

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 1

## ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою факультету  
гірничої справи,  
природокористування та  
будівництва

26 серпня 2025 р., протокол № 7

Голова Вченої ради  
Володимир КОТЕНКО



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ОК 29 «ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ»

для здобувачів вищої освіти освітнього рівня «бакалавр»  
спеціальності 101 «Екологія»  
освітньо-професійна програма «Екологія»  
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва  
кафедра екології та природоохоронних технологій

Схвалено на засіданні кафедри  
екології та природоохоронних  
технологій

25 серпня 2025 р., протокол № 7

Завідувач кафедри  
Ірина ПАЦЕВА

Гарант освітньо-професійної  
програми

Вікторія МЕЛЬНИК-  
ШАМРАЙ

Розробник: к.с.-г.н., доц. кафедри екології Ірина ДАВИДОВА

Житомир  
2025 – 2026 н.р.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 2

## ЗМІСТ

1. Опис навчальної дисципліни _____	3
2. Мета та завдання навчальної дисципліни _____	4
3. Зміст лекційного курсу _____	6
4. Зміст практичних занять _____	9
5. Питання для самостійної роботи _____	43
6. Рекомендована література _____	45

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 3

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма здобуття вищої освіти	заочна форма здобуття вищої освіти
Кількість кредитів 4	Галузь знань 10 «Природничі науки»	обов'язкова	
Модулів – 1	Спеціальність 101 «Екологія»	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 4		2-й	2-й
Загальна кількість годин – 120		Семестр	
		3-й	3-й
		Лекції	
		32 год.	6 год.
		Практичні	
		32 год.	6 год.
		Лабораторні	
		0 год.	0 год.
		Самостійна робота	
		56 год.	0 год.
		Вид контролю: екзамен	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних 64 самостійної роботи – 56	Освітній ступінь «бакалавр»		

Частка аудиторних занять і частка самостійної та індивідуальної роботи у загальному обсязі годин з навчальної дисципліни становить:

для денної форми здобуття вищої освіти – 53 % аудиторних занять, 67 % самостійної та індивідуальної роботи;

для заочної форми здобуття вищої освіти – 10 % аудиторних занять, 90 % самостійної та індивідуальної роботи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 4

## 1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**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 101 «Екологія» та освітньою програмою «Екологія»:

K08. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

K27. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ФК18. Здатність до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків, пов'язаних з виробничою діяльністю.

ФК20. Здатність проводити екологічний моніторинг та оцінювати поточний стан навколишнього середовища.

ФК30. Здатність застосовувати сучасні методи та засоби контролю стану атмосферного повітря, природних вод, ґрунтів та стану біоти.

ФК33. Здатність проводити спостереження та інструментальний і лабораторний контроль якості навколишнього середовища, впливу на нього зовнішніх факторів, з відбором зразків (проб) природних компонентів.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних **програмних результатів** навчання за спеціальністю код спеціальності 101 «Екології»:

ПР05. Знати концептуальні основи моніторингу та нормування антропогенного навантаження на довкілля.

ПР11. Уміння прогнозувати вплив технологічних процесів та виробництв на навколишнє середовище.

ПР21. Уміти обирати оптимальні методи та інструментальні засоби для проведення досліджень, збору та обробки даних.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 11 / 5</i>

ПР27. Використовувати концептуальні знання, включаючи сучасні теорії, підходи, принципи екологічної політики, фундаментальні знання з біології, хімії, фізики, математики, біотехнології та фахових і прикладних інженерно-технологічних дисциплін для моделювання та вирішення конкретних природоохоронних задач.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 6

## 2. ЗМІСТ КУРСУ

### МОДУЛЬ 1

#### **Змістовий модуль 1. Атмосфера як газова система**

##### **Тема 1. Атмосфера – газова оболонка Землі (К08, К27, ФК18, ФК20, ПР05)**

Будова атмосфери. Склад повітря. Властивості газів, що входять до складу повітря. Основні фізичні параметри повітря.

##### **Тема 2. Фактори впливу на стан атмосфери (К08, К27, ФК18, ФК20, ПР05)**

Природні фактори впливу на стан атмосфери й процеси, що при цьому відбуваються. Вплив клімату і погоди на ступінь забруднення повітря. Атмосфера як термодинамічна система планети. Антропогенні фактори впливу на стан атмосфери та процеси, що при цьому проходять. Процеси, що відбуваються в атмосфері під дією антропогенних факторів.

##### **Тема 3. Вплив забруднення атмосфери на земну поверхню і живі організми (К08, К27, ФК18, ФК20, ПР05)**

Вплив забруднення атмосфери на земну поверхню. Вплив забруднення атмосфери на живі організми. Вплив радіоактивного забруднення на живі організми.

##### **Тема 4. Моніторинг забруднення атмосферного повітря (К08, К27, ФК18, ФК20, ПР05)**

Основні поняття і визначення в нормуванні якості повітря. Стан атмосферного повітря в Україні. Організація моніторингу атмосферного повітря. Обладнання стаціонарних та маршрутних постів.

#### **Змістовий модуль 2. Фізичні параметри атмосферного повітря**

##### **Тема 5. Вимірювання температури атмосферного повітря (К08, К27, ФК20, ФК30, ФК33, ПР21)**

Історія створення термометру. Види термометрів. Визначення температури повітря.

##### **Тема 6. Вимірювання атмосферного тиску (К08, К27, ФК20, ФК30, ФК33, ПР21)**

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 7

Історія створення барометру. Види приладів для вимірювання тиску. Визначення атмосферного тиску.

**Тема 7. Вимірювання вологості повітря (К08, К27, ФК20, ФК30, ФК33, ПР21)**

Історія створення гігрометра. Види приладів для вимірювання вологості повітря.

**Тема 8. Вимірювання швидкості газових потоків (К08, К27, ФК20, ФК30, ФК33, ПР21)**

Історія створення приладів для вимірювання швидкості вітру. Види приладів для вимірювання швидкості газового потоку. Основи динаміки атмосфери.

**Змістовий модуль 3. Глобальні екологічні проблеми пов'язані із забрудненням атмосферного повітря**

**Тема 9. Кислотні дощі (К27, ФК18, ФК20, ПР05, ПР11)**

Причини утворення кислотних дощів. Сполуки Сульфуру у атмосфері. Сполуки Нітрогену у атмосфері. Хімічні реакції в атмосфері. Наслідки кислотних дощів.

**Тема 10. Руйнування озонового шару (К27, ФК18, ФК20, ПР05, ПР11)**

Роль озону. Причини руйнування озонового шару. Основні джерела галогенів у атмосферному повітрі. Наслідки руйнування озонового шару.

**Тема 11. Зміна клімату (К27, ФК18, ФК20, ПР05, ПР11)**

Поняття клімату та погоди. Поняття парникового ефекту, глобального потепління та зміни клімату. Причини зміни клімату. Основні джерела парникових газів у атмосферному повітрі. Наслідки глобальної зміни клімату. Адаптація до зміни клімату.

**Змістовий модуль 4. Методи та засоби захисту атмосферного повітря**

**Тема 12. Засоби очищення газових викидів сухими пиловловлювачами (К27, ФК33, ПР27)**

Пилоосаджуючі камери. Інерційні пиловловлювачі. Циклони. Загальна характеристика конструкції циклонів. Циклони загального призначення. Прямоточні циклони. Групові і батарейні циклони. Вихрові та динамічні пиловловлювачі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 8

**Тема 13. Засоби сухого очищення газових викидів від пилу фільтруванням (К27, ФК33, ПР27)**

Тканинні фільтри. Волокнисті фільтри. Зернисті фільтри. Фільтри для очищення радіоактивних викидів.

**Тема 14. Засоби мокрого очищення газових викидів від пилу (К27, ФК33, ПР27)**

Класифікація обладнання для мокрого пиловловлювання. Порожністі газопромивачі. Насадкові газопромивачі. Пінні пиловловлювачі. Ударно-інерційні газопромивачі. Газопромивачі відцентрової дії. Швидкісні газопромивачі.

**Тема 15. Засоби для абсорбційного очищення газових викидів від газо- й паро-подібних речовин (К27, ФК33, ПР27)**

Класифікація технологічного обладнання для абсорбційного очищення газових викидів. Поверхневі насадкові абсорбери. Барботажні абсорбери. Розпилювальні абсорбери. Механічні розпилювальні газопромивачі.

**Тема 16. Засоби для адсорбційного очищення газових викидів від газо- й пароподібних речовин (К27, ФК33, ПР27)**

Класифікація технологічного обладнання для адсорбційного очищення газових викидів. Адсорбери з нерухомим шаром адсорбенту. Адсорбери з рухомим шаром адсорбенту. Адсорбери з киплячим шаром адсорбенту. Адсорбери з віброкиплячим шаром адсорбенту.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 9

### 3. ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
<b>МОДУЛЬ 1</b>			
<b>Змістовий модуль 1. Атмосфера як газова система</b>			
1	Методологія підходу до вирішення питань попередження забруднення атмосфери	2	2
2	Статика атмосфери	2	2
3	Основи динаміки атмосфери	2	
4	Методи аналізу хімічного складу атмосфери	2	
<b>Змістовий модуль 2. Фізичні параметри атмосферного повітря</b>			
5	Засоби відбору проб атмосферного повітря	2	
6	Якісні методи визначення складу атмосферного повітря	2	
7	Кількісні методи визначення складу атмосферного повітря	2	
8	Методи визначення радіоактивності атмосферного повітря	2	
<b>Змістовий модуль 3. Глобальні екологічні проблеми по'язані із забрудненням атмосферного повітря</b>			
9	Розрахунок розсіювання нагрітих викидів шкідливих речовин у атмосфері	2	2
10	Розрахунок розсіювання нагрітих викидів шкідливих речовин у атмосфері	2	
11	Визначення розмірів пилоосаджувальної камери	2	
<b>Змістовий модуль 4. Методи та засоби захисту атмосферного повітря</b>			
12	Технологічні розрахунки циклонів і визначення їх конструктивних розмірів	2	
13	Розрахунок параметрів роботи рукавних фільтрів	2	
14	Технологічні розрахунки пінних пиловловлювачів	2	
15	Технологічні розрахунки розпилювальних пустотілих форсуночних абсорберів	2	
16	Технологічні розрахунки адсорбера періодичної дії з нерухомим шаром адсорбенту	2	
<b>РАЗОМ</b>		<b>32</b>	<b>6</b>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 10

## Практична робота №1.

**Тема:** «Методологія підходу до вирішення питань попередження забруднення атмосфери».

**Мета:** Ознайомити студентів з принципами, методами та нормативно-правовими засадами попередження забруднення атмосферного повітря; сформувати навички аналізу факторів ризику, ідентифікації джерел забруднення та вибору заходів щодо зменшення емісій.

### Завдання роботи:

- Визначити основні джерела забруднення атмосферного повітря.
- Охарактеризувати загальні та спеціальні методи запобігання забрудненню атмосфери.
- Проаналізувати алгоритм розроблення природоохоронних заходів на підприємстві.
- Навчитися застосовувати методологічний підхід для розв'язання практичних задач у сфері охорони атмосферного повітря.

### Теоретичний матеріал.

Атмосферне повітря є одним із найважливіших компонентів навколишнього середовища, яке забезпечує життєдіяльність людей, рослинного і тваринного світу та визначає стабільність екологічних процесів. Під забрудненням атмосферного повітря розуміють надходження до атмосфери шкідливих речовин або фізичних факторів, що змінюють її природний склад і можуть спричинити негативний вплив на здоров'я населення, стан екосистем і матеріальні об'єкти. Джерела забруднення поділяються на природні та антропогенні, однак найбільш значний вплив мають саме промислові, транспортні й енергетичні об'єкти, які забезпечують господарську діяльність людини.

Проблема попередження забруднення атмосферного повітря лежить в основі екологічної політики сталого розвитку та базується на принципі пріоритетності превентивних заходів. Сучасний підхід передбачає не лише боротьбу з наслідками забруднення, але й запобігання самому утворенню шкідливих речовин за допомогою удосконалення технологічних процесів, впровадження чистих енергетичних рішень, оптимізації виробничих циклів та контролю викидів. Одним із фундаментальних принципів є мінімізація утворення забруднювальних речовин на всіх етапах виробництва — від вибору сировини та видів палива до технологічної модернізації й очищення газових потоків перед їх надходженням у повітря.

Особливу роль у системі попередження забруднення відіграє комплексний підхід, що включає технологічні, організаційні, планувальні, економічні та правові інструменти. Технологічні заходи охоплюють впровадження газоочисного обладнання, фільтрів, абсорбційних та адсорбційних систем, каталізаторів та інших установок. Організаційно-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 11

технічні рішення спрямовані на оптимізацію виробничих процесів, зменшення витрат енергоресурсів, використання екологічно безпечних технологій і видів палива. Правові та економічні механізми – екологічне ліцензування, нормування викидів, екологічні податки та система стимулів – формують нормативну базу, що регламентує діяльність підприємств і стимулює їх до зниження негативного впливу на атмосферу.

Раціональне управління якістю атмосферного повітря ґрунтується на поетапній методології: від виявлення та аналізу джерел викидів і забруднювальних речовин до визначення їх можливого впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей. Після цього здійснюється вибір і обґрунтування природоохоронних заходів, оцінювання їхньої ефективності та організація системи екологічного контролю. Таким чином, методологія попередження забруднення атмосфери передбачає послідовність аналітичних, технічних і управлінських кроків, що формують основу екологічного менеджменту і гарантують зниження антропогенного навантаження на довкілля.

#### **Практична частина.**

1. Ознайомитися з джерелами викидів умовного підприємства (викладач надає дані або студенти моделюють ситуацію).
2. Визначити та класифікувати джерела забруднення.
3. Проаналізувати потенційний вплив на атмосферу.
4. Скласти таблицю заходів запобігання викидам для підприємства.
5. Побудувати алгоритм дій еколога при плануванні заходів щодо зниження викидів.
6. Визначити основні нормативно-правові акти України, що регулюють повітроохоронну діяльність.

#### **Контрольні запитання.**

1. *Що таке забруднення атмосферного повітря?*
2. *Які основні джерела забруднення атмосфери?*
3. *Які принципи лежать в основі попередження забруднення повітря?*
4. *Наведіть класифікацію методів зменшення викидів забруднювачів.*
5. *Які етапи включає методологічний підхід до вирішення проблем охорони атмосферного повітря?*
6. *Які нормативні документи регулюють викиди в атмосферу в Україні?*

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 12

## Практична робота №2

**Тема:** Статика атмосфери

**Мета:** Ознайомити студентів з поняттям статичної атмосфери, закономірностями вертикального розподілу атмосферного тиску та температури, роллю атмосферної стабільності у процесах розсіювання забруднювальних речовин та значенням цих параметрів для моделювання стану повітряного середовища.

**Завдання роботи:**

- Розглянути основні характеристики статичної атмосфери.
- Вивчити вплив атмосферного тиску, температурної стратифікації та стійкості атмосфери на поведінку забруднювачів.
- Навчитися визначати умови сприятливі та несприятливі для розсіювання домішок у повітрі.
- Розібрати поняття інверсії та її екологічне значення.

**Теоретичний матеріал.**

Статика атмосфери вивчає стан повітряних мас, їх розподіл та взаємодію в умовах, коли відсутні інтенсивні турбулентні процеси та вертикальні переміщення. Для оцінки статичних умов важливими є атмосферний тиск, температурна стратифікація та вертикальний градієнт температури. Атмосферний тиск зменшується з висотою, що пов'язано з зниженням густини повітря. Температура атмосфери також змінюється за висотою, формуючи визначені термічні шари. У тропосфері характерним є зниження температури з висотою, проте в деяких випадках може спостерігатися явище інверсії, коли температура зростає у вертикальному напрямку.

Стійкість атмосфери визначає, наскільки активно повітряні маси здатні переміщуватись вертикально. У нестійкій атмосфері відбувається активне перемішування повітря та ефективне розсіювання забруднювальних речовин. Натомість у стійких умовах вертикальні рухи пригнічені, що сприяє накопиченню шкідливих домішок поблизу земної поверхні. Інверсії температури є найбільш характерним прикладом стійкого стану атмосфери та часто спостерігаються в умовах антициклонів, у безвітряну та нічну пору, а також у зимовий період. Саме вони можуть спричинити концентрацію забруднювачів у приземному шарі, що призводить до утворення смогів і небезпечного погіршення якості повітря.

Знання про статику атмосфери є важливою складовою прогнозування рівня забруднення повітря, планування розміщення підприємств, розрахунку висоти труб для відведення газів та вибору технологій нейтралізації шкідливих викидів. Це забезпечує раціональне природокористування та екологічну безпеку територій.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 13

### Практична частина:

1. Опрацювати поняття атмосферного тиску, температурного градієнта та інверсії.
2. На основі умовного прикладу визначити характер стратифікації атмосфери (стійка, нестійка, нейтральна).
3. Побудувати графік змін температури з висотою та відзначити інверсійний шар (за заданими даними викладача).
4. Зробити висновок про умови розсіювання домішок при наведених атмосферних параметрах.
5. Визначити метеорологічні умови, що можуть сприяти утворенню смогу у великому місті.

### Контрольні запитання

1. Що таке статика атмосфери?
2. Які параметри визначають стан статичної атмосфери?
3. Як змінюється атмосферний тиск з висотою?
4. Що таке інверсія температури та чому вона є небезпечною для якості повітря?
5. У чому полягає різниця між стійкою та нестійкою атмосферою?
6. Як атмосферні умови впливають на розсіювання забруднювальних речовин?

### Практична робота №3

**Тема:** Основи динаміки атмосфери

**Мета:** Сформувати у студентів розуміння фізичних основ руху повітряних мас, факторів, що визначають атмосферну циркуляцію, вітрові режими та їх вплив на розсіювання і перенесення забруднювальних речовин в атмосфері.

**Завдання:**

- Розглянути основні закономірності динаміки атмосфери.
- Охарактеризувати роль вітру та атмосферної циркуляції у процесах транспортування домішок.
- Ознайомитися з поняттями турбулентності, конвекції та адвекції.
- Навчитися визначати умови, що сприяють або перешкоджають розсіюванню забруднень.

**Теоретичний матеріал.**

Динаміка атмосфери вивчає закономірності руху повітряних мас під впливом зовнішніх і внутрішніх сил. Основним рушійним механізмом руху повітря є нерівномірний розподіл сонячної енергії на поверхні Землі, що створює різницю температур і тиску. Повітря переміщується з областей високого тиску до областей низького тиску, формуючи вітрові потоки. Окрім

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 14

горизонтальних переміщень, для атмосфери характерні вертикальні рухи, зумовлені змінами щільності повітря та термічними градієнтами.

Важливу роль у переміщенні повітряних мас відіграють сили Кориоліса, тертя та гравітація. У глобальному масштабі вони формують систему загальної циркуляції атмосфери – пасати, мусони, західні вітри середніх широт. На регіональному рівні динаміка атмосфери визначає місцеві вітрові режими, ефекти бризів, гірсько-долинні потоки та фронтальні процеси. Вітрова активність та атмосферні турбулентні потоки істотно впливають на перенесення та розсіювання забруднювальних речовин. При сильному вітрі та високій турбулентності забруднення швидко розсіюються, тоді як за штилю й слабкої конвекції домішки накопичуються поблизу джерела.

До основних механізмів переміщення домішок належать конвекція (вертикальні переміщення повітря через різницю температур), адвекція (горизонтальний перенос), дифузія та турбулентність. Конвекція сприяє підйому теплого забрудненого повітря та його змішуванню з вищими шарами атмосфери. Адвекція забезпечує перенесення забруднень на значні відстані, що може призводити до транскордонного впливу. Турбулентність, яка виникає внаслідок хаотичних рухів повітря, відіграє ключову роль у розсіюванні домішок у приземному шарі атмосфери.

Таким чином, знання основ атмосферної динаміки є необхідним для прогнозування якості повітря, моделювання розповсюдження забруднювальних речовин, визначення екологічно безпечних зон розміщення підприємств і розроблення заходів щодо мінімізації негативного впливу на атмосферу.

#### **Практична частина.**

1. Проаналізувати дані щодо швидкості та напрямку вітру для заданої території (за даними викладача або відкритих джерел).

2. Визначити, які умови сприяють поширенню забруднювачів на найбільшу територію.

3. Побудувати розу вітрів та зробити висновок про характер вітрового режиму.

4. Визначити типи атмосферних умов, за яких імовірно накопичення забруднень.

5. Скласти короткий опис можливих сценаріїв забруднення повітря залежно від напрямку вітру.

#### **Контрольні запитання.**

1. Що вивчає динаміка атмосфери?

2. Які сили визначають рух повітряних мас?

3. Що таке конвекція та адвекція?

4. Як вітер впливає на перенесення забруднювальних речовин?

5. Яке значення має турбулентність у процесі розсіювання домішок?

6. Які атмосферні умови сприяють накопиченню забруднень?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 15

## Практична робота №4

**Тема:** Методи аналізу хімічного складу атмосфери

**Мета:** Ознайомити студентів із методами якісного та кількісного аналізу атмосферного повітря, сформувати практичні навички вибору аналітичних методик та інтерпретації результатів визначення основних забруднювальних речовин.

**Завдання:**

- Розглянути класифікацію методів контролю якості атмосферного повітря.
- Опанувати принципи дії основних приладів та систем моніторингу.
- Навчитися визначати забруднювальні речовини у повітрі за допомогою лабораторних та інструментальних методів.
- Ознайомитися з вимогами до відбору проб повітря та обробки результатів аналізу.

**Теоретичний матеріал**

Контроль хімічного складу атмосферного повітря є ключовою складовою системи охорони довкілля та здійснюється з метою оцінки рівня забруднення, виявлення джерел викидів, контролю ефективності природоохоронних заходів і дотримання екологічних нормативів. Методи аналізу повітря поділяються на лабораторні, інструментальні та дистанційні, залежно від принципів визначення домішок та умов проведення вимірювань.

Лабораторні методи ґрунтуються на хімічних реакціях між домішками і реагентами. Серед них найпоширеніші титриметричний, гравіметричний та фотометричний аналіз, які застосовуються для визначення діоксиду сірки, оксидів азоту, озону, формальдегіду тощо. Такі методи забезпечують високу точність, однак потребують попереднього відбору проб, спеціальних умов зберігання та кваліфікованого персоналу.

Інструментальні методи включають використання аналізаторів газів, спектрометрів, хроматографів та оптичних датчиків, що дозволяють здійснювати вимірювання у реальному часі. Газоаналізатори CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> та твердих часток (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) широко застосовуються у стаціонарних постах моніторингу та на підприємствах. Спектрофотометрія, флуориметрія, мас- та газова хроматографія забезпечують високу чутливість і селективність аналізу.

Дистанційні методи — лідарні системи, супутниковий моніторинг та оптичне зондування — дають змогу оцінювати стан атмосфери на великих територіях. Вони особливо важливі для контролю поширення шкідливих домішок на регіональному та глобальному рівнях, а також для прогнозування епізодів забруднення.

Якість результатів аналізу значною мірою залежить від правильності відбору проб, калібрування обладнання та дотримання методичних вимог.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 16

Тому важливо використовувати стандартизовані процедури, передбачені ДСТУ та міжнародними нормативами, забезпечувати контроль точності та достовірності вимірювань. Сукупність цих підходів формує основу оперативного і стратегічного моніторингу якості атмосферного повітря, дозволяючи своєчасно реагувати на зміни екологічної ситуації.

### **Практична частина.**

1. Ознайомитися з видами приладів для контролю якості атмосферного повітря (демонстрація викладачем або навчальними відеоматеріалами).
2. Вивчити правила відбору проб повітря для лабораторного аналізу.
3. Провести моделювання визначення концентрацій основних домішок (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, пилові частки) з використанням методичних даних.
3. Зробити висновки щодо рівня забруднення на основі результатів аналізу та нормативних значень ГДК (надаються викладачем).

### **Контрольні запитання.**

1. Які основні групи методів аналізу атмосферного повітря?
2. У чому різниця між лабораторними та інструментальними методами контролю?
3. Які прилади використовуються для моніторингу атмосферного повітря в реальному часі?
4. Дайте визначення понять PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub> і поясніть їхнє значення для оцінки якості повітря.
5. Які чинники впливають на точність аналізу проб повітря?
6. Для чого використовуються дистанційні технології в аналізі атмосфери?

## **Практична робота №5**

**Тема:** Засоби відбору проб атмосферного повітря

**Мета:** Ознайомити студентів із технічними засобами та методичними підходами до відбору проб атмосферного повітря; сформувати навички вибору обладнання та дотримання стандартів під час пробовідбору для подальшого аналітичного контролю якості повітря.

Завдання:

- Вивчити класифікацію засобів відбору проб повітря.
- Ознайомитися з конструкцією та принципом роботи пробовідбірних пристроїв.
- Засвоїти правила відбору проб згідно з нормативними документами.
- На практиці визначити оптимальні умови та методи відбору проб для різних типів забруднень.

### **Теоретичний матеріал.**

Відбір проб атмосферного повітря є першою та однією з найбільш відповідальних стадій контролю забруднення атмосфери, оскільки точність і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 17

достовірність аналітичних результатів значною мірою залежать від правильності проведення цієї процедури. Проби повітря відбирають для визначення концентрацій газоподібних компонентів, аерозольних частинок, пилу, важких металів, летких органічних сполук та інших домішок. Засоби відбору проб умовно поділяють на ручні та автоматичні. До ручних належать аспіратори, газові піпетки, пробовідбірні трубки зі сорбентами, фільтрувальні касети для збирання зважених частинок. Автоматичні системи включають стаціонарні постові установки, автоматизовані пробовідбірники пилу та газів, моніторингові станції безперервної дії.

Принцип роботи аспіраційних приладів полягає у протягуванні визначеного об'єму повітря через сорбент або фільтр з подальшим лабораторним аналізом накопичених речовин. У разі відбору проб аерозолів застосовують високопродуктивні фільтрувальні установки та імпактори, що дозволяють відділяти частинки за розміром. Для газоподібних домішок використовують абсорбційні бутлі, в які повітря пропускають через спеціальні реагенти, або сорбційні трубки для подальшого десорбційного аналізу. Особливу увагу приділяють герметичності системи, точності обліку об'єму відібраного повітря та умовам зберігання проб.

Процедури відбору проб регламентуються стандартами та методичними рекомендаціями, що визначають місце, висоту та тривалість відбору, частоту вибірки та вимоги до обладнання. Важливим є вибір репрезентативної точки відбору, що повинна враховувати напрямок вітру, близькість до джерела викидів, рельєф місцевості та інші метеорологічні чинники. Дотримання методики гарантує достовірне відображення фактичного рівня забруднення атмосфери та дозволяє використовувати результати для екологічного моніторингу, нормування викидів і контролю дотримання природоохоронних вимог.

### **Практична частина.**

1. Ознайомитися з видами пробовідбірного обладнання (аспіратори, фільтрувальні системи, сорбційні трубки).
2. Розглянути конструкцію та принцип роботи ручного аспіратора (демонстрація викладачем або схема).
3. Визначити місце та умови відбору проби для заданої території.
4. Скласти план процедури відбору проби повітря для аналізу пилу та газоподібних домішок.
5. Заповнити протокол відбору проби з зазначенням: дати, місця, висоти, об'єму повітря, типу обладнання.

### **Контрольні запитання.**

1. Яке значення має правильний відбір проб атмосферного повітря?
2. Які основні групи засобів пробовідбору існують?
3. У чому полягає принцип роботи аспіраційних приладів?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 18

4. Для чого використовують сорбційні трубки та фільтрувальні касети?
5. Які чинники необхідно враховувати під час вибору місця відбору проб?
6. Які основні вимоги до оформлення протоколу відбору проб?

### Практична робота №6

**Тема:** Якісні методи визначення складу атмосферного повітря.

**Мета:** Ознайомити студентів із принципами якісного аналізу атмосферного повітря, характерними реакціями на поширені забруднювальні речовини та навчити застосовувати експрес-методи для виявлення домішок у повітрі.

**Завдання:**

- Розглянути основні якісні хімічні реакції для виявлення атмосферних забруднювачів.
- Навчитися застосовувати тест-методи для ідентифікації газових домішок.
- Опанувати принципи роботи індикаторних трубок та лакмусових тестів.
- Вивчити правила безпеки при проведенні якісних аналізів повітря.

**Теоретичний матеріал.**

Якісні методи визначення складу атмосферного повітря спрямовані на виявлення присутності певних забруднювальних речовин шляхом встановлення факту їх наявності, без точного визначення концентрації. Вони використовуються як на попередньому етапі екологічного контролю, так і для оперативного оцінювання стану атмосферного середовища у польових умовах. Основою якісного аналізу є характерні хімічні реакції, що супроводжуються зміною забарвлення розчину, появою осаду або газу, утворенням кольорових комплексних сполук, які підтверджують наявність певних домішок.

До найпоширеніших якісних методів належать використання індикаторних папірців та розчинів, хімічних абсорбентів і реактивів, індикаторних трубок для визначення діоксиду сірки, оксидів азоту, аміаку, сірководню, озону, летких органічних сполук. Наприклад, діоксид сірки викликає знебарвлення розчину калій перманганату, оксиди азоту — утворення бурого газу та забарвлення реактивів Грісса, аміак виявляється лакмусовим або фенолфталеїновим папером, що синіє в лужному середовищі. Для визначення чадного газу застосовують паладійвмісні каталізатори, що змінюють колір при окисненні CO до CO<sub>2</sub>.

Перевагами якісних методів є простота виконання, швидкість отримання результатів і можливість застосування в польових умовах без

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 19

складного обладнання. Проте вони мають і обмеження — меншу точність порівняно з кількісними методами, вплив супутніх домішок на реакції та суб'єктивність візуальної оцінки. Незважаючи на це, якісні аналізи є важливим первинним інструментом у системі екологічного моніторингу, забезпечуючи оперативну діагностику забруднення повітря та дозволяючи визначити необхідність подальших точніших досліджень.

### **Практична частина.**

1. Ознайомитися з набором індикаторних матеріалів для виявлення газових домішок.

2. Виконати тестування умовних проб повітря на наявність оксидів азоту, сірчистих сполук та аміаку з використанням індикаторних трубок.

3. Скласти таблицю методів та реактивів із зазначенням їхнього призначення і візуальних ознак реакції.

4. Зробити висновки щодо переваг і недоліків якісних методів аналізу.

5. Оформити протокол якісного тестування проби.

### **Контрольні запитання.**

1. У чому полягає сутність якісних методів аналізу атмосферного повітря?

2. Які реактиви застосовують для виявлення  $SO_2$ ,  $NO_x$  та  $NH_3$ ?

3. Чим відрізняються індикаторні папірці від індикаторних трубок?

4. Які обмеження мають якісні методи?

5. У яких випадках доцільно застосовувати якісний аналіз повітря?

6. Які заходи безпеки необхідно враховувати під час роботи з реактивами?

## **Практична робота №7**

**Тема:** Кількісні методи визначення складу атмосферного повітря.

**Мета:** Надати студентам знання про кількісні методи визначення забруднювальних речовин у повітрі, сформувати практичні навички застосування інструментальних та лабораторних методик для точного вимірювання концентрацій атмосферних домішок.

Завдання:

- Розглянути поширені кількісні методи аналізу атмосферного повітря.
- Ознайомитися з принципами роботи аналітичного обладнання.
- Навчитися інтерпретувати результати вимірювань та порівнювати їх із нормативними значеннями.
- Засвоїти правила документування результатів кількісного аналізу.

### **Теоретичний матеріал.**

Кількісні методи аналізу атмосферного повітря спрямовані на точне визначення концентрацій забруднювальних речовин та дозволяють оцінити рівень забруднення з високою точністю і достовірністю. Вони є основою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 20

державного та виробничого моніторингу, оскільки забезпечують можливість контролю за дотриманням гранично допустимих концентрацій (ГДК) і регулювання промислових викидів. До кількісних аналітичних методів належать хімічні, оптичні, електрохімічні, хроматографічні та мас-спектрометричні методи.

Хімічні кількісні методи включають титриметрію, фотометрію, гравіметрію, які використовують реакції взаємодії домішок із реагентами та подальший вимір зміни оптичних або масових характеристик. Спектрофотометрія дозволяє визначати концентрації газів та аерозолів на основі поглинання світла певної довжини хвилі. Газова та рідинна хроматографія широко застосовуються для аналізу летких і складних органічних сполук, включно з бензолом, толуолом, формальдегідом та вуглеводнями. Мас-спектрометрія забезпечує найвищу чутливість і дозволяє аналізувати навіть слідові кількості домішок.

Також використовуються автоматизовані системи моніторингу, що працюють у режимі реального часу та вимірюють рівні CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, озону, твердих частинок PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>. Дані з таких систем передаються до екологічних центрів та містять інформацію про динаміку забруднення. Важливим етапом кількісного аналізу є калібрування обладнання, перевірка точності та контроль якості вимірювань згідно з методичними вимогами державних стандартів та міжнародних протоколів. Коректні кількісні вимірювання дозволяють проводити порівняння з нормативами, оцінювати ризики та розробляти заходи щодо зменшення техногенного впливу на атмосферу.

### **Практична частина**

1. Ознайомитися з приладами для кількісного аналізу атмосферного повітря (спектрофотометр, газоаналізатор, пиломір тощо).
2. Отримати умовні або експериментальні дані концентрацій забруднювачів (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>).
3. Здійснити порівняння результатів з нормативами ГДК та зробити висновки.
4. Заповнити форму протоколу кількісного аналізу, вказавши одиниці вимірювання та похибки.
5. Підготувати короткий висновок щодо рівня забруднення та можливих джерел.

### **Контрольні запитання**

1. У чому полягає різниця між якісним і кількісним аналізом атмосферного повітря?
2. Які кількісні методи використовуються для визначення концентрацій забруднювачів?
3. У чому переваги спектрофотометрії та хроматографії?
4. Які показники визначають якість проведення кількісних вимірювань?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 21

5. Чому важливо проводити калібрування аналітичного обладнання?  
6. Які параметри характеризують тверді частинки  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  і чому вони важливі?

## Практична робота №8

**Тема:** Методи визначення радіоактивності атмосферного повітря

**Мета:** Ознайомити студентів із основами радіаційного моніторингу атмосферного повітря, видами і джерелами іонізуючого випромінювання, методами визначення радіоактивних аерозолів та газів, а також приладами для вимірювання рівня радіоактивності повітря.

**Завдання:**

- Розглянути основні типи радіоактивних забруднень атмосфери та їх джерела.
- Засвоїти принципи роботи приладів для вимірювання радіоактивності повітря.
- Ознайомитися з методиками відбору проб для радіометричного аналізу.
- Навчитися аналізувати результати вимірювань та робити висновки про радіаційну ситуацію.

**Теоретичний матеріал.**

Радіоактивне забруднення атмосфери може виникати внаслідок природних процесів (радіоактивні гази – радон та торон, космічне випромінювання) і техногенних факторів (викиди підприємств атомної енергетики, аварії на об'єктах атомної промисловості, спалювання палива, військові дії). Радіонукліди можуть міститися у складі аерозолів або у вигляді газів, поширюючись повітряними потоками на значні відстані та впливаючи на екосистеми й здоров'я населення.

Методи визначення радіоактивності атмосферного повітря поділяються на прямі та непрямі. Прямі методи включають реєстрацію іонізуючого випромінювання спеціальними детекторами безпосередньо в повітрі. Найпоширеніші прилади – радіометри, дозиметри та спектрометри, оснащені газорозрядними лічильниками (типу Гейгера-Мюллера), сцинтиляційними та напівпровідниковими детекторами. Вони забезпечують вимірювання рівнів гамма-, бета- та альфа-випромінювання.

Непрямі методи передбачають відбір проб повітря з подальшим аналізом у лабораторії. Найчастіше повітря пропускають через фільтрувальні матеріали для накопичення радіоактивних аерозолів. Отримані фільтри досліджують на радіометричних або спектрометричних установках для визначення активності окремих радіонуклідів, таких як  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ . Для визначення радону застосовують спеціальні радонометри та трекові

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 22

детектори, що дозволяють реєструвати продукт розпаду радону та оцінювати його концентрацію.

Коректність вимірювань забезпечується правильним відбором проб, врахуванням метеорологічних умов, калібруванням приладів та дотриманням норм радіаційної безпеки. Моніторинг радіоактивності атмосферного повітря є важливою складовою екологічного контролю, особливо у зонах технологічного ризику, поблизу енергооб'єктів та в регіонах, що зазнали радіаційного впливу.

### **Практична частина**

1. Ознайомитися з типами радіометричних приладів (дозиметр, радіометр, спектрометр).
2. Провести демонстраційні вимірювання рівнів радіаційного фону в приміщенні та на відкритому повітрі.
3. Розглянути схему відбору проб повітря на фільтр для радіометричного аналізу.
4. Умовно розрахувати активність проби (за наведеними вихідними даними).
5. Оформити протокол результатів та зробити висновок щодо радіаційної ситуації.

### **Контрольні запитання**

1. Які основні джерела радіоактивного забруднення атмосферного повітря?
2. Назвіть основні типи іонізуючого випромінювання.
3. Які прилади застосовуються для вимірювання радіоактивності повітря?
4. У чому різниця між прямими та непрямими методами визначення радіоактивності?
5. Як здійснюється відбір проб повітря для радіометричного аналізу?
6. Які правила радіаційної безпеки необхідно дотримувати під час вимірювань?

## **Практична робота №9**

**Тема:** Методи розрахунку розсіювання нагрітих викидів шкідливих речовин в атмосфері

**Мета:** Ознайомити студентів з основними підходами до моделювання розсіювання шкідливих речовин у атмосфері, впливом температури викидів на підйом шлейфу, методами визначення концентрацій забруднювачів у приземному шарі повітря, а також із практичними формулами та алгоритмом розрахунку.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 23

### Завдання:

- Розглянути типи промислових джерел нагрітих викидів та їх характеристики.
- Вивчити фізичні основи формування конвективного шлейфу та параметри, що впливають на його підйом.
- Засвоїти формули гаусівської моделі розсіювання та методики обчислення ефективної висоти джерела.
- Навчитися виконувати розрахунок концентрацій шкідливих речовин у повітрі в контрольній точці.
- Зробити висновок щодо екологічної небезпеки розрахованого варіанту.

### Теоретичний матеріал.

Нагріті викиди шкідливих речовин утворюються під час роботи промислових установок, котелень, ТЕС, металургійних та хімічних підприємств. Підвищена температура газового потоку на виході з труби створює додаткову підйомну силу, що збільшує висоту шлейфу та впливає на концентрацію забруднювачів у приземному шарі повітря.

Основним підходом для інженерних розрахунків є гаусівська модель розсіювання, у якій концентрація домішок визначається як функція відстані від джерела, швидкості вітру, умов атмосферної стійкості та ефективної висоти джерела:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

де Q – масова витрата забруднювача, г/с;  
u – швидкість вітру, м/с;  
 $\sigma_y, \sigma_z$  – коефіцієнти розсіювання (залежні від відстані й метеоумов);  
H = h +  $\Delta h$  – ефективна висота викиду (висота труби + підйом гарячого шлейфу).

Підйом шлейфу  $\Delta h$  залежить від температурного перепаду, швидкості виходу газу, діаметра труби та метеоумов. Для інженерних оцінок використовують емпіричні формули Бріггса.

Коректність розрахунків забезпечується врахуванням:

- параметрів джерела викиду;
- метеорологічних умов (вітер, стійкість атмосфери);
- рельєфу та навколишньої забудови;
- нормативних значень допустимих концентрацій.

### Практична частина

1. Ознайомитися з характеристиками джерела нагрітого викиду (висота труби, температура газу, діаметр, швидкість газу, витрата речовини).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 24

- Визначити температуру навколишнього повітря та швидкість вітру.
- Розрахувати підйом шлейфу  $\Delta h$  за емпіричною формулою (умовно, заданою величиною).
- Визначити ефективну висоту джерела:

$$H = h + \Delta h$$

Виконати умовний розрахунок концентрації в приземному шарі на заданій відстані.

#### Вихідні дані (умовні)

Параметр	Значення
Висота труби $h$	60 м
Підйом шлейфу $\Delta h$	15 м
$Q$	1.2 г/с
$u$	4 м/с
$x$	1000 м
$\sigma_y, \sigma_z$	20 м; 12 м
$y = 0, z = 0$	-

Обчислення.

Ефективна висота:

$$H = 60 + 15 = 75 \text{ м}$$

Підстановка в гаусівську формулу (спрощено уздовж вісі шлейфу,  $y=0$ ):

$$C \approx \frac{1.2}{2\pi \cdot 4 \cdot 20 \cdot 12} \cdot 2 = \frac{2.4}{2\pi \cdot 960} = \frac{2.4}{6031.9} \approx 3.98 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^3$$

$$C \approx 0.398 \text{ мг/м}^3$$

Висновок.

Отримана концентрація забруднювача становить приблизно 0.398 мг/м<sup>3</sup> на відстані 1 км. Подальша оцінка включає порівняння з ГДК для конкретної речовини. За умови, що норматив ГДК перевищений – необхідне зменшення викидів або зміна технологічних параметрів.

#### Контрольні запитання

- Які чинники визначають характер розсіювання нагрітих викидів у атмосфері?
- Що таке ефективна висота джерела та від чого залежить величина підйому шлейфу?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 25

3. Які параметри атмосфери необхідно враховувати під час розрахунків?

4. У чому полягає принцип гаусівської моделі розсіювання?

5. Як впливає температура викидів на розподіл концентрацій у повітрі?

6. Які екологічні наслідки можливі при перевищенні допустимих концентрацій домішок?

## Практична робота № 9

**Тема:** Розрахунок розсіювання нагрітих викидів шкідливих речовин у атмосфері

**Мета:** Ознайомити студентів із методами визначення параметрів розсіювання нагрітих промислових викидів у атмосфері, факторами, що впливають на поширення забруднювачів, а також навчити виконувати розрахунки концентрацій шкідливих речовин у приземному шарі повітря.

Завдання:

- Вивчити основні фактори, що визначають розсіювання забруднювальних речовин.

- Ознайомитися з моделлю Гауса (гаусовою моделлю розсіювання атмосферних домішок).

- Розглянути вплив температурного та швидкісного підйому факела на розсіювання нагрітих викидів.

- Навчитися розраховувати концентрацію шкідливих речовин на поверхні землі за заданими параметрами джерела.

- Проаналізувати отримані результати та зробити екологічні висновки.

### Теоретичний матеріал

Промислові об'єкти можуть викидати в атмосферу газу та аерозолі, що містять шкідливі речовини. Нагріті викиди піднімаються вгору завдяки температурному та швидкісному напорам. Процес їх поширення визначається:

- висотою джерела викиду;
- температурою і швидкістю газового потоку;
- метеорологічними умовами (швидкість вітру, температура повітря, стратифікація атмосфери);

- фізико-хімічними властивостями забруднювачів.

Однією з найпоширеніших методик оцінки концентрацій домішок на різних відстанях від джерела є гаусова модель розсіювання. Для нагрітих викидів враховується ефективна висота труби:

$$H_{\text{еф}} = H + \Delta H$$

де  $H$  – фізична висота труби,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 26

$\Delta H$  – підйом факела через температуру та швидкість газів.

Максимальна концентрація шкідливої речовини у приземному шарі визначається формулою:

$$C = \frac{Q}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e\left(-\frac{H_{\text{эф}}^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

де  $Q$  – масова витрата домішки, г/с;

$u$  – швидкість вітру, м/с;

$\sigma_y, \sigma_z$  – параметри розсіювання по горизонталі та вертикалі;

$H_{\text{эф}}$  – ефективна висота джерела.

### Практична частина.

1. Ознайомитися з параметрами джерел атмосферних викидів (висота труби, діаметр, температура газу, швидкість газового потоку).

2. Визначити ефективну висоту труби  $H_{\text{эф}}$ .

3. За початковими даними ( $Q, H, u, \sigma_y, \sigma_z$ ) розрахувати концентрацію забруднювача  $C$ .

4. Побудувати залежність концентрації від відстані до джерела.

5. Зробити висновки щодо забруднення атмосферного повітря.

### Умовні вихідні дані

Параметр	Значення
Висота труби $H$	80 м
Підйом шлейфу $\Delta H$	20 м
$H_{\text{эф}}$	100 м
$Q$	50 г/с
$u$	4 м/с
$x$	1000 м
$\sigma_y, \sigma_z$	150 м; 60 м
$y = 0, z = 0$	-

Розрахунок концентрації:

$$C = \frac{50}{\pi \cdot 4 \cdot 150 \cdot 60} \cdot e\left(-\frac{100^2}{2 \cdot 60^2}\right) \approx 0.00046 \text{ г/м}^3$$

Висновок.

В результаті виконання роботи було засвоєно принципи розрахунку розсіювання нагрітих викидів, визначено концентрацію забруднюючої речовини у приземному шарі атмосферного повітря та зроблено висновки щодо впливу метеорологічних та технічних факторів на процес розсіювання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 27

### Контрольні запитання

1. Які фактори впливають на розсіювання шкідливих речовин в атмосфері?
2. Що таке ефективна висота джерела викиду?
3. Які параметри визначають підйом факела нагрітих газів?
4. Який фізичний зміст гаусової моделі?
5. Яке значення має швидкість вітру при розрахунку концентрацій викидів?
6. Які екологічні наслідки може мати неправильна оцінка поширення забруднювачів?

### Практична робота № 10

**Тема:** Визначення розмірів пилоосаджувальної камери

**Мета:** Ознайомити студентів з принципами роботи гравітаційних пилоосаджувальних камер, методами розрахунку їхніх розмірів та умовами ефективного осадження пилу з газових потоків.

**Завдання:**

- Розглянути принцип дії пилоосаджувальної камери.
- Вивчити формули для розрахунку ефективності осадження частинок.
- Виконати розрахунок необхідних розмірів камери за заданими параметрами.
- Проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

**Теоретичний матеріал**

Пилоосаджувальні камери використовуються для очищення промислових газових потоків від твердих частинок. Принцип роботи таких апаратів ґрунтується на осадженні частинок пилу під дією сили тяжіння. Ефективність осадження залежить від розміру частинок, швидкості газового потоку, а також геометричних параметрів камери.

Основна формула для визначення висоти камери:

$$V_{oc} = g(\rho_{п} - \rho_{г})d^2 / (18\mu)$$

де:  $V_{oc}$  – швидкість осадження частинки, м/с

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

$\rho_{п}$  – густина пилу, кг/м<sup>3</sup>

$\rho_{г}$  – густина газу, кг/м<sup>3</sup>

$d$  – діаметр частинки, м

$\mu$  – в'язкість газу, Па·с

Час перебування пилу в камері має бути не менше часу його осадження:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 28

$$t \geq H / V_{oc}$$

де  $H$  — висота камери, м.

### Практична частина

1. Визначити параметри газопилового потоку (витрата газу, концентрація пилу, діаметр частинок).
2. Розрахувати швидкість осадження частинок.
3. Визначити необхідний час перебування газу у камері.
4. Розрахувати об'єм і геометричні розміри камери.
5. Побудувати схему пилоосаджувальної камери.
6. Зробити висновки щодо ефективності очищення.

### Контрольні запитання

1. Який принцип роботи пилоосаджувальної камери?
2. Які параметри впливають на ефективність осадження пилу?
3. Запишіть формулу для швидкості осадження частинки та поясніть її складові.
4. Чому важливо враховувати час перебування газу в камері?
5. У яких випадках пилоосаджувальні камери застосовуються найефективніше?

## Практична робота № 11

**Тема:** Технологічні розрахунки циклонів і визначення їх конструктивних розмірів.

**Мета:** Ознайомити студентів із принципами роботи циклону, критеріями вибору геометрії та провести покроковий розрахунок конструктивних розмірів для заданого об'ємного витoku газу.

### Завдання

- Розглянути принцип роботи циклону та фактори, що впливають на його ефективність.
- Опанувати емпіричні співвідношення та конструктивні коефіцієнти.
- Виконати розрахунок конструкції циклону для заданих параметрів.
- Оцінити тископад та орієнтовну ефективність для контрольного розміру частинок.

### Теоретичний матеріал

Циклон – апарат для відділення твердих частинок від газу за допомогою відцентрових сил. Газ із пилом подається тангенціально у циліндричну камеру, утворюється спіральний рух (зовнішній вихор вниз уздовж стінки, внутрішній – вгору через всмоктувальну шахту). Частинки під дією відцентрових сил набувають радіальної швидкості та осідають до стінки, звідки зсуваються у бункер.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 29

Ефективність циклону залежить від: геометрії (діаметр  $D$ , співвідношення компонентів), об'ємного витoku  $Q$ , швидкості на вході  $V_{in}$ , фізичних властивостей частинок ( $\rho_p$ ,  $d$ ), в'язкості і густини газу, а також від конструктивних коефіцієнтів.

Типові емпіричні геометричні коефіцієнти (довідкові рекомендації):

- Відношення висоти циліндричної частини  $L_{cyl} \approx (2-4) \cdot D$  (прийmemo 2,5D).
- Висота конуса  $L_{cone} \approx (1-2) \cdot D$  (прийmemo 1,5D).
- Діаметр вихідної труби  $d_v \approx 0,3-0,5 \cdot D$  (прийmemo 0,4D).
- Діаметр патрубкa для видалення пилу  $d_d \approx 0,3-0,6 \cdot D$  (прийmemo 0,5D).
- Ширина входу  $b \approx 0,5 \cdot D$ , висота входу  $a \approx 0,25 \cdot D$ .

#### Методика розрахунку (алгоритм):

1. Визначити об'ємний витік газу  $Q$  ( $m^3/год$  або  $m^3/c$ ) та бажану швидкість на вході  $V_{in}$  ( $m/c$ ). Типові  $V_{in}$  для циклонів: 12–20  $m/c$  (для грубих фракцій); для високоефективних – можуть застосовуватися інші значення.
2. Перетворити  $Q$  у  $m^3/c$ :

$$Q(m^3/c) = Q(m^3/год) / 3600.$$

3. Обрати геометричну формулу для площі входу  $A_i$ , наприклад

$$A_i = a \cdot b,$$

де  $b = 0,5 \cdot D,$   
 $a = 0,25 \cdot D$

$$A_i = 0,125 \cdot D^2.$$

4. Розв'язати  $D$  з умови  $V_{in} = Q / A_i$ .
5. Визначити інші розміри за рекомендованими коефіцієнтами ( $L_{cyl}$ ,  $L_{cone}$ ,  $d_v$ ,  $d_d$ ,  $a$ ,  $b$ , тощо).
6. Оцінити тископад  $\Delta P \approx K \cdot (\rho \cdot V_{in}^2) / 2$ , де  $K \approx 2$  (емпірично).
7. За необхідності оцінити орієнтовний розмір відсікання ( $d_{50}$ ) за довідковими даними або шляхом порівняння з таблицями Stairmand/органолептичними графіками (для точного  $d_{50}$  потрібні специфічні емпіричні криві).

#### Приклад розрахунку (покроково)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 30

### Вихідні дані

Параметр	Значення
Об'ємний витік Q	10 000 м <sup>3</sup> /год, 2.777778 м <sup>3</sup> /с
Щільність газу ρ	1.2 кг/м <sup>3</sup>
В'язкість μ	1.8 · 10 <sup>-5</sup> Па · с
Обрана швидкість на вході V <sub>in</sub>	18 м/с
Бажаний орієнтовний контрольний розмір частинок	10 μm

Крок 1. Перетворення витоку:

$$Q = 10\,000 \text{ м}^3/\text{год} = 2.777778 \text{ м}^3/\text{с}$$

Крок 2. Розв'язок для діаметра корпусу D за припущеннями ( $A_i = 0,125 D^2$ ,  $V_{in} = Q/A_i$ ):

$$D = \sqrt{8 \cdot Q / V_{in}} = \sqrt{8 \cdot 2.777778 / 18.00} = 1,111 \text{ м}$$

Крок 3. Розміри за емпіричними коефіцієнтами:

- Вхід: ширина  $b = 0,5 \cdot D = 0,556 \text{ м}$ , висота  $a = 0,25 \cdot D = 0,278 \text{ м}$
- Площа входу  $A_i = 0,125 \cdot D^2 = 0,154 \text{ м}^2$
- Довжина циліндру  $L_{cyl} = 2,5 \cdot D = 2,778 \text{ м}$
- Довжина конуса  $L_{cone} = 1,5 \cdot D = 1,667 \text{ м}$
- Діаметр vortex finder  $d_v = 0,4 \cdot D = 0,444 \text{ м}$
- Діаметр патрубку пилу  $d_d = 0,5 \cdot D = 0,556 \text{ м}$

Крок 4. Оцінка тископаду ( $\Delta P$ ):  $\Delta P \approx K \cdot \rho \cdot V_{in}^2 / 2 = 388,8 \text{ Па}$  (при  $K=2,0$ )

### Результати розрахунку

Зведена таблиця параметрів:

Параметр	Значення
Об'ємний витік Q (м <sup>3</sup> /с)	2.777778
Обраний V <sub>in</sub> (м/с)	18.00
Діаметр корпусу D (м)	1.111
Ширина входу b (м)	0.556
Висота входу a (м)	0.278
Площа входу A <sub>i</sub> (м <sup>2</sup> )	0.154
Довжина циліндричної частини L <sub>cyl</sub> (м)	2.778
Довжина конуса L <sub>cone</sub> (м)	1.667
Діаметр vortex finder d <sub>v</sub> (м)	0.444
Діаметр пилового патрубка d <sub>d</sub> (м)	0.556
Орієнтовний ΔP (Па)	388.8

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 31

## Оцінка ефективності

Точна крива ефективності ( $\eta(d)$ ) — залежність ефективності від розміру частинок) задається емпіричними кривими (Stairmand, Lapple тощо). Для попередньої оцінки: за таких геометричних і експлуатаційних параметрів циклони цього типу зазвичай забезпечують високу ефективність (>90%) для частинок >20–30  $\mu\text{m}$  і знижену для 5–10  $\mu\text{m}$ . Для досягнення  $d_{50} \approx 5\text{--}10 \mu\text{m}$  використовують оптимізовані геометрії (менший D, вищі швидкості на вході) або послідовність апаратів (циклон + фільтр).

### Контрольні запитання

1. Який вплив має діаметр корпусу D на ефективність циклону?
2. Чому для дрібних частинок часто використовують послідовні ступені очищення?
3. Як впливає швидкість на вході  $V_{in}$  на  $d_{50}$  та на тископад?
4. Які конструктивні елементи впливають на локальну турбулентність і зниження ефективності?

## Практична робота № 12

**Тема:** Розрахунок параметрів роботи рукавних фільтрів.

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

### Завдання

- Освоїти методику виконання розрахунків по визначенню основних технологічних параметрів роботи рукавних фільтрів;
- Дати письмову відповідь на питання, наведені в кінці роботи.

### Теоретичний матеріал.

Рукавні фільтри є вискоелефективним 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  $\text{mg}/\text{m}^3$  і менш і уловлювання часток до 0,3 мікрони.

### Практична частина.

Вихідні дані: витрати очищувальних газів,  $Q_{\Gamma}$ ,  $\text{m}^3/\text{с}$ ; температура газів  $t_{\Gamma}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ; діаметр частинок пилу,  $d_{50}$ ,  $\mu\text{m}$ ; в'язкість газу при робочих умовах,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 32

$\mu_{\Gamma}$ , Па·с, тип фільтру, вид фітруючої тканини, вид пилю, густина газу при нормальних умовах,  $\rho_{\Gamma}$ , кг/м<sup>3</sup>; запиленість газу  $C_{\Gamma}$ , г/м<sup>3</sup>; атмосферний тиск,  $P_a$ , Па (за відсутності можливості визначити атмосферний тиск за реальних умов  $P_a$  приймається рівним 97400 Па (730 мм. рт. ст.); тривалість регенерації однієї секції  $\tau'$ , 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.

Витрати газу при робочих умовах визначають за формулою:

$$Q_{\Gamma P} = (Q_{\Gamma} \cdot T_p) / T_0, \text{ (м/с)}$$

де  $T_p = (t_{\Gamma} + T_0)$  – температура газів в робочих умовах, °К;

$T_0 = 273^{\circ}\text{К}$  – абсолютна температура.

Густина газу при робочих умовах

$$\rho_{\Gamma P} = \rho_{\Gamma} T_0 (P_a + P') / P_0 (T_0 + t_r), \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

де  $P_0 = 101300$  Па – нормальний атмосферний тиск.

$P'$  - розрахунковий надмірний тиск, що визначається за типом фільтру.

Динамічна в'язкість газу при робочих умовах:

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

де  $C = 124$  – константа.

Питоме газове навантаження  $q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> × хв.) в рукавних фільтрах знаходиться за такою формулою:

$$g = g_H \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5,$$

де  $g_H$  – нормативне питоме навантаження, залежне від виду пилю та його схильності до агломерації;

$C_1$  – коефіцієнт, який характеризує особливість регенерації фільтрувальних елементів;

$C_2$  – коефіцієнт, який враховує вплив концентрації пилю на питоме газове навантаження;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 33

$C_3$  – коефіцієнт, який враховує вплив дисперсного складу пилу в газі;

$C_4$  – коефіцієнт, який враховує вплив температури газу;

$C_5$  – 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  $10 \text{ мг/м}^3$   $C_5 = 0,95$ ).

#### Параметри фільтрів з імпульсною продувкою

Технічна характеристика	ФРКІ-30	ФРКІ-90	ФРКІ-360	ФРКДІ-550	ФРКДІ-1100	ФРКДІ-15-130	ФРКІ-60
Фільтрувальна поверхня, $\text{м}^2$	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

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

$$v_\phi = q / 60$$

$$v_{вх} = 4 \cdot v_\phi \cdot \frac{H}{D}$$

де  $H$ ,  $D$  – висота і діаметр рукава, м.

Гідравлічний опір корпусу апарата визначається величиною місцевих опорів.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 34

### Значення нормативного питомого газового навантаження

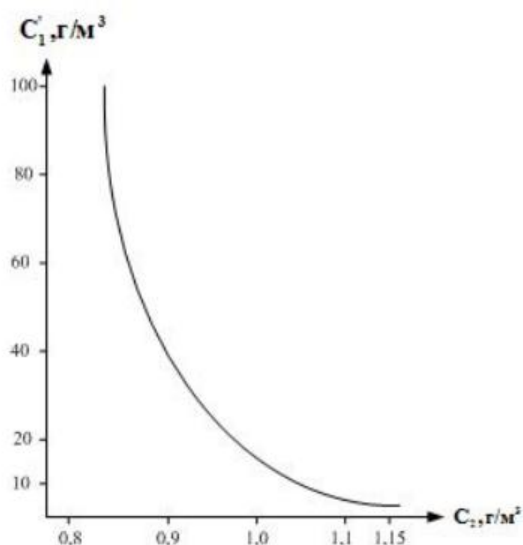
Значення $g_n, \text{м}^3/(\text{м}^2 \times \text{хв.})$				
3,5	2,6	2	1,7	1,2
Комбікорм	Азбест	Глинозем	Кокс	Активоване вугілля
Мука	Волоконні целюлозні матеріали	Цемент	Летюча зола	Технічний вуглець
Зерно	Пил при вибиванні відливков з форм	Керамічні барвники	Метало порошки	Міючі речовини
Макухова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

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

Вид фільтра	Коефіцієнт $C_1$
З імпульсним продуванням стиснутим повітрям з рука-вами 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



Залежність коефіцієнта  $C_2$  від концентрації пилу

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 35

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

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

$t^{\circ}\text{C}$	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

Прийнявши коефіцієнт гідравлічного опору корпусу в межах 1,5 – 2,0, визначаємо гідравлічний опір корпусу апарата:

$$\Delta P_k = \frac{\xi \cdot v_{\text{м}}^2 \cdot \rho}{2} \quad (\text{Па}).$$

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

$$\Delta P_{\text{п}} = \Delta P' + \Delta P''$$

Постійна складова гідравлічного опору:

$$\Delta P' = K_{\text{п}} \cdot \mu \cdot v_{\text{ф}} \cdot n',$$

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

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

Змінна складова гідравлічного опору

$$\Delta P'' = \frac{\mu \cdot \tau \cdot c' \cdot v_{\text{ф}}^2 \cdot K_{\text{пс}}}{d_{50}^2 \cdot \beta_{\text{п}}},$$

де  $K_{\text{пс}}$  – коефіцієнт опору шару пилу;

$c'$  – концентрація частинок в потоці,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , визначається з  $C_{\text{г}}$ .

Величини  $d_{50}$ ,  $K_{\text{пс}}$ ,  $\beta_{\text{п}}$  характеризують властивості пилу, тому їх об'єднують одним параметром опору шару пилу  $K_1$ :

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 36

$$K_1 = \frac{K_{ПС}}{d_{50}^2 \cdot \rho_n},$$

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 пилу.

Значення коефіцієнта  $K_n$ , який характеризує опір фільтрувальної перегородки

Тип фільтру-вальної тканини	Вид пилу	Медіанний діаметр пилу, 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>

#### Параметр опору шару пилу $K_1$

Вид пилу	Медіанний діаметр пилу, 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>

Визначають тривалість фільтрувального циклу, с:

$$\tau = \frac{\Delta P''}{\mu \cdot c' \cdot K_1 \cdot v_{\Phi}^2}$$

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  $\Delta P''$  та визначають гідравлічний опір фільтрувальної перегородки.

#### 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 37

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.

### Практична робота №14

**Тема:** Технологічні розрахунки пінних пиловловлювачів

**Мета:** Ознайомити студентів з принципом роботи пінних пиловловлювачів, методикою їх технологічного розрахунку, визначенням основних параметрів (діаметр апарата, висота пінистої зони, витрата рідини), а також оцінкою ефективності очищення газу.

#### Теоретичні відомості.

Пінний пиловловлювач – це апарат, у якому забруднені газу пропусकाються через шар піни, що утворюється з миючого розчину.

Частинки пилу осідають у піні, завдяки чому очищене повітря виходить через верхню частину апарата.

Процес очищення супроводжується абсорбцією газових домішок і може бути високоефективним (до 95–99%).

#### Практична частина.

1. Вихідні дані: об'ємна витрата газу  $Q$ , початкова концентрація пилу  $C_{in}$ , ефективність очищення  $\eta$ , швидкість газу  $v_g$ , співвідношення  $L/G$ , коефіцієнт піноутворення  $\varphi$ , висота пінистої зони  $H_f$ .

2. Визначення площі поперечного перерізу апарата:

$$A = Q / (3600 * v_g)$$

2. Розрахунок діаметра апарата:

$$D = \sqrt{4A / \pi}$$

3. Подача рідини:

$$L = (L/G) * Q$$

5. Об'єм піни:

$$V_{foam} = L / \varphi$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 38

6. Кількість уловленого пилю:

$$M_{col} = \eta * C_{in} * Q$$

Приклад розрахунку.

Вихідні дані:  $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $C_{in} = 5 \text{ г}/\text{м}^3$ ,  $\eta = 0,9$ ,  $v_g = 0,3 \text{ м}/\text{с}$ ,  $L/G = 5 \text{ л}/\text{м}^3$ ,  $\phi = 0.05$ ,  $H_f = 1,2 \text{ м}$ .

Розрахунок:

$$A = 5000 / (3600 * 0.3) = 4,63 \text{ м}^2$$

$$D = \sqrt{(4 * 4.63 / 3.14)} = 2.43 \text{ м}$$

$$L = 25 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$V_{foam} = 25 / 0.05 = 500 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$M_{col} = 0.9 * 5 * 5000 / 1000 = 22.5 \text{ кг}/\text{год}$$

**Висновки**

Розрахований пінний пиловловлювач діаметром 2,4 м забезпечує очищення газу з ефективністю 90 %

при подачі миючої рідини  $25 \text{ м}^3/\text{год}$ . Об'єм піни становить близько  $500 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Пінні апарати рекомендовані для тонкого очищення газів, що містять дрібнодисперсний пил.

**Контрольні запитання**

1. У чому полягає принцип роботи пінного пиловловлювача?
2. Які основні фактори впливають на ефективність очищення?
3. Як вибирається висота пінної зони?
4. Яке співвідношення  $L/G$  вважається оптимальним?
5. У яких випадках пінні пиловловлювачі є найдоцільнішими?

## Практична робота №15

**Тема:** Технологічні розрахунки розпилювальних пустотілих форсуночних абсорберів.

**Мета:** Ознайомити студентів з принципом дії форсуночних абсорберів (пустотілих розпилювальних форсунок), методиками розрахунку їх конструктивних і режимних параметрів (діаметр апарата, висота промивної зони, подача розчину, число і розташування форсунок), а також навчити

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 39

оцінювати коефіцієнт масопереносу, баланс маси і продуктивність за видаленням компонента з газової фази.

### Теоретичні відомості.

Розпилювальний (форсуночний) абсорбер – апарат, у якому газ проходить через хмару крапель робочого розчину, утворену форсунками (пустотілими або звичайними). Контактна поверхня крапель і газу забезпечує масоперенос (абсорбцію розчинних компонентів або захоплення частинок). Форсунки створюють дрібнодисперсну розпилювальну структуру, що забезпечує високу площу міжфазного контакту.

### Практична частина.

Методика розрахунку

1. Задати вхідні дані:  $Q$  (м<sup>3</sup>/год),  $C_{g,in}$  (моль/м<sup>3</sup> чи г/м<sup>3</sup>), вимога  $C_{g,out}$  або цільова ефективність  $\eta$ , початкове припущення по  $v_g$  (м/с), прийняти або оцінити  $k_L a$  (с<sup>-1</sup>) для обраної форсунової системи.

2. Перевести об'єм газу  $Q$  у м<sup>3</sup>/с.

$$Q_s = Q/3600Q_s.$$

3. Обрати поверхневу швидкість газу і визначити діаметр апарата.

$$A=Q_s/v_g, D=(4A/\pi D)^{1/2}.$$

4. Розрахувати висоту контактної зони з рівняння масопереносу.

$$H = \frac{u_g}{k_L a} \ln \frac{C_{g,in}}{C_{g,out}}.$$

5. Оцінити кількість і розташування форсунок.

$$a \approx \frac{6\alpha}{d_p},$$

6. Перевірити час перебування газу в апараті.

$$t = \frac{H}{u_g} = \frac{2.7631}{0.6} \approx 4.6052 \text{ с.}$$

Умовні вихідні дані

$$Q = 10\,000 \text{ м}^3/\text{Год};$$

$$C_{in} = 100 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{out} = 10 \text{ мг/м}^3;$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 40

$$v_g = 0.6 \text{ м/с};$$

$$k_{La} = 0.5 \text{ с}^{-1};$$

$$L/G = 1.5 \text{ л/м}^3;$$

$$d_p = 250 \text{ мкм};$$

$$\alpha = 0.005.$$

Результати розрахунку

$$D = 2.43 \text{ м}$$

$$H = 2.76 \text{ м (ефективна висота)}$$

$$L = 15 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$N = 30 \text{ форсунок}$$

$$a = 120 \text{ м}^2/\text{м}^3$$

$$\text{Час перебування газу } t = 4.6 \text{ с}$$

Висновки.

Розрахований апарат забезпечує 90 % очищення при прийнятих параметрах. Необхідний краплинний сепаратор, рівномірне розташування форсунок та контроль діаметра крапель. Рекомендується уточнення коефіцієнта масопереносу експериментально.

#### **Контрольні запитання**

- 1. У чому полягає принцип дії розпилювального (форсуночного) абсорбера та роль пустотілих форсунок?*
- 2. Які вхідні дані необхідні для технологічного розрахунку абсорбера та як визначають діаметр апарата?*
- 3. Як за коефіцієнтом масопереносу  $kLa$  розраховують висоту контактної (промивної) зони?*
- 4. За якими критеріями визначають кількість та розташування форсунок у форсуночному абсорбері?*
- 5. Як перевіряється час перебування газу в апараті і чому це важливо для забезпечення ефективності очищення?*

### **Практична робота №16**

**Тема:** Технологічні розрахунки адсорбера періодичної дії з нерухомим шаром адсорбенту

**Мета:** Ознайомити студентів з принципами роботи адсорберів періодичної дії з нерухомим шаром гранульованого адсорбенту, методиками визначення основних параметрів процесу (висота шару, діаметр колони, тривалість циклу, швидкість газу, ємність адсорбенту), а також навчити проводити масовий баланс, оцінювати ступінь очищення газу та термін прориву адсорбенту.

#### **Теоретичні відомості.**

Адсорбер з нерухомим шаром – це апарат, у якому газ проходить через стаціонарний шар адсорбенту (активоване вугілля, силікагель, цеоліти тощо).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 41

У процесі руху газу цільовий компонент селективно поглинається поверхнею твердого адсорбенту. Процес триває до настання прориву – моменту, коли концентрація забруднювача на виході досягає допустимого значення.

До основних параметрів, що визначаються при розрахунку адсорбера, належать:

- висота шару адсорбенту;
- площа поперечного перерізу та діаметр апарата;
- швидкість газу через шар;
- динамічна адсорбційна ємність та час циклу;
- масовий баланс адсорбованого компонента.

### Практична частина.

Методика розрахунку

1. Задати вхідні дані:

Витрата газу  $Q$  (м<sup>3</sup>/год), початкова концентрація компонента  $C_{in}$  (мг/м<sup>3</sup>), гранична концентрація  $C_{out}$ , динамічна ємність адсорбенту  $q_{dyn}$  (мг/г), насипна густина  $\rho_b$  (кг/м<sup>3</sup>), рекомендована швидкість газу  $v_g$  (м/с).

2. Перевести об'ємну витрату газу в м<sup>3</sup>/с:

$$Q_s = \frac{Q}{3600}$$

3. Визначити необхідну площу перерізу та діаметр адсорбера:

$$A = \frac{Q_s}{v_g}, \quad D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

4. Виконати масовий баланс на цикл адсорбції:

$$M = Q_s \cdot (C_{in} - C_{out}) \cdot t$$

5. Розрахувати висоту шару адсорбента:

$$H = \frac{M}{q_{dyn} \cdot \rho_b \cdot A}$$

6. Оцінити час до прориву та тривалість адсорбційного циклу.

Умовні вихідні дані

$$Q = 8\,000 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$C_{in} = 150 \text{ мг/м}^3$$

$$C_{out} = 10 \text{ мг/м}^3$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 42

$$q_{\text{dyn}} = 80 \text{ мг/г}$$

$$\rho_b = 520 \text{ кг/м}^3$$

$$v_g = 0,3 \text{ м/с}$$

$$t = 2.0 \text{ год}$$

Результати розрахунку

$$D = 1,35 \text{ м}$$

$$H = 1,85 \text{ м}$$

$$\text{Маса поглинутого компонента } M = 2,23 \text{ кг/цикл}$$

$$\text{Маса адсорбенту в шарі } m_{\text{ads}} = 1360 \text{ кг}$$

$$\text{Тривалість роботи до прориву} - 2,1 \text{ год}$$

Висновки.

Отримано геометричні параметри адсорбера періодичної дії для заданих умов очищення газу. Шар адсорбенту забезпечує утримання домішок протягом двогодинного циклу до досягнення граничної концентрації на виході. Рекомендується передбачити рівномірний розподіл потоку газу, можливість регенерації адсорбенту та періодичного контролю втрати адсорбційної ємності.

#### **Контрольні запитання**

1. У чому полягає принцип роботи адсорбера періодичної дії з нерухомим шаром?
2. Як визначають діаметр адсорбера за заданою об'ємною витратою газу та швидкістю його руху?
3. Що таке динамічна адсорбційна ємність  $q_{\text{dyn}}$  і чим вона відрізняється від рівноважної?
4. Як розрахувати висоту шару адсорбенту за масовим балансом процесу?
5. Що таке час прориву та які фактори визначають тривалість адсорбційного циклу?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 43

#### 4. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

**Тема 1.** Атмосфера – газова оболонка Землі.

1. Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин від точкового джерела (висока температура викидів) за індивідуальним завданням

**Тема 2.** Фактори впливу на стан атмосфери.

1. Розрахунок розсіювання викидів забруднюючих речовин від точкового джерела (низька температура викидів) за індивідуальним завданням

**Тема 3.** Вплив забруднення атмосфери на земну поверхню і живі організми

1. Використання методів біоіндикації для оцінки стану повітряного середовища

**Тема 4.** Моніторинг забруднення атмосферного повітря.

1. Кількісна оцінка впливу транспортних засобів на стан атмосферного повітря в населених пунктах

**Тема 5.** Вимірювання температури атмосферного повітря.

1. Методи кондиціювання повітря для замкнених робочих приміщень

**Тема 6.** Вимірювання атмосферного тиску.

1. Вплив зміни фізичних параметрів атмосферного повітря на стан людини.

**Тема 7.** Вимірювання вологості повітря.

1. Організація контролю фізико-хімічних параметрів повітря на підприємстві

**Тема 8.** Вимірювання швидкості газових потоків.

1. Засоби та методи відбору проб повітря

**Тема 9.** Кислотні дощі.

1. Використання сучасного програмного забезпечення для створення карт поширення викидів забруднюючих речовин

**Тема 10.** Руйнування озонового шару.

1. «Озоновий шар» та його роль у захисті поверхні Землі від дії космічного випромінювання

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 44

**Тема 11.** Зміна клімату

1. Проблема стабілізації вмісту вуглекислого газу в атмосфері

**Тема 12.** Засоби очищення газових викидів сухими пиловловлювачами

1. Технологічні розрахунки циклонів і визначення їх конструктивних розмірів за індивідуальним завданням

**Тема 13.** Засоби сухого очищення газових викидів від пилу фільтруванням

1. Розрахунок параметрів роботи рукавних фільтрів за індивідуальним завданням

**Тема 14.** Засоби мокрого очищення газових викидів від пилу

1. Технологічні розрахунки пінних пиловловлювачів за індивідуальним завданням

**Тема 15.** Засоби для абсорбційного очищення газових викидів від газо-й паро-подібних речовин

1. Технологічні розрахунки розпилювальних пустотілих форсуночних абсорберів за індивідуальним завданням

**Тема 16.** Засоби для адсорбційного очищення газових викидів від газо-й пароподібних речовин

1. Технологічні розрахунки адсорбера періодичної дії з нерухомим шаром адсорбенту за індивідуальним завданням

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 45

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### *Основна література*

1. Шибанова А. М. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище: навчальний посібник / А. М. Шибанова, М. В. Руда, О. Н. Кузь. – Київ: Яроченко Я.В., 2023. – 151 с.
2. Петрушка І. М. Спецкурс з наукових досліджень спеціальності. Частина 2: навчальний посібник / І. М. Петрушка, А. М. Гивлюд. – Київ: Яроченко Я.В., 2023. – 201 с.
3. Мороз О. І. Технології адаптації до змін клімату: навчальний посібник / О. І. Мороз, І. М. Петрушка, О. Н. Кузь, М. В. Руда. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 452 с.
4. Schiffner K.C. Air Pollution Control Equipment Selection Guide. CRC Press, 2021.
5. Бекетов В. Є., Євтухова Г. П. Джерела та процеси забруднення атмосфери. Харків : ХНУМГ ім. О. Н. Бекетова, 2019. 113 с. <https://core.ac.uk/download/pdf/228030186.pdf>
6. Охорона атмосфери: методичні рекомендації до практичних робіт / Ірина Марківна Нетробчук. – Луцьк, 2019. – 38 с.
7. Посилкіна О.В., Онищенко Я.Г. Промислова екологія: навч. посіб. для здобувачів вищої освіти, що навчаються за освітньою професійною програмою «Технологія фармацевтичних препаратів» – Х.: Вид-во НФаУ, 2019. – 162 с.
8. Fundamentals of Soil Science / D. Tripathi, S. Mani, Sh. Mohinder Singh. e-course of ICAR. – 133 pp. ([www.agrimoon.com](http://www.agrimoon.com))
9. Henry D. Foth. Fundamentals of Soil Science / Henry D. Foth. - 8th ed. – 382 pp.
10. Malovanyu M, Korbut M, Davydova I, Tymchuk I. Monitoring of the Influence of Landfills on the Atmospheric Air Using Bioindication Methods on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. Journal of Ecological Engineering. 2021; 22(6): 36-49.
11. Korobiichuk I., Davydova I., Korobiichuk V., Shlapak V., Panasiuk A.. Measurement of Qualitative Characteristics of Different Types of Wood Waste in the Forestries Zhytomyr Polissya. Automation 2021: Recent Achievements in Automation, Robotics and Measurement Techniques. AUTOMATION 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. vol 1390. pp 297-308.
12. Davydova I., Korbut M., Malovanyu M., Shlapak V., Mamray V., Korobiichuk V. Mapping of Urbanized Territories Noise Level as a Basis for Developing a Complex of Noise-Reducing Measures. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2022. 23(6). 32–41. <https://doi.org/10.12912/27197050/152523>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 11 / 46

### *Допоміжна література*

1. Герасимов, О. І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: Навчальний посібник. ТЕС, Одеса. 2018. – 228 с.
2. Сарапіна М. В. Процеси та апарати пилогазоочищення: курс лекцій. Харків: НУЦЗУ, 2018. 125 с.
3. Клименко М.О., Залеський І.І. Техноекологія. Підручник. – 2017. – 348 с.
4. Крусір Г. В., Мадані М. М., Гаркович О. Л. Техніка та технології очищення газових викидів. Одеса: ОНАХТ-Одеса, 2017. 207 с.
5. Хван Т.А. Екологічні основи природокористування. 2017.
6. Шестопапов О. В. Біологічна очистка та дезодорація газоповітряних викидів : навч. посіб. / Шестопапов О. В., Бахарева Г. Ю., Філенко О. М. та ін.– Х.: НТУ «ХП», 2015. – 116 с.
7. Контроль запиленості атмосфери гірничих підприємств на основі оптичного лічильно-інтегрального методу: моногр. Колесник В.Є., Юрченко А.А., Чеберячко С.І. – Д.: НГУ, 2013. 135 с.
8. Промислова екологія: навч. посіб. / С.О. Апостолюк, В.С. Джигирей, І.А. Соколовський та ін. – 2-ге вид., виправл. і доповн. – К.: Знання, 2012. – 430 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
9. Колесніков М.О. Хімія атмосфери. Курс лекцій. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – 112 с.
10. Войцицький А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М. Техноекологія; за ред. В. М. Боголюбова. -К. : Аграрна освіта, 2009. – 533 с.
11. Гавриленко О.П. Сучасний стан та основні проблеми ресурсів атмосферного повітря в Україні / О.П. Гавриленко // Екогеографія України: навчальний посібник / Олена Гавриленко. - К. : Знання, 2008. - 646,[1] с. : карти. - (Сер. "Вища освіта ХХІ століття"). - Бібліогр. в кінці розд. - С. 324-355.
12. Гетьман .П. (та інш.). Правова охорона атмосферного повітря // Екологічне право України в запитаннях та відповідях : навчальний посібник / А. П. Гетьман [та ін.]. - Харків : Одиссей, 2008. - 478,[1] с. - Алф.-предм. покажч. : с. 459-464. -С.274-293.

### *Інформаційні ресурси в Інтернеті*

1. Закон України про охорону атмосферного повітря  
<http://zakon2.rada.gov.ua>
2. Екологічне право України  
[http://ebk.net.ua/Book/law/getman\\_ekopu/part17/1703.htm](http://ebk.net.ua/Book/law/getman_ekopu/part17/1703.htm)
3. Монреальський протокол - <http://www.graton.su/kioto115.html>
4. Сайти ООН: <http://www.un.org>
5. ООН в Україні - <http://www.un.org.ua/ua/about>
6. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.  
<https://mepr.gov.ua/>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.01/101.00.1/Б/ОК29- 2025
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 11 / 47</i>

7. Промислова екологія. Спільнота фахівців-екологів.  
<http://www.eco.com.ua/>

8. Професійна Асоціація Екологів України. <https://raeu.com.ua/>