стінками  $60^\circ$ , а вхідний отвір має діаметр 250 або 500 мм.

#### Вихідні дані для розрахунків

Параметри	Варіант вихідних даних для розрахунку					
	I	II	III	IV	V	VI
Тип циклона	ЦН-15, м	ЦН-15, о	ЦН-11, о	СК-ЦН-34, м	СДК-ЦН-33, о	СДК-ЦН-34М, м
Кількість газу, що очищується, $Q_g$ , тис $m^3$ /год	0,85	1,54	1,83	2,74	3,26	4,40
Температура очищуваного газу $t_g$ , $^\circ C$ .	100	350	200	250	300	150
Густина вологого газу $\rho_g$ , $kg/m^3$	1,13	1,20	1,22	1,25	1,29	1,31
Густина пилу $\rho_{ch}$ , $kg/m^3$	1500	2000	2500	3000	3500	3550
Розрідження газу на вході в циклон $P'$ , мм. вод. ст.	10	15	20	25	30	32
Припустимий гідравлічний опір групи циклонів $\Delta P$ , мм. рт. ст.	50	60	70	65	55	75
Динамічна в'язкість очищуваного газу за нормальних умов, $\mu_g$ , мкПа•с	8,6	6,2	13,8	10,3	11,7	12,8
Початкова запиленість газів $q$ , $g/m^3$	55	45	25	30	35	60
Характер пилу	кварцовий	вугільний	цементний	кварцовий	вугільний	цементний
Ступінь уловлювання пилу $\eta$ , %.	80	85	95	90	92	98
№ питання для відповіді	1,8	2,7	3,6	1,4	5,8	7,3

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 16

**Примітка:** 1 мм рт. ст. – 1,33 мб; 1 мб – 100 Па; 1 гПа – 0,75 мм. рт. ст.; 1 мм вод. ст. – 9,8 Па

### Контрольні запитання

1. Під дією яких сил відбувається осадження завислих частинок в сухих пиловловлювачах?
2. Принцип роботи, переваги й недоліки циклонів.
3. Наведіть класифікацію циклонів за конструктивними ознаками.
4. Охарактеризуйте поширені на Україні та в країнах близького зарубіжжя циклони.
5. Поясніть застосування та конструктивні особливості розповсюджених типів циклонів загального призначення.
6. Принцип дії та конструктивні особливості прямоточних циклонів.
7. Коли використовуються групові циклони та які їх технічні характеристики?
8. Особливості використання батарейних циклонів та які їх технічні характеристики.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 17

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПИЛООСАДЖУВАЛЬНИХ КАМЕР І ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ РОЗМІРІВ

**Мета роботи:** набути практичних навичок у виконанні розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи пилоосаджувальних камер та їх конструктивних розмірів.

**Завдання роботи:** 1) освоїти методику виконання розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи пилоосаджувальних камер та їх конструктивних розмірів; 2) виконати розрахунки по визначенню основних технологічних параметрів роботи пилоосаджувальних камер та їх конструктивних розмірів згідно з варіантом завдання; 3) дати письмову відповідь на питання, наведені в кінці роботи.

### 1. Загальна характеристика пилоосаджувальних камер

Пилоосаджувальні камери застосовують для гравітаційного грубого очищення газових викидів від частинок пилу розміром 30...100 мкм. Принцип роботи пилоосаджувальних камер ґрунтується на виведенні частинок пилу з газопилового потоку шляхом їх осадження під дією сили ваги. Їх застосовують для уловлення великих частинок сировинних матеріалів після оберткових цементних печей, печей для обпалювання магнезиту і доломіту тощо.

Перевагою пилоосаджувальних камер є простота виготовлення. Матеріалом для їх виготовлення є цегла, збірний залізобетон, сталь та дерево (для холодних газів). Перевагою також є незначний гідравлічний опір – 50...100 Па.

Недоліком пилоосаджувальних камер є низька ефективність пилоуловлення (40...50 %), особливо при вловленні дрібнодисперсного пилу ( $d < 20$  мкм), а також їх громіздкість.

Принципова конструктивна схема пилоосаджувальної камери наведена на рис. 1.

За конструкцією пилоосаджувальні камери бувають порожнисті, пустотілі (рис. 2.2), з горизонтальними полицями (рис. 2.2, а), з вертикальними перегородками (рис. 2.2, б, в), з ланцюговими чи дротяними завісами (рис. 2.2, г).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 18

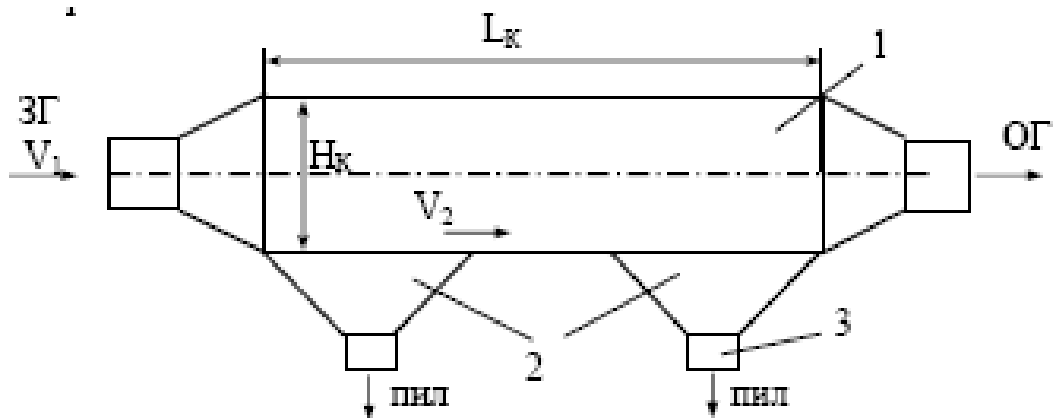


Рис. 2.1. Принципова конструктивна схема пилоосаджувальної камери:  
1 – корпус; 2 – бункер; 3 – штуцер для видалення пилу

## 2. Методика визначення основних технологічних параметрів роботи пилоосаджувальних камер та їх конструктивних розмірів

Для виконання розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи пилоосаджувальної камери необхідні такі вихідні дані:

Об'єм (витрати) очищеного газу	$Q_{\Gamma}$ , м <sup>3</sup> /с
Температура очищеного газу	$t_{\Gamma}$ , °С
Динамічна в'язкість очищеного газу за нормальних умов	$\mu_{\Gamma}$ , мкПа•с
Дисперсний склад пилу	$d_{\text{ч}}$ , мкм
Густина часток пилу	$\rho_{\text{ч}}$ , кг/м <sup>3</sup>

### 2.1. Розраховуємо витрати очищеного газу при робочих умовах:

$$Q_{\Gamma P} = \frac{Q_{\Gamma}(t_{\Gamma} + T_0)}{T_0} \quad (2.1)$$

де

$Q_{\Gamma}$  – об'єм (витрати) очищеного газу, м<sup>3</sup>/с;

$t_{\Gamma}$  – температура очищеного газу, °С;

$T_0$  – 273°К – абсолютна температура.

### 2.2. Обчислюємо площу вертикального перерізу пилоосаджувальної камери:

$$S_B = \frac{Q_{\Gamma P}}{w_{\Gamma}} \quad (2.2)$$

де  $w_{\Gamma}$  - швидкість руху газів в камері (звичайно 0,2...1,5 м/с).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 19

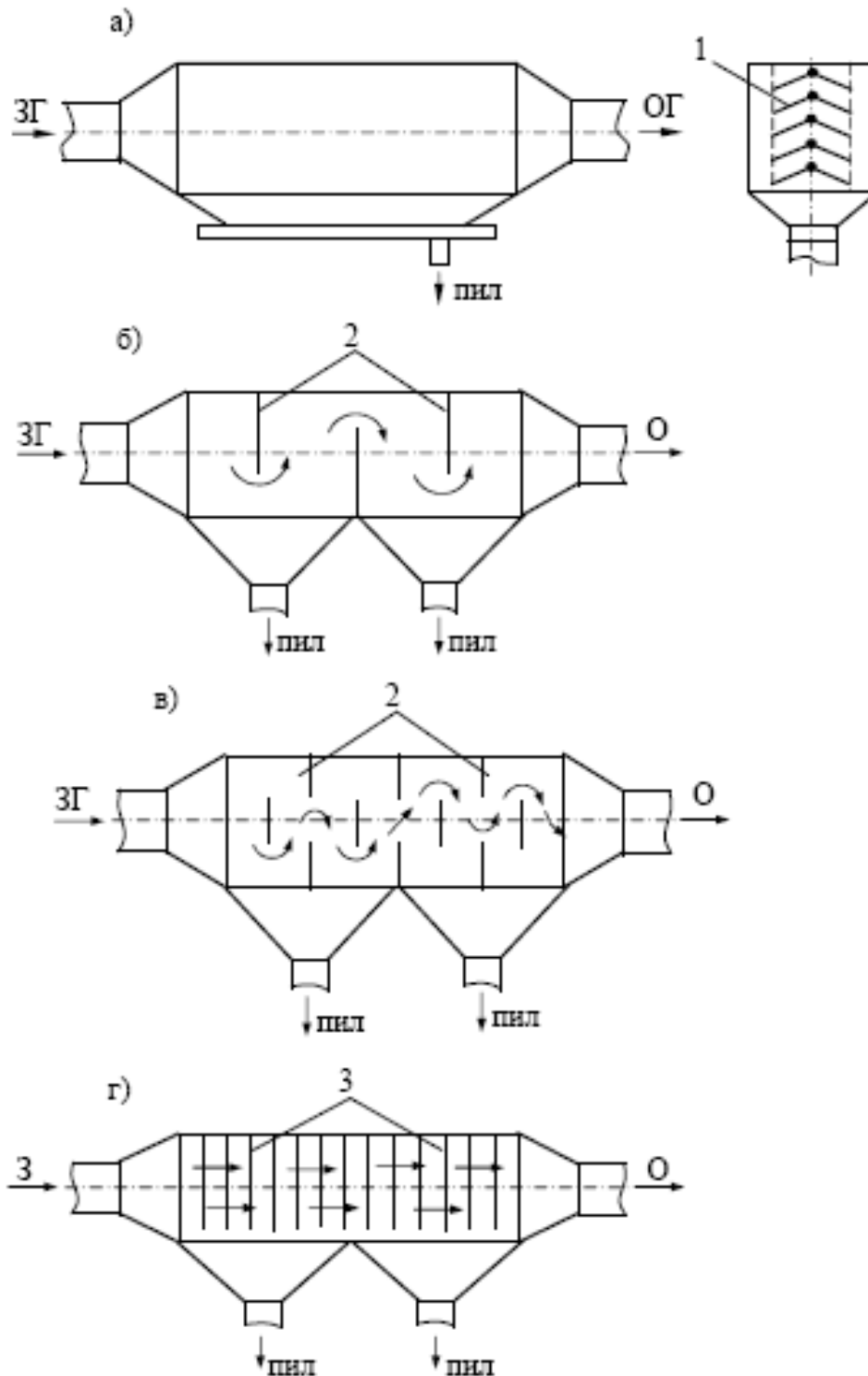


Рис. 2.2. Конструкції пилоосаджувальних камер:  
1 – полиці; 2 – перегородки; 3 – ланцюгова або дротяна завіса

### 2.3. Визначаємо площу дна пилоосаджувальної камери:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 20

$$S_D = \frac{18\mu_z \cdot Q_{ep}}{d_q^2 \cdot g \cdot \rho_q} \quad (2.3)$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – гравітаційна стала;

$\mu_{гр}$  – динамічна в'язкість газу за нормальних умов, мкПа · с;

$d_q$  – середній розмір часточок пилу, мкм;

$\rho_q$  – густина пилу, кг/м<sup>3</sup>.

#### **2.4. Визначаємо габаритні розміри пилоосаджувальної камери:**

Задавшись значенням висоти осаджувальної камери  $H_K$  визначаємо її ширину й довжину:

$$B_K = S_B / H_K \quad (2.4)$$

$$L_K = S_D / B_K \quad (2.5)$$

#### **2.5. Визначаємо габаритні розміри пилоосаджувальної камери з рахуванням розміщення полиць:**

Для зменшення довжини пилоосаджувальної камери в ній передбачають полиці, що еквівалентно збільшенню площі дна камери  $S_D$ . Наявність ланцюгової чи дротяної завіси, вертикальних чи горизонтальних полиць додає до гравітаційного ефекту ефект інерційного осадження при обтіканні газовим потоком різних перешкод. В результаті цього збільшується ефективність роботи пилоосаджувальних камер. При наявності  $n$  полиць площа однієї полиці дорівнює:

$$S_{\Pi} = S_D / n \quad (2.6)$$

Знаходимо величину, на яку можна зменшити загальну висоту камери з урахуванням розміщення полиць:

$$H_z = n \cdot h_{\Pi}, \quad (2.7)$$

де  $h_{\Pi}$  – відстань між полицями, 0,2...0,3 м.

Визначаємо величину, на яку можна зменшити довжину пилоосаджувальної камери за рахунок розміщення полиць :

$$L_{K3} = S_{\Pi} / B_K \quad (2.8)$$

Мінімальний розмір частинок, які будуть повністю осаджені в камері після встановлення полиць, визначається за залежністю:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 21

$$d_{\text{ч}} = \frac{Q_{\text{гр}} \cdot \mu_{\text{г}}}{g \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot L_{\text{к}} \cdot B_{\text{к}}} \quad (2.9)$$

де  $Q_{\text{гр}}$  – витрати очищеного газу, м<sup>3</sup>/с;

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

$g$  – прискорення вільного падіння, м<sup>2</sup>/с;

$\rho_{\text{ч}}$  – густина частинок пилу, кг/м<sup>3</sup>;

$L_{\text{к}}$  – довжина камери, м;

$B_{\text{к}}$  – ширина камери, м.

### Вихідні дані для розрахунків

Параметри	Варіант вихідних даних для розрахунку					
	I	II	III	IV	V	VI
Кількість газу, що очищується, $Q_{\text{г}}$ , тис м <sup>3</sup> /Год	20	25	30	35	40	45
Температура очищеного газу $t_{\text{г}}$ , °С.	400	500	100	200	650	400
Характер пилу, що вловлюється	вапняковий	асбестовий	деревна стружка	крохмаль	неорганічний пил від плавильних печей	металевий пил
Густина пилу $\rho_{\text{ч}}$ , кг/м <sup>3</sup>	2780	2200	1180	1270	3020	6550
Розмір часток, що осаджуються, $d_{\text{ч}}$ , мкм	70	260	1370	65	117	80
Динамічна в'язкість очищеного газу за нормальних умов, $\mu$ , мкПа·с	8,6	6,2	7,8	9,3	10,7	6,8
Висота пилоосаджувальної камери, м	6,0	5,0	4,0	4,5	6,5	5,5
Кількість полиць, шт	4	3	4	3	4	2
№ питання для відповіді	1,4	2,4	3,4	1,3	2,3	1,2

### Контрольні запитання

1. Під дією яких сил відбувається осадження завислих частинок в сухих пиловловлювачах?
2. Принцип роботи, переваги й недоліки пилоосаджувальних камер.
3. Наведіть приклади конструкцій пилоосаджувальних камер.
4. Поясніть методику визначення габаритних розмірів пилоосаджувальної камери.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 22

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ РУКАВНИХ ФІЛЬТРІВ

**Мета роботи:** набути практичних навичок у виконанні розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи рукавних фільтрів.

**Завдання роботи:** 1) освоїти методику виконання розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи рукавних фільтрів; 2) дати письмову відповідь на питання, наведені в кінці роботи.

### 1. Загальна характеристика рукавних фільтрів

**Рукавні фільтри** є високоефективним устаткуванням сучасної конструкції для очищення від пилу промислових газів у чорній та кольоровій металургії, хімічній промисловості, при виробництві будівельних матеріалів, у теплоенергетиці, деревообробній, целюлозно-паперовій, легкій та інших галузях промисловості.

Рукавні фільтри з імпульсною регенерацією можуть бути використані також в аспіраційних системах апаратів та виробничих приміщеннях, де відбувається пиловиділення, що забруднює атмосферу.

Використання в системах пилогазоочищення рукавних фільтрів дозволяє гарантовано забезпечити зниження викидів пилу в атмосферу значно нижче гранично допустимих норм. Застосування спеціальних фільтруючих матеріалів забезпечує зниження залишкового вмісту пилу до  $20 \text{ мг/м}^3$  і менш і уловлювання часток до  $0,3$  мікрони.

### 2. Методика визначення основних технологічних параметрів роботи рукавних фільтрів

Вихідні дані: витрати очищувальних газів,  $Q_{\Gamma}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ; температура газів  $t_{\Gamma}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ; діаметр частинок пилу,  $d_{50}$ ,  $\text{мкм}$ ; в'язкість газу при робочих умовах,  $\mu_{\Gamma}$ ,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ , тип фільтру, вид фітруючої тканини, вид пилу, густина газу при нормальних умовах,  $\rho_{\Gamma}$ ,  $\text{кг/м}^3$ ; запиленість газу  $C_{\Gamma}$ ,  $\text{г/м}^3$ ; атмосферний тиск,  $P_a$ ,  $\text{Па}$  (за відсутності можливості визначити атмосферний тиск за реальних умов  $P_a$  приймається рівним  $97400 \text{ Па}$  ( $730 \text{ мм. рт. ст.}$ )); тривалість регенерації однієї секції  $\tau'$ ,  $\text{с}$ .

Вихідні дані для проведення розрахунків визначають за варіантом у таблиці вихідних даних (номер варіанту відповідає порядковому номеру студента у групі).

Технологічні розрахунки фільтрувальних апаратів зводяться до визначення площі фільтрувальної перегородки, гідравлічного опору фільтрувальної перегородки і апарата в цілому, частоти і тривалості циклів регенерації фільтрувальних елементів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 23

Витрати газу при робочих умовах визначають за формулою:

$$Q_{ГР} = (Q_{Г} \cdot T_{Р}) / T_{0}, \text{ (м}^3/\text{с)} \quad (3.1)$$

де  $T_{Р} = (t_{Г} + T_{0})$  – температура газів в робочих умовах, °К;

$T_{0} = 273^{\circ}\text{К}$  – абсолютна температура.

Густина газу при робочих умовах

$$\rho_{ГР} = \rho_{Г} T_{0} (P_{a} + P') / P_{0} (T_{0} + t_{Г}), \text{ (кг/м}^3\text{)} \quad (3.2)$$

де  $P_{0} = 101300$  Па – нормальний атмосферний тиск.

$P'$  - розрахунковий надмірний тиск, що визначається за типом фільтру (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Фільтри з імпульсною продувкою

Технічна характеристика	ФРКІ-30	ФРКІ-90	ФРКІ-360	ФРКДІ-550	ФРКДІ-1100	ФРКДІ-15-130	ФРКІ-60
Фільтрувальна поверхня, м <sup>2</sup>	30	90	360	550	1100	15	60
Число рукавів	36	108	288	216	432	19	72
Діаметр рукава, мм	130	130	130	130	130	130	135
Висота рукава, м	2	2	3	6	6	2	2
Число секцій	1	3	8	6	12	1	1
Число електромагнітів	3	9	24	36	72	8	3
Число мембранних головок клапанів	6	18	48	72	144	8	6
Розрахунковий надмірний тиск, кПа	5	5	5	5	5	60	5
Маса, т	1,28	2,99	8,86	18,4	31,3	1,05	1,28
Габаритні розміри /довжина x ширина x висота/, м	1,46x 2,06x 3,6	4,14x 2,06x 3,6	5,85x 4,37x 4,88	4,94x 4,34x 9,18	8,95x 4,34x 9,18	1,28x 1,88x 4,98	1,46x 2,06x 3,6

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 24

Динамічна в'язкість газу при робочих умовах:

$$\mu_{zp} = \mu_z \left( \frac{T_0 + C}{(T_0 + t_z) + C} \right) \left( \frac{T_0 + t_z}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}}, \text{ (Па с)} \quad (3.3)$$

де  $C = 124$  – константа.

Питоме газове навантаження  $q$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{хв.})$  в рукавних фільтрах знаходиться за такою формулою:

$$g = g_H \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, \quad (3.4)$$

де  $g_H$  – нормативне питоме навантаження, залежне від виду пилу та його схильності до агломерації (табл. 3.3);

$C_1$  – коефіцієнт, який характеризує особливість регенерації фільтрувальних елементів (табл. 3.4);

$C_2$  – коефіцієнт, який враховує вплив концентрації пилу на питоме газове навантаження (рис. 3.1);

$C_3$  – коефіцієнт, який враховує вплив дисперсного складу пилу в газі (табл. 2.5);

$C_4$  – коефіцієнт, який враховує вплив температури газу (табл. 3.6);

$C_5$  – коефіцієнт, який враховує вимоги до якості очищення (при концентрації пилу в очищених газах  $30 \text{ мг/м}^3$ ,  $C_5 = 1$ , зі зменшенням необхідної концентрації  $C_5$  зменшується і при  $10 \text{ мг/м}^3$   $C_5 = 0,95$ ).

Таблиця 3.3

Значення нормативного питомого газового навантаження

Значення $g_H$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{хв.})$				
3,5	2,6	2	1,7	1,2
Комбікорм	Азбест	Глинозем	Кокс	Активоване вугілля
Мука	Волоконні целюлозні матеріали	Цемент	Летюча зола	Технічний вуглець
Зерно	Пил при вибиванні відливок з форм	Керамічні барвники	Метало порошки	Міючі речовини
Макухова суміш	Пил шкіри	Вугілля	Окисли металів	Порошкове молоко
Пил тирса	Гіпс	Плаваковий шпат	Пластмаси	Перегони кольорових і чорних металів
Тютюн	Вапно гашене	Гума	Барвники	
Картонний пил	Пил від поліровки	Каолін	Силікати	
Полівінілхлорид	Сіль, Пісок	Вапняк	Крохмаль	
	Пил піскоструминних апаратів	Цукор	Смоли сухі	
	Тальк	Пил гірських порід	Хімікати з нафтосировини	
	Кальцинована сода			



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 25

Таблиця 3.4

Значення коефіцієнта  $C_1$ , який враховує особливості регенерації фільтрувальних елементів

Вид фільтра	Коефіцієнт $C_1$
З імпульсним продуванням стиснутим повітрям з рукавами з тканини	1
З регенерацією шляхом зворотного продування і одноразовим струшуванням або коливанням рукавів	0,70...0,85*
З регенерацією шляхом зворотного продування	0,55...0,70**

\*Менше значення приймається для фільтрів з рукавами з щільної тканини

\*\*Менше значення приймається для фільтрів з рукавами зі склотканини

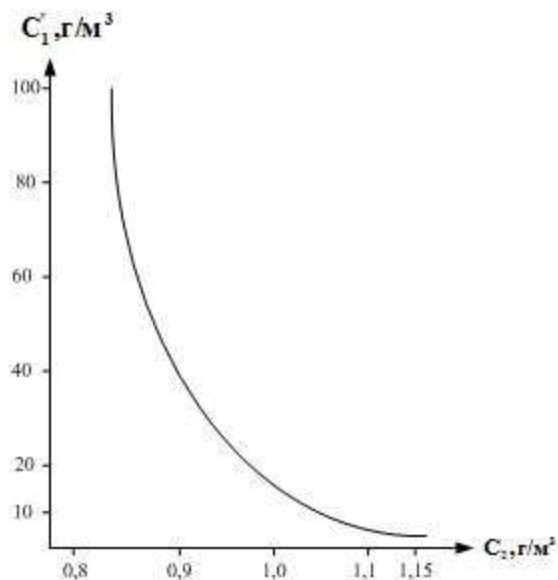


Рисунок 3.1. Залежність коефіцієнта  $C_2$  від концентрації пилу

Таблиця 3.5

Значення коефіцієнта  $C_3$ , який враховує вплив дисперсного складу пилу

Медіанний розмір частинок пилу, мкм	$C_3$
Більше 100	1,2...1,4
50 – 100	1,1
10 – 50	1
3 – 10	0,9
Менше 3	0,7...0,9

Таблиця 3.6

Значення коефіцієнта  $C_4$ , який враховує вплив температури,  $t^{\circ}\text{C}$

$^{\circ}\text{C}$	20	40	60	80	100	120	140	160
$C_4$	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 26

Визначаємо швидкість фільтрування  $v_{\phi}$ , м/с, і швидкість повітря у вхідному патрубку  $v_{вх}$ , м/с:

$$v_{\phi} = q / 60, \quad (3.5)$$

$$v_{вх} = 4 \cdot v_{\phi} \cdot \frac{H}{D}, \quad (3.6)$$

де  $H$ ,  $D$  – висота і діаметр рукава, м (табл. 3.2).

Гідравлічний опір корпусу апарата визначається величиною місцевих опорів.

$$\xi = \frac{\Delta P_k \cdot 2}{v_{вх}^2 \cdot \rho} \approx 1,5 \dots 2,0, \quad (3.7)$$

Прийнявши коефіцієнт гідравлічного опору корпусу  $\xi$  в межах 1,5 – 2,0, зі співвідношення 2.7 визначаємо гідравлічний опір корпусу апарата:

$$\Delta P_t = \frac{\xi \cdot v_{вх}^2 \cdot \rho}{2} \quad (\text{Па}). \quad (3.8)$$

Гідравлічний опір фільтрувальної перегородки  $\Delta P_{п}$  залежить від маси і властивостей пилу, який на неї осів і утворюється двома складовими: постійною  $\Delta P'$  і змінною  $\Delta P''$ :

$$\Delta P_{п} = \Delta P' + \Delta P'' \quad (3.9.)$$

Постійна складова гідравлічного опору:

$$\Delta P' = K_{п} \cdot \mu \cdot v_{\phi} \cdot n', \quad (3.10)$$

де  $n'$  – показник ступеню, залежний від течії потоку (для розрахунків при ламінарному режимі приймається  $n' = 1$ ; при турбулентній течії  $n' > 1$ );

$K_{п}$  – коефіцієнт, який характеризує опір фільтрувальної перегородки з залишеним на ній шаром пилу,  $\text{м}^{-1}$  (табл. 3.7).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 27

Таблиця 3.7.

Значення коефіцієнта  $K_n$ , який характеризує опір фільтрувальної перегородки

Тип фільтрувальної тканини	Вид пилю	Медіанний діаметр пилю, мкм	Коефіцієнт $K_n$ , м <sup>-1</sup>
Лавсан арт.136 і 21	цементний, кварцовий	10...20	(1100...1500) 10 <sup>6</sup>
Те саме	перегони металів	2,5...3,0	(2300...2400)10 <sup>6</sup>
Лавсан арт.86013 Склотканина	Те саме	2,5...3,0	(2300...2400)10 <sup>6</sup> x (1,2...1,3)
Лавсан арт.86013	Те саме	0,6	(13000...15000) 10 <sup>6</sup>

Змінна складова гідравлічного опору

$$\Delta P'' = \frac{\mu \cdot \tau \cdot c' \cdot V_{\Phi}^2 \cdot K_{ПС}}{d_{50}^2 \cdot \beta_{П}}, \quad (3.11)$$

де  $K_{ПС}$  – коефіцієнт опору шару пилю;

$c'$  – концентрація частинок в потоці, кг/м<sup>3</sup>, визначається з  $C_T$ .

Величини  $d_{50}$ ,  $K_{ПС}$ ,  $\beta_{П}$  характеризують властивості пилю, тому їх об'єднують одним параметром опору шару пилю  $K_1$  (табл. 3.8):

$$K_1 = \frac{K_{ПС}}{d_{50}^2 \cdot \beta_{П}}, \quad (3.12)$$

Тоді для розрахунку  $\Delta P''$ , Па, зручніше використовувати формулу

$$\Delta P'' = K_1 \cdot \mu \cdot \tau \cdot c' \cdot V_{\Phi}^2 \quad (3.13)$$

$K_1$  – параметр опору шару пилю (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Параметр опору шару пилю  $K_1$ 

Вид пилю	Медіанний діаметр пилю, мкм	Параметр $K_1$ , м/кг
Цементний, кварцовий	12 ... 20	(6,5...16)×10 <sup>9</sup>
Перегони металів	3	80×10 <sup>9</sup>
Те саме	0,7	330×10 <sup>9</sup>

Користуючись формулою (3.13) і, міняючи змінну величину гідравлічного опору фільтрувальної перегородки, визначають тривалість фільтрувального циклу, с:

$$\tau = \frac{\Delta P''}{\mu \cdot c' \cdot K_1 \cdot V_{\Phi}^2} \quad (3.14)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 28

Для дрібного пилу змінну величину гідравлічного опору фільтрувальної перегородки приймають в межах 600...800 Па, для великого пилу з медіанним діаметром частинок більше 20 мкм – 250... 350 Па.

Оцінивши попередньо тривалість циклу фільтрування  $\tau$ , розраховують точне значення  $\Delta P$  за формулою 3.13 та визначають гідравлічний опір фільтрувальної перегородки (формула 3.9).

Отримане значення порівнюють із допустимим  $\Delta P_{\text{доп}}$  (табл. 3.9) для вашого типу фільтра.

Таблиця 3.9.

### Основні параметри рукавних і карманних фільтрів

Найменування параметру		Норми для типів			
		1	2	3	4
1	Площа фільтрування, м <sup>2</sup>	4-1000	4-25000	4-25000	4-20000
2	Розрідження у фільтрі, Па, не більше	3000	6000	50000	5000
3	Гідравлічний опір, Па, не більше	2000	3000	2500	2500
4	Тиск повітря /газу/ для регенерації, МПа, не більше	-	0,01	0,01	0,8
5	Концентрація пилу на вході фільтра, г/м <sup>3</sup> , не більше	50	30	50	50
6	Концентрація пилу за фільтром, мг/м <sup>3</sup> , не більше	100	100	100	50
7	Питоме газове навантаження на фільтрувальний матеріал, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год., не більше	90	90	70	180
8	Енергетичні витрати на очищення 1000 м <sup>3</sup> газу, кВт·год., не більше	2,2	1,9	1,9	1,3
9	Питома матеріалоемність, розрахована за максимальним газовим навантаженням, кг/1000 м <sup>3</sup> /год.	960-115	885-255	920-280	350-75

Головною конструктивною ознакою для рукавних фільтрів є улаштування регенерації, згідно якої ці фільтри діляться на такі типи:

- 1 – з регенерацією механічним струшуванням;
- 2 – з регенерацією зворотною продувкою атмосферним повітрям чи очищеним газом;
- 3 – з регенерацією механічним струшуванням в сполученні з улаштуванням для регенерації зворотною продувкою;
- 4 – з регенерацією стиснутим повітрям.

Якщо розрахований опір відповідає технічним вимогам, то тривалість циклу фільтрування залишаємо без змін. У протилежному випадку здійснюється поправка і перерахунок.

Визначаємо кількість регенерацій на протязі 1 години

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 29

$$N_p = \frac{3600}{\tau + \tau'}, \quad (3.15)$$

Розраховуємо об'єм газу, який витрачається на зворотну продувку, умовно приймаючи швидкість газу при зворотній продувці рівну швидкості при фільтруванні

$$Q_p = Q_r \cdot N_p \cdot \tau' \cdot S_\phi \quad (3.16)$$

Визначаємо фільтрувальну площу апарата

$$S_\phi = \frac{Q_r + Q_p}{60 \cdot q} \quad (3.17)$$

Знаючи загальну площу фільтрації для заданого апарата (таблиця 3.2) визначають необхідну кількість фільтрів:

$$n = S_\phi / S_l \quad (3.18)$$

де  $S_l$  – площа фільтрації у одному фільтрі, м<sup>2</sup>.

За формулою (3.19) знаходимо площу фільтрування, яка виключається під час регенерації

$$S_p = \frac{2 \cdot N_c \cdot S_c \cdot \tau' \cdot N_p}{3600}, \quad (3.19)$$

де  $N_c$  – число секцій, шт. (табл. 3.2);

$S_c$  – площа однієї секції, м<sup>2</sup> (табл. 3.2).

Уточнюємо кількість газу, яка витрачається на зворотну продувку на протязі 1 години

$$Q_p = v_\phi \cdot \tau' \cdot N_p \cdot N_c \cdot S_c \cdot n, \quad (3.20)$$

Остаточно визначаємо необхідну площу фільтрування:

$$S = \frac{Q_r + Q_p}{60 \cdot q} + S_p, \quad (3.21)$$

Тривалість фільтрувального циклу  $\tau$ , с, будь-якої секції (рукава) повинна бути завжди більшою тривалості регенерацій всіх інших секцій (рукавів) апарата

$$\tau \geq (N_c - 1) \cdot \tau', \quad (3.22)$$

Якщо умова дотримується, то на регенерацію відключається по чергово одна секція.

Питоме навантаження при регенерації буде складати

$$q' = \frac{Q_r / 60 + S_c q}{S_\phi - S_c} \quad (3.23)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 30

Якщо питоме навантаження знаходиться у межах розрахункового (табл. 3.9), то експлуатацію апаратів є надійною.

Потужність електродвигуна вентилятора, необхідного для транспортування газів для очищення через фільтр, підраховується за формулою

$$N_d = \frac{K' Q_p \Delta P}{3600 \cdot 1000 \eta_m \eta_v}, \quad (3.24)$$

де  $K'$  – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна, приймається 1,1 ... 1,5;

$\Delta P$  – гідравлічний опір фільтра, Па;

$\eta_m$  – к. к. д. передачі (для клиноремінної передачі приймається 0,92 – 0,95);

$\eta_v$  – к. к. д. вентилятора, приймається 0,65...0,8.

Дають відповідь на контрольне запитання яке відповідає номеру вашого варіанта (або номеру вашого варіанту – 10).

### Контрольні запитання

1. Під дією яких сил відбувається сухе очищення газових викидів?
3. Наведіть класифікацію тканинних фільтрів.
4. Проаналізуйте конструктивно-технологічні параметри різних типів рукавних фільтрів.
5. Принцип роботи і конструктивні особливості рукавних фільтрів.
6. Охарактеризуйте технічні характеристики різних марок фільтрів.
7. Поясніть принцип роботи й конструктивні особливості волокнистих фільтрів.
8. Наведіть приклади галузей застосування, конструктивних особливостей технічних характеристик зернистих фільтрів.
9. Особливості конструкцій фільтрів для очищення радіоактивних викидів.
10. Призначення та склад рукавного фільтра з імпульсною регенерацією.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 31

### Вихідні дані для проведення розрахунків технічних параметрів фільтрів

Варіант	Вихідні дані			
	$Q_{\Gamma}$	$t_{\Gamma}$	$\rho_{\Gamma}$	$C_{\Gamma}$
	м <sup>3</sup> /ГОД	°С	кг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup>
1	4000	30	1,293	130
2	5000	120	1,250	60
3	3500	180	0,770	70
4	3700	40	1,430	50
5	3900	213	3,21	140
6	4100	53	1,98	60
7	4300	300	0,77	70
8	4500	64	1,25	150
9	4800	267	1,29	60
10	4000	70	1,43	50
11	5000	105	0,77	160
12	3500	78	0,80	50
13	3700	140	0,75	60
14	3900	180	0,86	70
15	4100	92	0,93	150
16	4300	97	1,24	60
17	4500	101	1,132	150
18	4800	301	1,043	60
19	4000	146	0,094	50
20	5000	120	0,76	60
21	3500	140	0,87	70
22	3700	87	0,93	150
23	3900	200	1,04	60
24	4100	38	1,12	150
25	4300	206	1,234	150

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 32

## Рекомендована література

### Базова

1. Хімія та екологія атмосфери: Навч. посіб. / Б.М. Федішин та ін.; За ред. Б.М. Федішина. – К.: Алетра, 2003. – 272 с.
2. И.Г. Вилесов, А.А. Костюковская. Очистка выбросных газов. – К.: Техніка, 1971. – 196 с.
3. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. – Справ. изд. М.: Химия, - 1991. – 368 с.
4. Колесніков М.О. Хімія атмосфери. Курс лекцій. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – 112 с.
5. Раціональне природокористування та охорона навколишнього середовища. – Курс лекцій. - К.: НМК, 1993. – 129 с.
6. Малита Д.М. и др. Современные методы определения загрязнений населенных мест. – М.: Медицина, - 1980.
7. Охрана окружающей среды. Под ред. Дуганова Г.В. К.: Вища школа, 1998. – 246 с.
8. Охрана окружающей среды. Под ред. Белова С.В. М.: Высшая школа, 1991. – 364 с.
9. Перегуд Е.А. Химический анализ воздуха (новые и усовершенствованные методы). – Л.: Химия. – 1976. – 328 с.
10. Бойчук Ю.Д., Солошенко Е.М., Бугай О.В. Екологія і охорона навколишнього середовища: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2002. – 284 с.
11. Сухарев С.М., Чундак С.Ю., Сухарева О.Ю. Техноекологія та охорона навколишнього середовища: Навч. посібник. - Л.: Новий Світ - 2000, 2004. – 256 с.

### Допоміжна

1. Апостолюк С.О., Мацюк Р.І., Сторожук В.М., Сомар Г.В., Миць В.І. Охорона навколишнього середовища в лісопромисловому комплексі: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2001. – 200 с.
2. Бримблкумб П. Состав и химия атмосферы. – М.: Мир, 1988. – 351 с.
3. Чайка В.Є. Урбоекологія. – Вінниця, 1999.
4. Стольберг Ф.В. Экология города. – К.: Либра, 2000.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/183.00.1/Б/ОК28- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 34 / 33

5. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретические основы атмосферной оптики. СПб.: Наука, 2003. – 474 с.
6. Одум Ю. Экология в 2-х т. М.: Мир, 1986.
7. Еколого-економічні проблеми довкілля Житомирщини [Кол. Моногр.]. / В.І. Карпов, С.І. Сіренький та ін. – житомир, 2001.
8. Власенко В.М. Каталитическая очистка газов. – К.: Техніка, 1973. – 199 с.
9. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000.
10. Корбкин В.І. Передельский Л.В. Экология. – Ростов-на-дону: Феникс, 2001.
11. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Позняков Д.В. Атмосферный аэрозоль. – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 224 с.
12. Парниковые газы – глобальный экологический ресурс. Справочное пособие / В.Х. Бердин, И.Г. Грицевич, А.О. Кокорин, Ю.Н. Федоров. – М.: НОППУ-WWF. – 2004. – 135 с.