ЗМІСТ

Передмова.....8

ЧАСТИНА І. ПОНЯТТЯ «ТЕХНОЛОГІЇ». ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЙОГО НАСЛІДКИ.....16

1.1. Основні поняття і терміни промислової екології.....16

1.2. Класифікація забруднень довкілля.....17

1.3. Принципи організації та функціонування екологічних технологій.....20

Запитання для самостійної роботи.....22

РОЗДІЛ 2. РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....24

2.1. Сутність понять «технологія» та «екологічна технологія».....24

2.2. Класифікація екологічно безпечних технологій.....25

2.3. Екологічні інновації та різновиди новітніх технологій.....27

Запитання для самостійної роботи.....28

РОЗДІЛ 3. МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ.....31

3.1. Сутність механічного очищення промислових газів та класифікація методів.....31

3.2. Апарати сухого механічного очищення газів.....34

3.2.1. Пилоосаджувальні камери.....34

3.2.2. Інерційні пиловловлювачі.....34

3.2.3. Циклони та інші апарати відцентрової дії.....36

3.2.4. Вихрові пиловловлювачі.....37

3.2.5. Ротаційні пиловловлювачі.....38

Запитання для самостійної роботи.....39

РОЗДІЛ 4. ФІЛЬТРУВАЛЬНІ МЕТОДИ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД ПИЛУ 40
4.1. Загальні закономірності процесу фільтрування газів .. 40
4.2. Фільтри з гнучкими пористими перегородками та волокнисті апарати 42
4.3. Сітчасті й зернисті фільтри 44
4.4. Електрофільтри: теоретичні основи та конструкції 45
Запитання для самостійної роботи 46
РОЗДІЛ 5. АПАРАТИ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ 47
5.1. Теоретичні основи мокрого пиловловлювання 47
5.2. Зрошувані газоходи та промивні камери 47
5.3. Скрубери: конструктивні особливості та класифікація 48
5.4. Газоочисники ударно-інерційної дії 50
5.5. Тарілчасті (барботажні) газопромивачі 51
5.6. Швидкісні газопромивачі (апарати Вентурі) 52
Запитання для самостійної роботи 54
РОЗДІЛ 6. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ АПАРАТИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ 55
6.1. Абсорбери: теоретичні основи процесу 55
6.2. Адсорбери періодичної та безперервної дії 56
6.3. Апарати іонообмінного очищення газових потоків 57
6.4. Каталітичні реактори для знешкодження газових викидів 58
6.5. Апарати термічного знешкодження 59
6.6. Конденсатори в системах уловлювання парів речовин 60
6.7. Біофільтри та інші апарати біохімічного очищення газів 61
Запитання для самостійної роботи 62

ЧАСТИНА ІІ. ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ТА СТІЧНИХ ВОД

РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ 64
7.1. Теоретичні основи та класифікація процесів водопідготовки 64
7.2. Методи поліпшення органолептичних властивостей води 65
7.3. Знезараження води та забезпечення її епідеміологічної безпеки 66
7.4. Кондиціювання мінерального складу води 67
7.5. Технології опріснення та знесолення води 69
Запитання для самостійної роботи 71

РОЗДІЛ 8. МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ 72
8.1. Теоретичні основи механічного очищення водних систем 72
8.2. Проціджування: конструкції решіток та сит 73
8.3. Відстоювання стічних і природних вод 75
8.4. Фільтрування крізь зернисті та пористі перегородки 77
Запитання для самостійної роботи 79

РОЗДІЛ 9. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ 80
9.1. Теоретичні основи фізико-хімічних процесів у водних середовищах 80
9.2. Реагентні методи дестабілізації дисперсних систем: коагуляція та флокуляція 80
9.3. Флотаційне очищення стічних вод: фізико-хімічні основи та класифікація 82
9.4. Сорбційні, масообмінні та іонообмінні методи глибокого очищення стічних вод 85
9.5. Баромембранні технології: зворотний осмос у процесах очищення води 87
9.6. Рідинна екстракція у технологіях регенеративного оброблення стічних вод 88
9.7. Електрохімічні та магнітно-реагентні методи очищення стічних вод 90
Запитання для самостійної роботи 91

РОЗДІЛ 10. ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ 93
10.1. Теоретичні основи хімічного перетворення забруднювальних речовин 93
10.2. Нейтралізація кислих і лужних стічних вод 94
10.3. Окиснювальні методи деструкції полютантів та знезараження стічних вод 96
10.4. Спеціальні методи фізико-хімічного оброблення стічних вод 97
10.5. Фізико-хімічні процеси аерації та дегазації води 99
Запитання для самостійної роботи 101
РОЗДІЛ 11. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ 102
11.1. Теоретичні основи біологічного очищення стічних вод 102
11.2. Природні (екстенсивні) системи біологічного очищення стічних вод 103
11.2.1. Споруди ґрунтового очищення 104
11.2.2. Фіторемедіаційні споруди 105
11.3. Штучні (інтенсивні) споруди біологічного очищення стічних вод 106
11.3.1. Аеробні споруди біологічного очищення 106
11.3.2. Анаеробні споруди й біореактори 107
Запитання для самостійної роботи 109
ЧАСТИНА ІІІ. ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ
РОЗДІЛ 12. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ 112
12.1. Механічні методи очищення ґрунтового масиву 112
12.2. Екранування та влаштування фізичних бар'єрів 114
12.3. Термічне оброблення ґрунтів 116
12.4. Фізико-механічні аспекти наноремедіації 119
Запитання для самостійної роботи 120
РОЗДІЛ 13. БІОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕМЕЛЬ 123
13.1. Біологічні методи відновлення земель 123
13.2. Мікробна біоремедіація ґрунтів 123
13.3. Фіторемедіаційні технології очищення ґрунтів 124

13.4. Технології інтенсифікації газообміну в ґрунтовому масиві 126
13.5. Інноваційні та комбіновані біотехнології ремедіації 127
Запитання для самостійної роботи 129
РОЗДІЛ 14. ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ТА МЕЛІОРАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ 131
14.1. Теоретичні основи хімічної ремедіації ґрунтів 131
14.2. Хімічне окиснення *in situ* 132
14.3. Хімічна стабілізація та регулювання рухливості полютантів у ґрунтовому масиві 133
14.4. Хімічне промивання ґрунтів 134
14.5. Електрокінетична ремедіація 135
14.6. Наноремедіація: хімічні аспекти 136
Запитання для самостійної роботи 137
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 139
ЧАСТИНА IV. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ПРЕДМЕТНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ 148
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ 198
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК 263
ДОДАТКИ 276

ПЕРЕДМОВА

Сучасний етап розвитку людства характеризується безпрецедентним антропогенним та техногенним навантаженням на біосферу. Масштабна індустріалізація, урбанізація, інтенсифікація сільського господарства, а також глобальні кліматичні зміни призвели до критичного погіршення стану базових компонентів довкілля – атмосферного повітря, водних та земельних ресурсів. За цих умов традиційні підходи до природокористування вичерпали свій ресурс, а забезпечення сталого розвитку територій стало одним із найголовніших викликів для національної безпеки будь-якої держави.

Навчальний посібник «Технології очищення повітря, води та земель» побудований за принципом комплексної інженерної тріади захисту довкілля. Матеріал книги послідовно розкриває сучасні методи очищення атмосферного повітря від пилу та токсичних газів, технології підготовки природної води й оброблення стічних вод, а також інноваційні підходи до екологічного відновлення земель. У посібнику поєднано традиційні механічні й хімічні методи сепарації та очищення з новітніми фізико-хімічними, баромембранними та біотехнологічними рішеннями, що дає змогу майбутнім фахівцям системно оцінювати екологічні ризики та обирати оптимальні схеми екологічних технологій.

Питання, розгянуті у посібнику, є базовими для навчальної дисципліни «Технології очистки повітря, води та земельних ресурсів», яка є нормативною для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» (галузь знань G «Інженерія, виробництво та будівництво»). Цю дисципліну викладають у 4-му семестрі обсягом 4,0 кредити за Європейською кредитно-трансферною системою (*European Credit Transfer and Accumulation System,* ECTS). На вивчення навчальної дисципліни відведено

64 години аудиторних занять (32 години лекцій, 32 години лабораторних занять) та 56 годин самостійної роботи.

Курс дає змогу сформувати у студентів системне бачення широкого спектра сучасних технологій, які використовують в Україні та країнах світу для очищення атмосферного повітря, води й земель, а також підготувати фахівців, здатних приймати обґрунтовані інженерні рішення для захисту довкілля відповідно до принципів сталого розвитку та європейських стандартів.

Зміст обов'язкового компонента (ОК) «Технології очистки повітря, води та земельних ресурсів» спрямований на формування у студентів такої *інтегральної компетентності*: здатність розв'язувати складні задачі та практичні проблеми технічного і технологічного характеру у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування, або у процесі навчання, що передбачає застосування теоретичних основ та методів технологій захисту навколишнього середовища і характеризується комплексністю й невизначеністю умов.

Реалізація програми курсу також забезпечує формування таких загальних і фахових компетентностей:

Загальні компетентності (ЗК)*:*

ЗК 02. Знання і критичне розуміння предметної галузі та професійної діяльності.

ЗК 05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК 07. Прагнення до збереження навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку суспільства.

ЗК 09. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної галузі, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.

Фахові компетентності (ФК)*:*

ФК 01. Здатність до запобігання забрудненню довкілля, виникненню кризових явищ і процесів.

ФК 02. Здатність обґрунтовувати, здійснювати підбір, розраховувати, проєктувати, модифікувати, готувати до роботи та використовувати сучасну техніку і обладнання для захисту та раціонального використання повітряного та водного середовищ, земельних ресурсів, поводження з відходами.

ФК 03. Здатність проводити спостереження та інструментально-лабораторний контроль стану навколишнього середовища, впливу на нього зовнішніх факторів із відбором зразків (проб) природних компонентів.

ФК 04. Здатність здійснювати контроль за забрудненням повітряного басейну, водних об'єктів, грунтового покриву та геологічного середовища.

ФК 05. Здатність до розробки методів і технологій поводження з відходами та їхнього рециклінгу.

ФК 06. Здатність до проєктування систем і технологій захисту навколишнього середовища та забезпечення їхнього стабільного функціонування.

ФК 07. Здатність до управління процесами розміщення та утилізації відходів.

ФК 08. Здатність до забезпечення екологічної безпеки.

ФК 09. Здатність оцінювати вплив промислових об'єктів та інших видів господарської діяльності на довкілля.

ФК 10. Здатність використовувати картографічні методи та геоінформаційні технології у сфері захисту навколишнього середовища, зокрема з метою прогнозування екологічних небезпек і застосування тактики управління в надзвичайних ситуаціях.

У результаті вивчення курсу «Технології очистки повітря, води та земельних ресурсів» студент повинен

знати:

- нормативно-правову базу України та ЄС у сфері екологічної безпеки;
- методики інженерного розрахунку очисних апаратів і споруд;
- правила безпечної експлуатації екологічного обладнання та методи контролю його ефективності;

у сфері захисту атмосферного повітря:

фізико-хімічні основи процесів пиловловлювання (дифузія, електростатичне притягання); класифікацію та конструкцію газоочисного обладнання: сухі пиловловлювачі (циклони), фільтри (рукавні, зернисті), мокрі скрубери та електрофільтри; методи очищення від газоподібних домішок – принципи абсорбції, адсорбції, хемосорбції; принципи вибору обладнання залежно від дисперсного складу пилу, температури та вологості газів;

у сфері очищення водних ресурсів:

склад і властивості стічних вод, основні показники їхнього забруднення; технологічну послідовність очищення від механічного (первинного) до глибокого (третинного) доочищення та дезінфекції; механізми біологічного очищення – кінетику розкладу органічних сполук в аеробних (аеротенки, біофільтри) та анаеробних (метантенки) умовах; сучасні мембранні та сорбційні технології – принципи ультрафільтрації, зворотного осмосу та іонного обміну для видалення специфічних забруднювачів; методи оброблення осадів: технології зневоднення, стабілізації та термічної утилізації шламів;

у сфері захисту та відновлення земель:

закономірності міграції забруднень у ґрунтовому профілі та їхній вплив на підземні водоносні горизонти; методи рекультивації та ремедіації земель – фізичні (термічні, вакуумні), хімічні (стабілізація, промивання) та біологічні (фіторемедіація, біовентиляція); інженерні бар'єри – конструкції захисних екранів

та систем дренажу для запобігання поширенню забруднень із полігонів відходів;

вміти:

- розв'язувати прикладні екологічні проблеми на промислових підприємствах;
- самостійно обґрунтовувати й розробляти технологічні лінії очищення для об'єктів промисловості та комунального господарства;
- працювати з нормативно-технічною документацією: національними, європейськими і міжнародними стандартами, довідниками найкращих доступних технологій (НДТ);
- проводити порівняльну оцінку технологій за еколого-економічними критеріями (співвідношення «вартість впровадження – ступінь зниження екологічного податку»);

у сфері очищення атмосферного повітря:

проводити технічні розрахунки основних апаратів пилоловлювання – визначати діаметр та кількість циклонів, розраховувати площу фільтрувальної поверхні рукавних фільтрів; обґрунтовувати вибір методу очищення газів (абсорбція, адсорбція чи каталіз) залежно від хімічного складу викидів та їхньої температури; розраховувати ефективність очисного обладнання та визначати відповідність залишкових викидів установленим нормативам гранично допустимих викидів (ГДВ); складати технологічні схеми багатоступеневого очищення повітря (наприклад, циклон – скрубер – вугільний фільтр);

у сфері очищення стічних вод:

розраховувати параметри споруд механічного очищення – визначати розміри пісковловлювачів та відстійників на основі гідравлічного навантаження; визначати необхідні дози реагентів (коагулянтів, флокулянтів, нейтралізаторів) для фізико-хімічного очищення води; проєктувати системи біологічного очищення –

розраховувати об'єм аеротенків, необхідну кількість повітря для аерації та рециркуляцію активного мулу за показниками БСК; аналізувати роботу споруд та пропонувати заходи з інтенсифікації очищення при зміні складу або об'єму стічних вод; вибирати раціональні методи оброблення осадів;

у сфері рекультивації та очищення земель:

оцінювати ступінь забруднення ґрунтів та визначати обсяги оброблення забруднених мас; розробляти плани рекультивації порушених земель (технічний та біологічний етапи) для кар'єрів, звалищ або територій після промислових аварій; вибирати оптимальний вид фіторемедіації для очищення ґрунту від важких металів або нафтопродуктів; розраховувати параметри захисних бар'єрів та дренажних систем для запобігання поширенню забруднень у підземні води.

З метою забезпечення розглянутих вище компетентностей, знань та вмінь цілком закономірною є потреба створення навчального посібника «Технології очищення повітря, води та земель», автором якого є доцент кафедри конструктивної географії і картографії географічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка – канд. геогр. наук М. А. Петровська.

Навчальний посібник «Технології очищення повітря, води та земель» структуровано за трьома основними напрямами. Перший охоплює захист атмосферного повітря від пилових та газових викидів за допомогою систем сухого, мокрого, фільтрувального та фізико-хімічного очищення. Другий напрям присвячено технологіям водопідготовки і комплексним механічним, хімічним, фізико-хімічним та біологічним методам очищення стічних вод. Третій блок розкриває новітні технології ремедіації та відновлення порушених і забруднених земель, включаючи методи хімічного окиснення *in situ*, промивання, електрокінетичної, нано- та мікробної біоремедіації.

Особливістю видання є його практична спрямованість: кожен розділ завершується запитаннями для самостійної роботи, а окрема частина присвячена формуванню предметних компетентностей і містить інструкції до лабораторних робіт, тестові завдання для самоконтролю та термінологічний словник.

Навчальний посібник розрахований на студентів, аспірантів і викладачів закладів вищої освіти екологічних та інженерно-технічних спеціальностей, зокрема G2 «Технології захисту навколишнього середовища» та E2 «Екологія», а також для фахівців у галузі промислової екології, екологічного менеджменту та раціонального природокористування.