

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**В.В.Курятников**

**ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО  
СЕРЕДОВИЩА**

Конспект лекцій

Одеса 2017

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

“Рекомендовано методичною радою ОДЕКУ  
Міністерства освіти і науки України як  
конспект лекцій (прот.№8 від 29.06.2017)

**В.В.Курятников**

**ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО  
СЕРЕДОВИЩА**

Конспект лекцій

Одеса 2017



ББК 22.3  
К 93  
УДК 539.16

Курятников В.В. Інженерно-фізичні аспекти захисту навколишнього середовища: Конспект лекцій/ Одеса: ОДЕКУ, 2017, 50 с.

Конспект лекцій спрямований на поліпшення засвоєння студентами матеріалів спеціальної дисципліни “Інженерно-фізичні аспекти захисту навколишнього середовища”.

В конспекті розглядаються питання інженерно-фізичних принципів захисту навколишнього середовища методів і заходів зниження рівня забруднення навколишнього середовища, технологій та апаратів очищення об’єктів навколишнього середовища, сучасні інженерні задачі екологічної безпеки і захисту довкілля від енергетичних дій, зокрема від радіації.

Конспект допомагає засвоїти методи розрахунків ступеня очищення об’єктів навколишнього середовища в сучасних технологічних установках, розрахунків доз та потужностей доз випромінювання в умовах підвищеної радіаційної безпеки. Він допомагає здійснювати обробку результатів вимірювання, необхідних студентам для адекватного аналізу небезпечних екологічних ситуацій та побудування достовірного прогнозу.

Конспект лекцій з дисципліни “Інженерно-фізичні аспекти захисту навколишнього середовища” призначений для студентів 1-го року денної форми навчання магістерського рівня вищої освіти за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища”.

© Курятников В.В., 2017  
© Одеський державний екологічний  
університет, 2017

## Зміст

|  |    |
|--|----|
| Вступ. . . . .   | 4  |
| 1. Інженерно-фізичні принципи захисту навколишнього середовища. . . . .  | 6  |
| 1.1 Методологічні засади, основні принципи і поняття інженерних аспектів захисту навколишнього середовища. . . . .                   | 6  |
| 1.2 Методи і заходи зниження рівня забруднення навколишнього середовища. . . . .   | 17 |
| 1.2.1 Методи захисту навколишнього середовища від промислових. . . . .   | 17 |
| 1.2.2 Загальні інженерні принципи природокористування і захисту навколишнього середовища. . . . .                                    | 18 |
| 1.2.3 Загальні принципи інтенсифікації технологічних процесів захисту навколишнього середовища. . . . .                              | 20 |
| 1.3 Захист атмосфери. Способи очищення газових викидів. Інженерно-фізичні принципи очищення повітря від аерозольних домішок. . . . . | 21 |
| 1.4 Захист водного середовища. Класифікація способів очищення стічних вод. . . . .   | 23 |
| 1.5 Методи захисту літосфери. . . . .  | 26 |
| 2. Науково-обґрунтовані підходи до ліквідації наслідків забруднення навколишнього середовища. . . . .                                | 27 |
| 2.1 Методи захисту довкілля від енергетичних дій . . . . .   | 28 |
| 2.2 Технології та апарати очищення об'єктів навколишнього середовища   | 29 |
| 2.3 Сучасний екологічний стан України й наслідки аварії на Чорнобильській АЕС. . . . .   | 32 |
| 2.4 Дезактивація та реабілітація радіаційно забруднених територій. . . . .   | 33 |
| 2.5 Організація життєдіяльності в умовах, що забезпечують мінімізацію дозових навантажень. . . . .                                   | 34 |
| 2.6 Схов, переробка та утилізація джерел іонізуючого випромінювання. . . . .   | 34 |
| 3. Сучасні інженерні задачі екологічної безпеки, контролю стану і захисту навколишнього середовища. . . . .                          | 36 |
| 3.1 Екологічні прилади та системи захисту об'єктів навколишнього середовища від зовнішніх збурень. Захист від радіації. . . . .      | 36 |
| 3.2 Радіація та дози випромінювання. Методи і прилади у радіометрії й дозиметрії. . . . .  | 36 |
| 3.3 Розрахунки ступеня очищення об'єктів навколишнього середовища в сучасних технологічних установках . . . . .                      | 40 |
| 3.4 Розрахунки доз і потужностей доз випромінювання в умовах підвищеної радіаційної безпеки. . . . .                                 | 43 |
| Література. . . . .  | 49 |

## Вступ

Навчальна дисципліна “Інженерно-фізичні аспекти захисту навколишнього середовища” є обов’язковою, професійно орієнтованою для спеціальності 183 “Технології захисту навколишнього середовища” магістерського рівня вищої освіти.

Конспект допомагає засвоїти знання інженерно-фізичних принципів захисту об’єктів навколишнього середовища, знання методів діагностики екологічно-небезпечних зовнішніх збурень, придбати навички використання приладів для фізичних вимірювань параметрів навколишнього середовища, розуміти наукові підходи до ліквідації наслідків забруднення довкілля та до організації безпечної життєдіяльності людей в умовах підвищеного екологічного ризику.

Мета конспекту полягає у формуванні у студентів знань інженерних принципів захисту об’єктів навколишнього середовища, здатності застосовувати адекватні до умов галузі сучасні технології захисту екосистем.

Після вивчення матеріалу дисципліни студент запов’язаний:

### **Знати:**

- інженерно-фізичні принципи захисту навколишнього середовища;
- науково-обгрунтовані підходи до ліквідації наслідків забруднення навколишнього середовища;

### **Вміти:**

- оцінювати рівень небезпеки забруднення навколишнього середовища;
- користуватися побутовими та дослідницькими приладами для вимірювання рівня забруднення навколишнього середовища;
- розробляти схеми аналізу шляхів міграції радіонуклідів у природних середовищах і екосистемах ;
- організовувати життєдіяльність в умовах радіоактивного забруднення, що забезпечує мінімізацію дозових навантажень.

**Компетенції** (шифри основних фахових компетенцій у ОПП - КСП-07, КСП-08, КСП-09):

**КСП-07** - Знання інженерних принципів захисту об’єктів навколишнього середовища. Здатність застосовувати адекватні до умов галузі сучасні технології захисту екосистем;

**КСП-08** - Знання новітніх технологій (геоінформаційних, нанотехнологій, біотехнологій та ін.) для захисту екосистем;

**КСП-09** - Володіння методами діагностики екологічно-небезпечних зовнішніх збурень і навичками використання приладів для фізичних вимірювань.

Студент повинен оволодіти відповідним математичним апаратом, придбати навички його практичних застосувань і на цій основі отримати

чіткі знання про фізичну природу явищ, що легли в основу експериментальних і теоретичних методів вивчення іонізуючого випромінювання.

Конспект лекцій з дисципліни, що читається для студентів за спеціальністю навчання, є основним допоміжним матеріалом для самостійної роботи студентів.

Самостійна робота студента з дисципліни “ Інженерно-фізичні аспекти захисту навколишнього середовища ” включає:

- підготовку до лекційних і практичних занять;
- підготовку до написання контрольних робіт;
- підготовку до атестаційного заходу.

Для отримання задовільної оцінки при проведенні контрольних заходів студенту чи студентці достатньо показати своє володіння базовими знаннями і вміннями.

Таблиця 1

| Базові знання  | Вміння   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- інженерно-фізичні принципи захисту навколишнього середовища;</li> <li>- інженерно-фізичні принципи захисту від радіоактивного забруднення навколишнього середовища;</li> <li>- науково- обґрунтовані підходи до ліквідації наслідків забруднення навколишнього середовища;</li> <li>- організація життєдіяльності в умовах, що забезпечують мінімізацію дозових навантажень.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводити розрахунки фізичних характеристик об’єктів навколишнього середовища;</li> <li>- застосовувати методи та прилади у радіо-дозиметричних вимірюваннях;</li> <li>- застосовувати сучасні фізико-хімічні методи та апарати для очищення атмосферного повітря;</li> <li>- застосовування сучасних фізико-хімічних методів та апаратів для очищення води;</li> </ul> |

Теми занять і розподіл годин, що відводяться на вивчення цих тем, відповідають затвердженим в ОДЕКУ навчальному плану і програмі дисципліни.

Студенти виконують залікову контрольну роботу.

# **1. Інженерно-фізичні принципи захисту навколишнього середовища**

## **1.1 Методологічні засади, основні принципи і поняття інженерних аспектів захисту навколишнього середовища**

Будемо розуміти під інженерією алгоритмічне втілення науково-технічної ідеї та її реалізацію у вигляді розробленого технічного об'єкта.

При цьому відбувається трансформація наукового знання в технічні інженерні об'єкти - технічне обладнання, технологічні промислові процеси.

Технічні об'єкти та технологічні процеси постійно удосконалюються. Відбувається заміна їх на більш ефективні, більш економічні, безпечні, що відповідають сучасним вимогам енергозберігання, безвідходного виробництва та ін.

Інженерна діяльність спряжена із технічною творчістю, результатом якої є нові винаходи, конструкторські розробки та раціоналізаторські пропозиції.

Науково-технічний прогрес відбувається завдяки новим науковим відкриттям, появі нових технологій та нової техніки. Цьому сприяє два аспекти:

- розвиток науки, відкриття нових законів;
- розвиток техніки та технологій.

Наприклад, наукові знання, з одного боку, дозволяють створювати ракетну техніку, за допомогою якої проводять подальше вивчення космосу, а з другого боку, сприяє розвитку інших технологій, скажімо, дозволяє забезпечувати супутникові телекомунікаційні зв'язки.

Винахідництво дає значний економічний ефект. Винаходи можна не тільки втілювати у виробництві, але й продавати. Тому нові інженерні рішення патентуються. Здобуття патентів регламентується певними правилами, які складають суть патентознавства.

Патент фіксує перевагу нових технічних рішень над відомими рішеннями наявністю основних ознак:

- ефективність;
- економічність;
- безпечність (у тому числі і екологічна безпечність).

### **Системний підхід в інженерії**

Окремі технічні об'єкти при певних взаємодіях між собою утворюють різні інженерні конструкції. Наприклад, один з найстародавніших технічних елементів, колесо, яке відомо людству вже тисячі років, може виконувати різні функції у поєднанні з іншими речами. Це може бути транспортний засіб, частина прядки для прядіння тканини, шестерня, або щось інше.

Системою будемо називати таку сукупність елементів, функціонально пов'язаних між собою, які мають різні властивості, параметри і характеризуються певною структурою, що забезпечує виконання будь-якої єдиної мети або функції.

Системний підхід в інженерній справі передбачає розгляд технічних об'єктів як системи елементів із різноманітними зв'язками між собою.

Системний підхід допомагає знайти загальний напрямок дій в інженерних пошуках, побачити задачу створення інженерної системи більш повно і глибоко.

Кожна з інженерних систем має своє призначення та служить для виконання певних функцій.

Першими відомими людству інженерними системами можна вважати технології та обладнання для приготування їжі, вироблення одягу, будівництво. Такі системи були дуже простими за кількістю елементів і принципами роботи. Тоді їх було не дуже багато.

Так наприклад, до дуже простих технічних елементів окрім колеса можна віднести такий простий пристрій, як важіль для підняття важких тіл.

Дайте мені важіль, та я переверну Землю – майже два з половиною тисячоріччя тому казав відомий грецький вчений Архімед.

Незважаючи на простоту та невелику кількість елементів, з них утворювалися різні механічні системи, здатні не тільки виконувати прості технологічні функції, але й функції, що пов'язані із самовдосконалюванням систем та їх саморозвитком. Це стосується насамперед виготовлення робочого інструменту, металургійних технологій.

Деякі інженерні системи, збудовані тисячі років тому, дивують нас і зараз своєю незвичайною технологічністю і загадками у функціонуванні. Це, наприклад, сім дивів світу, та перш за все, єгипетські піраміди. Вони дозволили довести до нас, що вже тоді людство прагнуло використовувати отримані знання для своїх потреб у вигляді конструювання різних інженерних систем. В них відображуються знання людей того часу з механіки, оптики, астрономії.

Розвиток технологій протягом всього існування людства пов'язаний із виготовленням нової воєнної зброї. Так, за часів Архімеда у стародавній Греції винайдені ракети, у стародавньому Китаї був винайдений порох.

Винайдення пороху у середньовіччі сприяло створенню і застосуванню на території сучасної Туреччини артилерійської зброї, а вже у 1945 році була зроблена атомна бомба.

Ми бачимо, як інженерні системи з часом удосконалюються та при цьому ускладнюються, як за рахунок збільшення кількості складових елементів, так і внаслідок збільшення та ускладнення взаємозв'язків між ними. Так, у радіотехнічних системах, з'являються зворотні зв'язки, які, до речі, не завжди потрібні.



Ускладнення системи закінчується, коли відбувається перехід кількості у нову якість. При цьому з'являються нові інженерні системи, технології та виробництва.

Розвиток старовинних транспортних технологій пов'язаний з доданням у відому систему «колесо - контейнер» ще одного елемента «двигун». З появою нового транспорту виникла необхідність його удосконалювання. При цьому сама система потребувала введення ще одного елемента – дороги. Видатні інженери ХІХ сторіччя зайались конструюванням мостів, які простояли майже 200 років і зараз, на жаль, руйнуються.

Дослідження роботи парових двигунів у пошуках ідеальної теплової машини привели видатного французького інженера Саді Карно [1–2] у 1824 р. до відкриття другого закону термодинаміки, сформульованого Клаузіусом і Кельвіном як «ентропія у замкнених системах може тільки зростати».

Інженерна система (ідеальна тепла машина), яку запропонував Карно, складається тільки з трьох елементів: 1) нагрівач, 2) охолоджувач, 3) робоче тіло. Властивості перших двох елементів – постійна температура завдяки їх нескінченній теплоємності. Третій елемент – робоче тіло має властивості ідеального газу.

Розгляд роботи ідеальної теплової машини Карно – це зразок системно-структурного аналізу інженерної системи із врахуванням основних властивостей її елементів та взаємних зв'язків між ними.

Можна казати, що системний підхід допоміг Карно побачити задачу створення ідеальної машини більш повно і глибоко та зробити нове важливе відкриття.

Трохи пізніше Больцман [1–2] показав статистичний зміст ентропії – як міри упорядкованості системи. При цьому дав ще одне формулювання другого закону термодинаміки (зростання хаосу) для будь-яких замкнених систем, у якості яких можуть бути і інженерні системи, про які ми ведемо мову.

Відкриття другого начала штовхнуло розвиток не тільки парових двигунів, але й сприяло створенню двигунів внутрішнього згорання.

Системний підхід і системний аналіз властивостей хімічних елементів дозволив Д.І.Менделєєву відкрити у 1861 році його періодичний закон.

Зрозуміло, що якісно нові інженерні системи створюються тоді, коли з'являються нові наукові відкриття.

Відкриття М.Фарадеєм у 1831 році закону електромагнітної індукції надало імпульс для розвитку електротехніки, телеграфного зв'язку, радіотехніки, електроніки.

Нові технічні елементи стають характерними для нових систем, у яких вони обов'язково присутні. В електротехніці – це електрогенератор,

електродвигун, трансформатор. У радіотехніці та електроніці – це коливальний контур, який складається з конденсатора та котушки індуктивності.

В оптичних системах характерними елементами є лінзи, аналізатор спектра, лазер.

З атомною та ядерною фізикою та її законами пов'язані складні системи для виробництва ядерної енергії, атомні електростанції, системи для зберігання, утилізації та схову джерел іонізуючого випромінювання.

У теперішній час деякі функції взаємодії інженерної системи з людиною, яка її обслуговує, мають автоматизований характер. Тому їх називають – АСУ (автоматизовані системи управління). Така система отримує вхідний сигнал, обробляє його у відповідності із заданим алгоритмом, за отриманим результатом приймає певні рішення, виконує певні функції та повідомляє людину про здійснені дії.

На багатьох виробництвах (наприклад, енергетичні системи або хімічні виробництва) потрібна сировина, яка у процесі використання або переробки дає небажані відходи. Ці відходи можуть бути шкідливими для людини та навколишнього середовища. Тому удосконалення інженерних систем, пов'язаних з таким виробництвом, відбувається шляхом створення безвідходних технологій та застосування безвідходних технологічних процесів.

Нарешті, нові інженерні системи на потребу часу повинні бути реалізовані при застосуванні відомих удосконалених та новітніх технологій захисту навколишнього середовища.

Серед новітніх технологій теперішнього часу, які широко втілюються у життя, відмітимо:

- геоінформаційні технології;
- ІТ-технології;
- біотехнології;
- нанотехнології;
- технології комп'ютерного проектування та ін.

Про ці технології та інші мова піде у подальших параграфах конспекту.

Розглянемо екологічні та радіоекологічні інженерні системи, серед яких є природні та штучні системи.

Серед природних екологічних систем як приклад, назвемо водні системи, які включають до себе біологічну складову із назвою «біота». Це складна система, яку вивчають спеціалісти «гідроекологи». Задачею таких спеціалістів є забезпечення функціонування екологічної системи шляхом своєчасних заходів із захисту окремих її елементів та всієї системи в цілому. Інженерні аспекти захисту цієї системи включають очисні споруди, дамби та ін.

Основними, найбільш значими природними екологічними системами є також атмосферне повітря та система «грунт-рослинний покрив».

Прикладом штучної інженерної системи є система екологічного або радіоекологічного моніторингу.

Моніторинг – це система спостережень і контролю параметрів навколишнього середовища, яка включає до себе засоби сповіщення та передачі інформації. Контроль параметрів навколишнього середовища відбувається за певними методами та за допомогою певних приладів.

Другий приклад штучної, інженерної радіоекологічної системи – система отримання даних по спектрах гамма-випромінювань. Це гамма-спектрометр. Ця система включає до себе чотири основні елементи, серед яких детектор випромінювання, підсилювач електричних сигналів, аналізатор електричних імпульсів та вихідний елемент – комп'ютер.

Потрібно розуміти, що поділ екологічних систем на природні та штучні до деякої межі є достатньо умовним. Наприклад – зона забруднення, зокрема зона радіаційного забруднення навколо Чорнобильської АЕС, де відбулася аварія з радіоактивними викидами. Ця система включає природну систему із порушеним функціонуванням і штучні об'єкти, серед яких зруйнований реактор, як джерело радіоактивного забруднення.

Такі системи поєднують в собі елементи природного характеру та елементи, що мають властивості штучних об'єктів.

Так, при класифікації джерел іонізуючого випромінювання ми маємо:

- 1) природні джерела (ті, що утворюють загальний гамма-фон – сонячне та космічне випромінювання, радон у повітрі, вода з природним розчиненням радіоактивних елементів);

- 2) штучні джерела іонізуючого випромінювання (ядерні реактори, радіоактивні ізотопи, рентгенівські апарати);

- 3) техногенно-підсилені джерела іонізуючого випромінювання (звичайні споруди з поганою вентиляцією, підвальні споруди, у яких накопичується радон, який виходить із Землі, терикони біля вугільних шахт та ін., що поєднують у собі властивості природних та штучних об'єктів).

Системний підхід до розгляду інженерних систем пов'язаний із рядом принципів, що розкривають його сутність.

Формулювання загальних принципів системно-структурного аналізу належить відомому вченому, завідувачу кафедри філософії Одеського державного університету А.І Уйому [3–4], якого автор конспекту може вважати своїм учителем, і який на початку 60 – х років перейшов від філософських категорій І.Канта «річ в собі, річ для себе» через «річ-властивість-відношення» до розгляду властивостей і загальних принципів складних систем.

Деякі з принципів відзначені у навчальному посібнику [33] «Принципи інженерної творчості». Серед цих принципів:

- принцип комплексності;
- принцип цілісності;
- принцип структурності;
- принцип сумісності;
- принцип імітації;
- принцип ізоморфізму;
- принцип еволюції та ін.

Розглянемо деякі з цих принципів стосовно екологічних та радіоекологічних задач.

1. Один з основних принципів – **системний підхід** до задач захисту навколишнього середовища. Сама природа являє собою дуже складну систему. Будь-яку систему, пов'язану з навколишнім середовищем, можна уявити як елемент системи більш високого рівня.

Системний підхід передбачає **комплексну** оцінку впливу технічної діяльності суспільства на навколишнє середовище з оцінкою та аналізом наслідків цього впливу та прогнозуванням реакції природи на цей вплив.

Таким чином прогноз поведінки системи є заключною стадією аналітичного процесу, який на початковій стадії пов'язаний із збиранням потрібної інформації про екологічний стан середовища, проведенням певних спостережень і вимірювань, а на другій стадії – з моделюванням природних процесів та проведенням розрахунків з формулюванням висновків.

Звертає увагу, що біологічні системи, які є підсистемами у природних системах, мають найбільш складні функції, властивості та відносини між складовими елементами, вони перебудовують свою діяльність під дією зовнішніх впливів по каналах зворотного зв'язку і виявляють властивість самоорганізації.

2. **Принцип комплексності** полягає в різноаспектних підходах до розгляду однієї і тієї ж системи, побудові різних моделей однієї системи, а також в залученні до роботи в області екології та радіоекології представників різних спеціальностей з метою повноти охоплення всіх проблем і аспектів.

Наприклад, для ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС були залучені і фізики і хіміки і біологи, здійснювалися економічні розрахунки., проводився радіаційний моніторинг, з метою захисту населення та навколишнього середовища.

3. **Принцип цілісності** полягає у тому, що сукупності елементів системи проявляють себе як щось ціле, і мають такі властивості, які належать саме всьому цілому.

Наприклад, сукупність детектора, підсилювач електричних імпульсів, аналізатор імпульсів та вихідний пристрій (наприклад комп'ютер) утворюють гамма-спектрометр, який використовується для визначення енергетичного або будь-якого іншого спектра іонізуючого

випромінювання. Знаючи спектр іонізуючого випромінювання, можна визначити радіонукліди і їх концентрацію.

З принципу цілісності витікає важлива особливість системного підходу, яка полягає в тому, що при інженерних розробках недостатньо обмежуватися аналізом властивостей окремих елементів системи та взаємодій між ними, а потрібно враховувати властивості всієї системи, як цілого. Наприклад, у перші роки літакобудування конструктори зіткнулися з явищем, коли літаки розсипалися у повітрі внаслідок резонансу при співпадінні частоти коливань крил літаків і частоти обертів мотора. Ще один приклад: при зборці електронних пристроїв розташування окремих елементів монтажною схемою, які поєднані між собою провідниками, можуть утворювати різні небажані ефекти непередбаченого впливу елементів схеми один на одного внаслідок, наприклад, взаємодії електромагнітними полями. Для уникнення таких явищ обирають оптимальне місце розташування елементів монтажною схемою, роблять їх екранування та екранування електричних провідників. Принцип цілісності потребує обов'язкового проведення випробувань інженерних систем перед введенням їх у роботу.

**4. Принцип сумісності**, сутність якого полягає в тому, що система має бути побудована не з будь-яких елементів, а тільки з таких, властивості яких задовольняють вимоги сумісності та мають певні системні властивості. Це означає, що власні властивості елементів повинні бути такими, щоб забезпечувати взаємодію їх один з одним як частин єдиного цілого.

Золоте правило механіки: дві суміжні шестірні не повинні мати кратну кількість зубців, інакше вони дуже швидко виходять з ладу, так при кожному оберті їх один і той же зубець однієї шестірні припадає на той же самий зубець другої шестірні.

Дивовижним є приклад порушення цього правила, яке не помічали багато років при проектуванні та будівництві коробки передач барабанних млинів для енергоблоків теплових електростанцій у СРСР та країнах РЕВ. Та лише студент (на прізвище Кузнецов), який проходив практику на одній з українських електростанцій наприкінці 1970 років виявив це порушення, аналізуючи кількість, частоту та причину виходу з ладу подібних енергетичних систем.

Другий приклад - сцинтиляційні детектори, які використовуються для реєстрації іонізуючого випромінювання. Для сцинтиляційних детекторів обов'язковим елементом є органічний або неорганічний кришталь, наприклад, NaI для перетворення сцинтиляцій у електричні імпульси. Кожний кришталь працює у парі з певним ФЕП (фотоелектронним помножувачем), на який його наклеюють. У ФЕП відбувається множення електронів, інакше – посилення електронного потоку.

**5. Принцип структурності** полягає у тому, що елементи системи, знаходяться в ній не довільно, а утворюють певну, характерну для даної системи структуру, яка забезпечує взаємозв'язок і взаємозалежність між елементами системи.

Централізація у системі спрощує взаємозв'язки між її елементами, що підвищує ефективність та економічність функціонування системи. Прикладом такої макросистеми, у якій зосереджено та централізовано промислове виробництво по багатьох отраслях, був до недавнього часу промисловий район Донбасу. Донбас – це район, де зосереджені суттєві запаси корисних копалин, вугілля, яке є енергетичною сировиною, та значні людські резерви. Це район вугільної, енергетичної та металургійної промисловостей. Перш за все така централізація вирішує транспортні проблеми. Саме на Донбасі розміщувалися центри управління металургійної промисловості Радянського Союзу, Всесоюзні науково-дослідні інститути, зокрема також інститути з забезпечення захисту навколишнього середовища. Як приклад, назвемо Всесоюзні науково-дослідні інститути пожежної безпеки у м. Макеєвка та техніки безпеки у хімічній промисловості у м. Северодонецьк. І це не дивовижно, так як поруч розташовані вугільні шахти, поруч побудований і працює у м. Лісичанськ величезний хімічний комбінат «Азот». У м. Счастье розташована одна з найбільших теплових електростанцій України, на якій задіяні більш десяти енергоблоків. До речі, на одному енергоблоці діють два шарових барабанних млина, потужністю 60 тонн вугілля на годину. А це два вагони вугілля. Не складно порахувати, що при працюючих десяти енергоблоках станція має мати 480 вагонів на добу. Для безперебійної роботи станція має мати двотижневий запас вугілля. Тепер не складно зрозуміти, що дає централізація і сумісне розташування природних та енергетичних ресурсів і до чого може привести руйнування такої системи.

Другий приклад з радіоекології стосується ландшафтної системи, як сукупності різноманітних ландшафтних елементів радіаційно забрудненої території, таких як балка, або лісові смуги. В залежності від їх розташування на даній місцевості, ландшафтна система має різні властивості утримання радіонуклідів та їх виведення.

Вивчення різноманітних ландшафтних елементів радіаційно забрудненої території дає можливість детальніше зрозуміти як забезпечити захист даної території.

**6. Принцип нейтралізації дисфункцій** полягає в тім, що елементи системи з часом можуть набувати таких властивостей, які не відповідають функції системи в цілому. Тому необхідно передбачати «механізми» нейтралізації таких дисфункцій.

Наприклад, у центрі зони аварії ЧАЕС знаходиться зруйнований реактор четвертого енергоблоку станції. Його дисфункція полягає в тому, що він став джерелом розповсюдження радіоактивного забруднення.

Нейтралізація цієї дисфункції являє собою складну інженерну задачу, вирішення якої було щодавно успішно здійснено.

Саркофаг у зоні ЧАЕС, з усіх боків нейтралізує останки ядерного реактора, пошкодженого під час аварії.

**7. Принцип еволюції** полягає у тому, що різні технічні системи змінюються з часом, еволюціонують. Це явище еволюції стосується різних технологій, апаратів та інженерних споруд. Чим швидше відбувається еволюція технічних систем, тим більш розвинутим буде суспільство.

З еволюцією інженерних систем пов'язане покращення техніки та технологій, екологізація суспільства.

Наприклад техніка з меншим радіаційним випромінюванням (рк-телевізори).

Технічні досягнення в останні два десятиріччя пов'язані із стрімким розвитком телефонного зв'язку завдяки появі мобільних телефонів, які зараз дивують своєю досконалістю. Але і їх час вже проходить у зв'язку з тим, що більш досконалі, якісно нові інженерні системи витиснуть їх із світового ринку.

Необхідно використовувати науково-технічні досягнення в інженерній творчості та не завдавати шкоди довкіллю непродуманим втручанням.

Еволюція систем відбувається також внаслідок дії певних законів природи. Наприклад, зменшення радіоактивності внаслідок 1) радіоактивного розпаду, 2) міграції радіаційного забруднення. Або негативні явища старіння металу, з якого зроблені інженерні конструкції.

**8. Принцип поліфункціональності** полягає у визнанні можливості існування у системи кількох цілей або функцій.

Наприклад, визначення одним приладом (радіометром-дозиметром) кількох характеристик – радіоактивності, потужності дози та густини потоку частинок.

Наприклад, поліфункціональність приладу СРП-68, РКС-01 «СТОРА», в яких є перемикач шкали. Одна шкала відградує в одиницях радіоактивності – Бк, а інші шкали мають шкалу градування по потужності дози випромінювання – мР/год.

**9. Принцип імітації** при створенні та дослідженні систем полягає в побудові та програмуванні на ЕОМ моделей, що імітують функціонування (поведінка) інженерної системи або її елементів. Це, наприклад, спеціальні тренажери, імітатори, симулятори, у яких відбувається віртуальне відтворення процесів, що протікають в системі. Вони дають змогу перевіряти вірність прийнятих рішень, закладених в створюваних системах.

Принцип імітації в інженерній творчості використовувався людиною з давніх часів, коли вона, спостерігаючи за живими істотами у

навколишньому середовищі, намагалася відтворити у своїх інженерних рішеннях їх поведінку рухи, дії та інші функції.

Наприклад, імітація радіоізотопів за допомогою світлодіодів дозволяє уникнути радіоактивного опромінювання, характерного для радіоізотопів.

Другий приклад – це віртуальна гамма-спектрометрична лабораторія «Гаммалаб», яка призначена для повчання спеціалістів-радіоекологів. Вона забезпечена спеціальним програмним комплексом ЛСРМ, розробка якого багато років ведеться російськими вченими з м. Менделєєво [4].

Моделювання природних процесів та віртуальне їх відтворення дозволяє робити прогнозування, що є кінцевою метою будь-якого дослідження. Так, наприклад, моделі міграції радіонуклідів, які найчастіше використовуються в радіоекології.

**10. Принцип ізоморфізму** пов'язаний із існуванням ізоморфізмів в структурі та функціонуванні різних систем. Спільні властивості у функціонуванні таких систем дозволяє використовувати їх в розробці нової техніки і технологій.

Наприклад, підрахунки електричних імпульсів при роботі з лічильником Гейгера-Мюллера у 50-60-ті роки ХХ ст. здійснювалися електромеханічними лічильниками, у яких були відсутні напівпровідникові елементи (діоди, транзистори), а пізніше – приладами з використанням транзисторів та діодів, а зараз удосконалення їх, покращення функціонування приладів та зменшення похибки відбувається на базі використання комп'ютерної техніки.

**11. Принцип адаптації.** Технічна система, яка функціонує в навколишньому середовищу, що змінюється, має перебудовуватися, змінювати свої параметри з метою продовження функціонування у мінливому навколишньому середовищі. Можливість адаптації досягається внаслідок зміни параметрів структури системи, застосування механізмів позитивних і негативних зворотних зв'язків.

Наприклад, перемикач шкали вимірювань у радіометрах та дозиметрах дозволяє змінювати границі вимірювань. Тобто система адаптується при переході з однієї шкали до іншої.

**12.** Сучасні наукові дослідження, перш за все, у фізиці та математиці дозволяють аналізувати складні природні, або відтворені штучно системи, які мають властивості дисипативних відкритих систем. У таких системах діють закони, відмінні від законів класичної фізики. Ці системи описуються нелінійними диференціальними рівняннями. У таких системах виникають явища, які пов'язані з цими нелінійностями, і працюють принципи нелінійних систем [5–7]. Нелінійні процеси вивчають теорія катастроф, сінергетика, солітоніка [8–11,16].

Нелінійні хвилі у відкритій системі, які не руйнуються, навіть, коли проходять одна крізь іншу, мають назву солітонів.



Нелінійне гідродинамічне [12] явище – аттрактор, який відповідає за деякі метеорологічні властивості стійкості погодних умов. Наприклад, довге жарке літо, або довга холодна зима. Друге явище, яке пов'язане з нелінійністю систем – біфуркації. Процес, який описується нелінійними законами, починаючи з деякої «точки біфуркації» розпадається на два процесу. І з цим пов'язаний так званий **принцип варіантності**.

Фрактальні властивості природних або штучних систем пов'язані з принципом **ієрархічної декомпозиції**, який полягає у відносності понять «система» і «елемент» в тому сенсі, що всякий елемент може бути розглянутий як система при переході до більш деталізованого аналізу і всяка система може розглядатись як підсистема або елемент більш широкої системи. Приклад природних фрактальних об'єктів – хмара, гирло ріки, дерево та ін. Фрактали – це системи із дробовим масштабом [13–14].

З розвитком системи з'являється властивість швидкої зміни і придбання нових функцій при відносній стабільності складу та структури системи. Самоорганізація та саморегулювання – властивості складних нелінійних систем. Природні та штучні системи, в яких підтримуються незмінними її параметри, наприклад, температура. І це – так званий **принцип лабілізації функцій**.

Наприклад, автоматичні системи управління (АСУ) роботою реактора АЕС, що дозволяє дистанційно керувати і стежити за реактором та забезпечує більший захист від радіаційного впливу.

У складних системах при їх розвитку можуть відбуватися протилежні і в той же час взаємодоповнюючі явища. З одного боку, спеціалізація елементів на виконання певних функцій, з іншого - виникнення інтегральних функцій і ієрархічних структур. Це теж нелінійне явище, яке відбувається згідно з **принципом спеціалізації та інтеграції функцій**.

Наприклад, 1) перерозподіл радіонуклідів на поверхні ґрунту завдяки ландшафтної неоднорідності, 2) система «хижак-жертва», яка описується за допомогою моделі Лоткі-Вольтерра [15–16], та ін.

13. Нарешті, будь-яка складна технічна система виступає як не цілком детермінований об'єкт. Звідси при створенні нових технічних систем і технологічних процесів постає необхідність статистичного дослідження і імовірнісної оцінки явищ, що протікають в системі і в навколишньому середовищі шляхом збору та оброблення відповідних статистичних даних. У даному випадку потрібно говорити про імовірнісні процеси [17–18] та **принцип імовірності**.

Наприклад, при обробці даних радіаційного моніторингу принцип імовірності дає можливість оцінити рівень небезпеки і здійснювати контроль над впливом на навколишнє середовище.

Принцип імовірності неможливо не враховувати при розгляді квантових систем, так як їх робота підпорядковується імовірностним законам.

**14. Принцип математизації.** Для полегшення аналізу і вибору рішення при розробці технічних систем за допомогою кількісних оцінок варіантів доцільно застосовувати математичні методи досліджування операцій, оптимізації і інший апарат системного аналізу.

Наприклад, методи Монте-Карло, клітинних автоматів, теорія ігор та ін. процеси [19–20].

Ці методи дозволяють побудувати математичну модель, за допомогою якої можна наглядно розглянути природні процеси (напр. міграцію радіонуклідів)

При обробці експериментальних даних, наприклад, даних радіаційного моніторингу та при побудові статистичних розподілів характеристик радіаційних викидів і скидів виникає необхідність ітерацій, коли неможливо охопити усі можливі ситуації відразу. Необхідна повнота знання і розуміння досягається лише в результаті ряду ітерацій згідно з так званим **принципом ітеративності**.

## **1.2 Методи та заходи зниження рівня забруднення навколишнього середовища.**

### **1.2.1 Методи захисту навколишнього середовища від промислових**

Вдосконалення і використання методів захисту навколишнього середовища пов'язані з розробкою конкретних програм дій по запобіганню забруднення навколишнього середовища, розвитку ресурсо-, енергозберігаючих та маловідходних технологій, зниження газових викидів і рідинних скидів, переробки та утилізації господарських відходів, зменшення енергетичного впливу на навколишнє середовище.

Засоби захисту навколишнього середовища мають організаційно-технічний характер та їх умовно можна розділити [21] на активні та пасивні методи.

Активні засоби захисту навколишнього середовища є технологічні рішення по створенню ресурсозберігаючих і маловідходних технологій.

Пасивні засоби захисту навколишнього середовища передбачають: 1) раціональне розміщення джерел забруднення; 2) локалізацію джерел забруднення. Раціональне розміщення знижує навантаження на навколишнє середовище, а локалізація досягається застосуванням різних захистних технологій і по суті є засобом зниження викидів та скидів.

В основі багатьох технологій із захисту навколишнього середовища лежать фізичні та хімічні методи.

У фізичних процесах змінюються лише форма, агрегатний стан та інші фізичні властивості речовин, їх будова і хімічний склад зберігаються.

Фізичні процеси спостерігаються в технологічних процесах, у яких змінюються тиск, об'єм, температура, при дробленні, роботі млинів, в різних способах обробки металів, при сушінні і в інших випадках.

Хімічні процеси змінюють фізичні властивості вихідної сировини і її хімічний склад.

У хімічних явищах в технологічних процесах мають місце перетворення одних речовин на інші, зміна їх хімічних властивостей і ряд інших явищ змішаного (фізичного і хімічного) характеру.

Сукупність взаємопов'язаних хімічних і фізичних процесів, отримала назву фізико-хімічних. Ці процеси широко застосовуються в природоохоронних технологіях (пило- та газоуловлюванні, очищенні стічних вод та ін.).

Окрему групу становлять біохімічні процеси - хімічні перетворення, які відбуваються за участю суб'єктів живої природи.

Біохімічні процеси становлять основу життєдіяльності всіх живих організмів рослинного і тваринного світу.

Технології захисту навколишнього середовища базуються на загальних законах фізичної та колоїдної хімії, термодинаміки, гідро- і аеродинаміки, вивченні процесів екобіозахисних технологій.

Залежно від основних закономірностей, що характеризують протікання природоохоронних процесів, останні поділяють на такі групи:

- механічні;
- гідромеханічні;
- масообмінні;
- хімічні;
- фізико-хімічні;
- теплові процеси;
- біохімічні;
- процеси, ускладнені хімічною реакцією.

Окремо в курсі розглядаються процеси захисту від енергетичних дій (теплого, звукового, електромагнітного, ядерного випромінювань). Ці випромінювання в основному базуються на принципах поглинання та відбивання надлишкового енергетичного випромінювання, зокрема радіації.

### **1.2.2 Загальні інженерні принципи природокористування та захисту навколишнього середовища**

До основних принципів природокористування належать такі принципи [21]:

I принцип: Системний підхід до проблем навколишнього середовища.

II принцип: Принцип оптимізації біосфери. Науково-технічний розвиток не повинен вивести біосферу за рамки екологічної ніші людини.

III принцип: Оптимізація природокористування.

IV принцип: Темпи зростання виробництва повинні бути вищі, ніж темпи зростання видобутку сировини.

V принцип: Гармонізація відносин природи і техніки.

Ця проблема вирішується шляхом створення так званих геотехнічних систем. Геотехнічна система - це сукупність технічних пристроїв і взаємодіючих з ними елементів природного середовища

VI принцип: Екологізація виробництва. Екологізація виробництва - це уподібнення виробничих процесів, тобто ресурсних циклів, природним замкненим колообігом речовин. Це досягається за рахунок впровадження маловідходних енергозберігаючих та ресурсозберігаючих виробництв.

Загальні принципи захисту навколишнього середовища можна сформулювати у вигляді трьох принципів, які розповсюджуються на заходи та норми радіаційної безпеки у штатних та аварійних ситуаціях [22].

*Радіаційна безпека та протирадіаційний захист* стосовно *практичної діяльності* оснований на використанні таких основних принципів:

1. *Принцип виправданості* - будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватися, якщо вона не приносить *більшої користі* опроміненним особам або суспільству в цілому у порівнянні зі *шкодою*, яку вона завдає.

2. *Принцип неперевищення* - рівні опромінення від усіх значущих видів *практичної діяльності* не повинні перевищувати встановлені *ліміти доз*.

3. *Принцип оптимізації*. - рівні індивідуальних *доз* та/або кількість опромінюваних осіб по відношенню до кожного *джерела випромінювання* повинні бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з врахуванням економічних та соціальних факторів (*принцип оптимізації*).

*Радіаційна безпека та протирадіаційний захист* в ситуаціях втручань при аварійних ситуаціях будуються на таких аналогічних основних принципах:

- будь-який *контрзахід* повинен бути виправданим, тобто отримана *користь* (для суспільства та особи) від відвернутої цим *контрзаходом дози* повинна бути більша, ніж сумарний *збиток* (медичний, економічний, соціально-психологічний тощо) від *втручання*, пов'язаного з його проведенням (*принцип виправданості*);

- повинні бути застосовані всі можливі заходи для обмеження індивідуальних *доз* опромінення на рівні, нижчому за поріг *детерміністичних радіаційних ефектів*, особливо порогів гострих клінічних радіаційних проявів (*принцип неперевищення* )';

- форма *втручання* (*контрзахід* або комбінація декількох *контрзаходів*), його масштаби та тривалість повинні вибиратися таким

чином, щоб різниця між сумарною *користю* та сумарним *збитком* була не тільки додатною, але і максимальною (*принцип оптимізації*).

### 1.2.3 Загальні принципи інтенсифікації технологічних процесів захисту навколишнього середовища

Інтенсифікація процесів захисту об'єктів навколишнього середовища [21] пов'язана регулюванням швидкості процесів по параметрах, які залежать від режиму процесів.

Вибір факторів, що впливають на кінетику процесу, залежить від того, в якому режимі (кінетичному або дифузійному) протікає процес.

Саме лімітуюча стадія цього процесу дає можливість визначити параметри регулювання.

Інтенсифікацію процесів, які протікають в кінетичному режимі доцільно проводити шляхом змінювання температури, концентрації речовин, тиску. Можна використовувати каталізатори, можна збільшувати поверхню дисперсних речовин, що взаємодіють.

Інтенсифікацію процесів, які протікають в дифузійній області проводять, використовуючи перемішування взаємодіючих фаз, Турбулізація потоків взаємодіючих фаз прискорює протікання лімітуючих дифузійних стадій.

Інтенсифікацію можна досягти зниженням в'язкості і густини середовища, внаслідок збільшення швидкості дифузії.

В перехідній області інтенсифікацію процесів можна проводити, використовуючи як кінетичні, так і дифузійні фактори.

Доза радіаційного опромінення знаходиться у прямій залежності від концентрації радіонуклідів в об'єкті дослідження. Спеціальні служби здійснюють контроль вмісту радіоактивних ізотопів у продуктах харчування, будівельних матеріалах, та об'єктах навколишнього середовища. Їхні концентрації у об'єктах досліджень на багато порядків менші ніж ми звикли бачити у випадку скажімо шкідливих домішок у ґрунті, повітрі, воді, та інших типових об'єктах довкілля. Для визначення вмісту радіонуклідів використовується **питома активність**.

Для будь-якого нукліда можна розрахувати його питому активність  $q$  (Бк/кг), користуючись двома як правило відомими показниками: масовим числом  $A$  та періодом напіврозпаду  $T_{1/2}$  (с).

Для інтенсифікації процесів виведення радіонуклідів використовують загальні методи зменшення концентрації шкідливих речовин, враховуючи лімітуючі стадії застосованих процесів.

Для виділення радіоізотопів використовують різноманітні методи концентрування: упарювання, спалювання, спільне осадкоутворення, сорбція, та ін.

### 1.3 Захист атмосфери. Способи очищення газових викидів Інженерно-фізичні принципи очищення повітря від аерозольних домішок

Інженерно-фізичні аспекти очищення повітря від аерозольних домішок пов'язані з фізичними законами гравітаційного, інерційного та відцентрового осадження частинок.

Принцип дії пристроїв для очищення повітря пов'язаний із фізичними законами осадження твердих частинок.

Такими пристроями є пилоуловлюючі і сепараційні системи. У них застосовуються такі способи відділення зважених частинок від повітря (газу), як [21] *осадження в гравітаційному полі, осадження під дією відцентрових сил, фільтрування, мокра газоочистка, осадження в електричному полі і ін.*

Робота *гравітаційних* пилоуловлюючих пристроїв ґрунтується на законах гравітаційного осадження, тобто осадження пилових частинок під дією сили тяжіння.

$$F_{\Gamma} = \frac{1}{6} \rho g \pi d^3, \quad (1.1)$$

де  $d$  – діаметр частинки,  $g$  - прискорення вільного падіння. Сила Стокса  $F_c$  визначається в'язкістю  $\mu_0$ , діаметром  $d$  та швидкістю осадження частинки  $W_{ч}$ :

$$F_c = 3 \pi \mu_0 d W_{ч} \quad (1.2)$$

Переміщення частинки в броунівському русі  $\Delta x$  відповідно до рівняння Ейнштейна:

$$\Delta x = \sqrt{2DT_0} \quad (1.3)$$

де  $D$  - коефіцієнт дифузії частинки, що характеризує інтенсивність броунівського руху,  $m^2 / c$ ;  $T_0$  - абсолютна температура повітря (газу), в якому переміщається частинка,  $K$ .

Використання інших сил, зокрема, *відцентрових*, дозволяє підвищити ефективність процесу очищення. Явища осадження мають місце також в апаратах, дія яких, головним чином, базується на використанні *відцентрової сепарації*,

Метод відцентрового очищення повітря від частинок аерозолів значно ефективніший ніж метод гравітаційного осадження. В методі відцентрового очищення виникає відцентрова сила, яка у багато разів більша, ніж сила тяжіння.

Метод відцентрового очищення повітря шляхом відцентрової сепарації може застосовуватися по відношенню до більш дрібних частинок.

В апаратах, зоснованих на використанні *відцентрової сепарації*, можуть застосовуватися два різних принципи роботи:

- потік аерозолі рухається в обертовому роторі;
- корпус апарату залишається нерухомим, а потік аерозолі обертається в ньому.

Перше рішення зостосоване в циклонах, друге - в ротаційних пилоуловлювачах.

Швидкість відцентрового осадження кульової частинки можна визначити, прирівнявши відцентрову силу  $F_c$ , що виникає при обертанні пилогазового потоку, силі опору середовища згідно із законом Стокса

Таким чином, швидкість осадження завислих частинок у відцентрових пилоуловлювачах прямо пропорційна квадрату діаметра частинки.

Для тонкого очищення газів від частинок і крапельної рідини застосовують процес **фільтрування**.

Метод фільтрування застосовують у випадках необхідності очищення повітря від дуже дрібних частинок і крапель рідини.

**Метод фільтрування** полягає у затриманні аерозольних домішок на фільтрувальних решітках при проходженні крізь них забрудненого повітря.

Волокнисті перегородки фільтру затримують зважені частинки на своїй зовнішній поверхні та в порах. Очищене повітря вільно проходить крізь фільтр. домішок

Метод **мокрого пиловловлювання** заснований на взаємодії забрудненого потоку газу з рідиною, у якій зважені частинки захоплюються рідиною та виносяться з апарату у вигляді шламу. забрудненого потоку газу

Робота газоочисних пристроїв базується наступних фізичних явищах:

- 1) уловлювання твердих частинок пилу краплями рідини, що рухаються крізь рідину;
- 2) наліпання частинок пилу при ударі газових струменів на поверхні твердої або рідкої фази;
- 3) осадження на плівках поверхні рідини у поверхневих явищах;
- 4) осадження в газових мішурах, які піднімаються в рідині.

Суттєві переваги має спосіб уловлювання завислих в газі твердих і рідких частинок за допомогою електричних полів. Згідно із законом Кулона сила дії електричного поля на заряджену частинку пропорційна величині її електричного заряду.

Принцип **електричного очищення** повітря (газів) від завислих частинок полягає у зарядці частинок з подальшим їх виділенням під впливом електричного поля.

При **електроосадженні** малі частинки віддають свій електричний заряд.

Фізична сутність електроосадження полягає в тому, що газовий потік, що містить завислі частинки, попередньо іонізують.

При цьому частинки, які містяться в газі, електризуються. Зарядження частинок в полі коронного розряду відбувається при високих напругах.

Максимальна величина заряду частинок розміром більше 0,5 мкм пропорційна квадрату діаметра частинок, а частинок розміром менше 0,2 мкм - діаметру частинок.

**Термофорезом** називають явище руху дисперсних частинок в полі температурного градієнту. Термофоретичний рух відбувається під дією сил з боку газоподібної фази на взважені в ній нерівномірно нагріті частинки. Термофоретичні сили залежить від розміру частинок та середньої довжини вільного пробігу молекул газу.

Термофорез пояснюється молекулярно-кінетичною теорією більшою швидкістю молекул газу від нагрітого боку частинки, ніж від холодного. Термофоретична сила виникає в результаті того, що молекули газу надають частинці імпульс у напрямку зниження температури, тобто, проти її градієнта.

Очищення атмосферного повітря від газових джерел забруднення потребує вирішування багатьох проблем, пов'язаних з тим, що у викидах, знаходяться також багатокомпонентні домішки, для яких потрібні різні методи очищення.

При очищенні викидів застосовується явище **абсорбції газових домішок**.

Деякі рідини і тверді речовини при контакті з багатокомпонентним газовим середовищем здатні вибірково витягувати з нього окремі інгредієнти і поглинати (сорбувати) їх.

Абсорбцією називається перенесення компонентів газової суміші в об'єм конденсованої фази. При абсорбції відбувається виборче поглинання одного або декількох компонентів з газової суміші рідкими поглиначами.

Адсорбцією називають процес виборчого поглинання компонента газу, пари або розчину за допомогою адсорбентів - пористих твердих матеріалів з великою питомою поверхнею.

#### **1.4 Захист водного середовища. Класифікація способів очищення стічних вод.**

Існує декілька класифікацій стічних вод [21]:

- за походженням (сільськогосподарські, промислові, води від виробничих та комунальних об'єктів, побутові, атмосферні опади);
- за ступенем їх забруднення;
- за впливом на водойму та її екосистему (або утримуючі závisлі нерозчинні домішки, тобто ті, що скаламутніють воду, або отруйні – ті, які знищують водну біоту та ін.).



З точки вибору методу очищення стічні води класифікують за характером властивостей забруднювальної речовини – гетерогенний та гомогенний.

Гетерогенний характер мають 1) двофазні забруднені стічні води, у яких містяться завислі тверді частинки із розміром більше 1 мкм (суспензії, емульсії, планктон), 2) колоїдні розчини – домішки високомолекулярного органічного походження розміром до 1 мкм.

Гомогенні – однофазні суміші: 1) молекулярні (розчинені гази і молекули); 2) істинні – молекули дисоційовані на іони.

Класифікуючи методи очищення стічних вод, можна виділити:

- фізичні методи;
- фізико-хімічні;
- хімічні;
- біохімічні.

Фізичні методи використовують для очищення води від твердих частинок. Ці методи в залежності від властивостей брудної води (концентрації і розчину), включають до себе відділення твердих частинок в полі дії відцентрових сил, відстоювання, фільтрування, проціджування.

**Відстоювання** ґрунтується на здатності осадження важких твердих речовин в рідині.

**Осадженням** називається поділ рідких неоднорідних систем шляхом виділення з рідкої фази твердих або рідких завислих частинок під дією сили тяжіння, відцентрової сили.

Осадження відстоюванням відбувається під дією сили тяжіння.

Очищення забруднених вод здійснюється у відстійниках.

Фільтрування забруднених вод призначено для очищення їх від дисперсних твердих частинок мікронних розмірів.

Проціджування здійснюється для виділення з забрудненої води нерозчинних домішок з частинками розміром до 25 мм, а також волокнистих забруднювальних речовин.

Для цього забруднена вода пропускається крізь спеціальні решітки.

Серед фізичних методів використовується також метод евапорації. Забруднювальні речовини випаровують, а пар направляють в накопичуючу камеру, де відбувається його очищення.

До фізико-хімічних методів обробки забрудненої води належать методи коагуляції, флоатації, хлорування та озонування, опромінення ультразвуком та ультрафіолетовими випромінюваннями.

Для очищення води від маслопродуктов використовують гідроциклони, фільтри, флоатаційні апарати, де залежно від їх складу і концентрації води здійснюється її очищення (відстоюванням, відділення твердих домішок у циклонах, фільтрація).

**Коагуляція** - це процес приліпання дрібних дисперсних частинок і об'єднання в агрегати в результаті їх взаємодії.

За законом Стокса швидкість осадження частинок зростає зі збільшенням розміру частинок. Тому, для прискорення відстоювання використовують явище коагуляції частинок. За допомогою коагулянтів, які вводяться в суспензію, під дією молекулярних сил відбувається злипання дрібних частинок в великі конгломерати (пластівці, флокули).

Ефективність процесу коагуляції є максимальною при видаленні з води колоїдних частинок, тобто частинок розміром від одного до ста мкм.

**Флокуляцією** називається процес агрегації дисперсних завислих у розчині частинок у присутності високомолекулярних сполук. Ці високомолекулярні сполуки називаються флокулянтами. Флокуляція відрізняється від коагуляції тим, що при флокуляції процес агрегації відбувається в результаті взаємодії молекул високомолекулярних сполук - флокулянтів, адсорбованих на поверхні дисперсних частинок.

**Флотація** – це процес на поверхні розділу газу і рідини, при якому здійснюється прилипання дисперсних зважених частинок на поверхневій плівці на границі між газом та рідиною. Тобто флотація зумовлена поверхневими явищами та молекулярними силами на поверхні розділу двох фаз.

Флотацію застосовують у випадках, коли методи механічного відділення нерозчинних домішок при очищенні стічних вод не дають бажаного результату. Наприклад, в результаті великого ступеня дисперсійності частинок стічні води погано відстоюються. Це може бути також при видаленні розчинених речовин, наприклад, поверхнево-активних речовин (ПАР).

**Адсорбція – явище відділення газової фази з поверхні твердої фази.** Методи адсорбції застосовуються на кінцевій стадії біохімічного очищення. Ці методи застосовуються у випадках, коли концентрація забруднювальних органічних речовин у стічній воді невелика, або біологічне очищення не дає результатів.

**В основі біохімічних методів** лежить здатність мікроорганізмів руйнувати різні хімічні сполуки. Біохімічні реакції, які викликають мікроорганізми, відбуваються у присутності ферментів вироблених їми.

Мікроорганізми бувають двох типів: аеробними, які потребують кисень, та анаеробними. Оба типи використовуються для очищення стічних вод.

Для очищення стічних вод використовуються також різні хімічні та фізико-хімічні методи. До хімічних методів відносяться методи підкислення, пом'якшення та опріснення. Оксидом кальцію, гашеним вапном і іншими здійснюється нейтралізація кислот. До фізико-хімічних методів відносяться методи екстракції, виморожування, дистиляції.

**Очищення стічних вод екстракцією забруднень** застосовують для очищення стічних вод із вмістом фенолів, органічних кислот, іонів металів.

Очищення стічних вод екстракцією можна уявити у вигляді трьох стадій процесу.

Спочатку на першій стадії змішують стічну воду з екстрагентом (органічним розчинником). При цьому утворюються дві рідкі фази.

Друга стадія - поділ екстракту і рафінату. Третя стадія - регенерація екстрагента з екстракту і рафінату.

На останніх стадіях очищення такі води проходять бактерицидну обробку (хлорування, озонування або опромінення ультрафіолетовим промінням).

### 1.5 Методи захисту літосфери

Потрібно розглянути питання методів і принципів захисту літосфери, пов'язуючи їх з питаннями фізики ґрунтів та фізики гранульованих систем.

Це питання пов'язане із багатьма питаннями забруднення ґрунту промисловими та побутовими відходами, питаннями побудови сміттєпереробних комбінатів, хімічним та радіаційним забрудненням внаслідок аварій на підприємствах хімічної промисловості та ядерних технологій.

З метою утилізації спочатку здійснюється *механічна переробка твердих відходів*.

Методи механічної переробки: розколювання, розламування, роздавлювання та ін.

Після подрібнення та фракціонування, відходи перетворюються в продукти, готові для подальшого використання.

Захист сільськогосподарських земель включає до себе ряд методів і засобів, пов'язаних із внеском різноманітних типів добрив, засобів сільськогосподарської обробки ґрунтів (наприклад, орання плугом із передплужником переміщує забруднювальну речовину на глибину більше метра). Це, суттєво знижує, наприклад, радіоактивність забрудненого радіонуклідами ґрунту [28].

Одним із засобів очищення ґрунту, забрудненого в зоні Чорнобильської АЕС, був метод вирощування та скошування трави, яка потім знищувалася. Обробка ґрунту здійснювалася фізичними та хімічними методами за допомогою поверхнево-активних та різних хімічних речовин.

Одним з методів є зняття і видалення ґрунту з подальшим його захороненням.

Питання захисту літосфери пов'язані у цьому конспекті із питанням дезактивації та реабілітації забруднених територій, якому присвячена окрема дисципліна спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

## **2. Науково-обґрунтовані підходи до ліквідації наслідків забруднення навколишнього середовища**

Із ліквідацією наслідків забруднення навколишнього середовища Україна зіштовхнулася порівняно нещодавно у зв'язку з аварією на ЧАЕС.

Ці наслідки неможливо ліквідувати повністю і довгий час люди будуть змушені мати проблеми радіаційного забруднення великих територій та проблеми радіаційно небезпечних об'єктів. Таким небезпечним об'єктом залишається зруйнований реактор четвертого енергоблоку станції. Потрібно сказати, що його небезпечність останнім часом знижена шляхом спорудження над ним укриття «Саркофаг». Але це зроблено ціною великих коштів і зусиль з боку нашої країни та інших країн, які здійснювали їй допомогу.

При ліквідації наслідків забруднення потрібно пам'ятати уроки Чорнобиля, які показали дієвість загальних принципів екологічної безпеки.

Аварії на атомних об'єктах, серед яких на першому місці є атомні електростанції, великих хімічних підприємствах, таких як ОПЗ (Одеський припортовий завод) є об'єктами особливої небезпеки, мають глобальний характер. Незважаючи на те, що ці підприємства є екологічно дуже чистими, їх небезпека пов'язана з непередбачуваністю ситуацій, розвиток яких може бути зумовлений як мінімум, трьома факторами:

1) Людський фактор, наприклад переоцінка можливостей реактора ЧАЕС при спробі поставити на ньому технічний експеримент. Незважаючи на сумнівний характер дослідів і попередження про можливість невдачі напередодні аварії, у технічному відділі Міністерства України планувався експеримент з повним відключенням аварійних систем захисту. При цьому ймовірність аварії розраховувалася принципово невірно на базі дослідів і висновків авторитетів наукових інститутів ВТІ, ЦКТІ та інституту атомної енергії ім. І.В.Курчатова. Протилежна думка одеських фізиків в той час, на жаль, не була взята до уваги.

2) Природний фактор, як це відбувалося на Фукусімській атомній станції. Аварія відбувалася внаслідок землетрусу, який спровокував цунамі великої сили. Цунамі безпосередньо зруйнувало атомну електростанцію. Наслідки цієї аварії також глобальні. Радіоактивна вода під реактором станції попала в океанські води і є причиною забруднення великих територій. У теперішній час японськими вченими встановлено, що радіонукліди мігрують підводними течіями на глибині 700 м у Тихому океані від берегів Японії у бік США.

3) Дії терористів. В останні часи тероризм на планеті досяг непередбачуваної величини. Величезні потужності, які є вже в багатьох

країнах світу (ядерна зброя), а деякі країни домагаються отримати їх незважаючи ні на що, є мрією терористів.

Якщо нещодавно цей фактор не враховувався при розрахунках небезпечності та міграції радіоактивних речовин, то зараз прийшов той час, коли неможливо не враховувати це.

## **2.1 Методи захисту довкілля від енергетичних дій.**

Окремим розділом дисципліни є захист довкілля енергетичних дій.

Під енергетичними діями будемо розуміти дії від механічних і акустичних коливань, від теплових випромінювань, електромагнітних полів і випромінювань.

Механічні коливання з частотою від 16 Гц і до 20000 Гц є джерелом звуку. Механічні коливання з частотою менше 16 Гц є причиною інфразвуку, який не сприймається людським ухом.

Але відомі негативні наслідки інфразвукових коливань на здоров'я живих організмів.

Наприклад, шум вітрових млинів створює низькочастотні коливання, які відлякують птахів. Інфразвукові коливання, резонуючи з коливаннями власного біоритму людини, призводять до її захворювань.

При вивченні цього розділу потрібно розглянути питання біологічного впливу енергетичних дій електромагнітних хвиль.

Відома біологічна дія високих частот електромагнітних хвиль. Так, наприклад цю дію використовують у медицині для локального розігріву органічної тканини.

У побутових пічах мікрохвилі ми використовуємо для приготування їжі.

У багатьох випадках ця дія є негативною. Наприклад радіохвилі з довжиною хвилі порядку 1 см є небезпечними для людини. Негативний вплив зростає із збільшенням інтенсивності хвиль.

Залишається відкритим питання діє електромагнітних хвиль створених мобільними телефонами.

Багато питань, зокрема питання впливу радіації на здоров'я людини, залишаються ще не вивченими.

Студенти мають звернути увагу на основні засоби захисту від випромінювань – екранування, відбиття екранами, поглинання випромінювання, віддалення від джерел випромінювання, використання маніпуляторів.

**Захист від радіації.** Окремо потрібно проаналізувати питання захисту від радіації. При цьому потрібно мати на увазі, що різні види іонізуючого випромінювання мають різні властивості. Серед цих питань ключовими є питання:

- екологічні прилади та системи захисту об'єктів навколишнього середовища від зовнішніх збурень та енергетичних дій;

- прилади та системи контролю характеристик зовнішніх збурень та енергетичних дій, зокрема, контролю радіації: радіометри, дозиметри, гамма-спектрометри, багатоканальні аналізатори імпульсів та їх характеристики.

## **2.2 Технології та апарати очищення об'єктів навколишнього середовища**

### ***Технології та апарати очищення атмосферного повітря.***

Технології та робота апаратів очищення атмосферного повітря від аерозольних домішок ґрунтується на фізичних законах гравітаційного, інерційного та відцентрового осадження частинок.

У пилоуловлювачах і сепараційних апаратах застосовуються в основному фізичні методи очищення середовища, тобто повітря (газу) від зважених дисперсних частинок. Це механічні методи – гравітаційні, інерційні, фільтрування та ін..

Очищення приміщень (житлових або виробничих) здійснюється шляхом проектування та встановлювання вентиляційних систем. Задача вентиляційних систем – не відділення забруднюючих речовин від повітря, а викиди забрудненого повітря здійснюються в атмосферу, де відбувається його розбавлення.

### ***Технології та апарати очищення стічних вод.***

В процесі теоретичного вивчення цих питань студенти мають знати принципи очистки стічних вод, а в процесі практичної підготовки мають спостерігати стан водних об'єктів.

Студенти мають можливість знайомитися з принципами очищення стічних вод на станціях біологічної очистки ( СБО ) "Південна" і "Північна" та спостерігати за морськими водами в місцях їх скиду.

Захист гідросфери пов'язаний із регіональними екологічними проблемами рекреаційної зони в районі Куяльницького і Хаджибейського лиманів, а також з протизсувними заходами рекреаційної зони на узбережжі Чорного моря.

Інженерно-фізичні аспекти захисту водних об'єктів стосуються Одеського регіону у зв'язку із забрудненням лиманів, зокрема, Хаджибейського і Куяльницького лиманів.

Тому студенти ОДЕКУ мають можливість ознайомлення із інженерними спорудами скиду стічних вод у водні об'єкти ( на прикладі Хаджибейського лиману і трубопроводу у Чорне море ), ознайомлення з екологічними проблемами Хаджибейського та Куяльницького лиманів.

Окремим інженерним питанням є протизсувні берегоукріплюючі споруди на узбережжі Чорного моря у місті Одеса.

На прикладі вирішення цього питання стає зрозумілим зв'язок інженерних підходів із підходами соціального та економічного характеру, що ще раз підтверджує їх системність.

При спостереженні за станом водних об'єктів визначають:

- температуру, °С;
- кольоровість та каламутність;
- наявність у воді фіто- та зоопланктону;
- наявність плівки на поверхні води;
- наявність інтенсивного та характерного запаху;
- кислотність води;
- вміст в воді розчинного кисню та ґрунту;
- структуру та склад ґрунту;
- показники вологості;
- РН сольового витягу.

Для відвілення завислих дисперсних частинок із стічних вод використовують [21] періодичні і безперервні гідромеханічні процеси. До цих процесів належать гравітаційне відстоювання, проціджування, фільтрування.

Фізико-хімічні властивості стічних вод, витрати їх, концентрація зважених частинок, необхідний ступень очищення та інші характеристики забруднення визначають вибір методу очищення.

Перед більш тонким очищенням стічні води проходять *механічне очищення*. Для цього їх направляють на проціджування крізь решітки і сита, які встановлюють перед відстійниками з метою вилучення з них великих домішок, видалення з них великих включень, що плавають.

В літературі [21] приведений опис блоку механічного очищення, до якого входять очисні апарати: решітки, дробарки, пісколовки, преаератори і первинні відстійники та їх роботи.

Решітки призначені для уловлювання великих включень, що при необхідності подрібнюються в дробарках.

Пісколовки представляють собою ємності визначених розмірів. В них відбувається осадження зважених речовин завдяки різкому зменшенню швидкості плину рідини, що очищається. У пісколовках видаляється зі стічної води приблизно 40-60% дрібних механічних домішок.

У преаераторах відбувається насичення стічних вод киснем шляхом подачі стиснутого повітря.

Змішування вод, що очищаються, з пухирцями повітря сприяє видаленню нафтопродуктів і інших домішок, що плавають.

Зі споруджень біологічного очищення найбільше поширення одержали аеротенки.

Ці спорудження являють собою залізобетонні, цегельні або металеві ємності. У них відбувається контакт стічних вод, що очищаються, з активним мулом при одночасному насиченні їх киснем повітря.

Після біологічного очищення стічні води можуть скидатись в поверхневі водні об'єкти. Перед скиданням в обов'язковому порядку відбувається їхнє знезаражування шляхом обробки хлорною водою.

У деяких країнах замість хлорування застосовують озонування. У нашій країні для знезаражування стічних вод застосовують в основному хлорування.

Після хлорування скидна вода проходить дегазацію, тому що попадання активного хлору у водний об'єкт може привести до загибелі риби.

Дегазація скидних вод відбувається в каналах по шляху проходження від місця хлорування до місця випуску у водний об'єкт.

**Проціджування** стічної води відбувається на решітках, які виготовляються з металевих стрижнів або арматури з зазорами між ними 5-20 мм і встановлюються під кутом 60 ° до горизонту

При цьому домішки, зняті з решітки, подрібнюються і скидаються назад в забруднені води, чим погіршується якість повітряного і водного середовища. Для усунення цього недоліку використовують решітки-дробилки.

Для фільтрування забруднених вод використовуються два види фільтрів: зернисті (пісок), в яких рідина протікає крізь з'ємні насадки, і мікрофільтри, елементи яких виготовляються із спеціальних пористих матеріалів.

При проектуванні і будівництві новостворюваних господарських та інших об'єктів, при впровадженні нових технологічних процесів необхідно передбачати створення замкнутих систем технічного водопостачання. Проектування і будівництво прямоструминних систем технічного водопостачання, як правило, не допускаються.

Вода, що надходить у міську систему водовідведення, являє собою суміш виробничих та побутових стічних вод. Вони надходять на загальноміські очисні споруди. Якщо дозволяє продуктивність цих споруд, сюди ж надходять дощові і поталі води.

Повний комплекс загальноміських очисних споруд включає блоки: механічного, фізико-хімічного і біологічного очищення, доочищення, знезаражування, а також обробки осаду.

З екологічної точки зору найбільш перспективними є використання безточних технологічних систем і створення замкнутих водооборотних циклів на базі існуючих технологій промивки сировини.

У теперішній час ще не відпрацьована технологія безвідходного виробництва без скиду технічних стічних вод у водойми .

**Поля фільтрації** це очисні споруди, які людство використовувало для очищення води вже більш п'яти сторіч.

Поля фільтрації являють собою ділянки землі площею від декількох квадратних метрів до 1,5-2 га з ухилом до 0,02 рад., обваловані дамбами.

Ці ділянки землі влаштовують на пісках, супісках, або легких суглинках.



До недоліків полів фільтрації відноситься заняття великих площ, можливість забруднень підземних вод і атмосферного повітря газоподібними продуктами розкладання стічних вод.

Різновидом полів фільтрації є поля підземної фільтрації, у яких на глибині 0,5-1,8 м укладаються дренажні труби.

По них очищена вода видаляється з полів фільтрації і використовується для зрошення сільськогосподарських угідь.

У процесі фільтрації води крізь породи відбувається її додаткова механічна і частково фізико-хімічне очищення.

### **2.3 Сучасний екологічний стан України та наслідки аварії на Чорнобильській АЕС.**

*Сучасний екологічний стан* визначається з одного боку, ступенем забруднення атмосферного повітря, водного середовища та ґрунтів, а з другого боку - кількістю викидів та скидів шкідливих речовин у навколишнє середовище у процесі народногосподарської діяльності. Для України у теперішній час потрібно враховувати також шкоду від воєних дій, які стосуються величезних районів і площ.

В результаті воєних дій порушений порядок ведення народного господарства на великих, так званих «неконтрольованих територіях».

Для атмосфери забруднення визначається кількістю та висотою викидів, які поділяють на тропосферні та стратосферні. Період напівочищення тропосфери складає 2 роки.

Якщо викиди в тропосферу були здійснені на висоті порядку 100 м, то важкі аеродисперсні частинки твердих домішок осаджуються на відстанях у декілька кілометрів від місця викиду в напрямку вітру. Таким чином найбільш небезпечною є 30-кілометрова зона. Шкідливу дію оксидів сірки та азоту можна побачити по жовтому відтінку зеленого коліру ялинок і сосен поблизу теплових електростанцій.

У 90-ті роки ХХ ст. кожне виробниче підприємство України зробило екологічну документацію, так званий екологічний паспорт, де регламентувалися шкідливі викиди та скиди підприємства. Згідно з цим документом контролюючі органи здійснюють інспекцію дотримання підприємствами цих регламентів.

У 1986 р. на Чорнобильській атомній електростанції відбулася аварія, в результаті якої сталося радіоактивне забруднення величезних територій України та сусідніх країн.

Наслідки цієї аварії мають глобальний характер і залишаються екологічними проблемами і в наші часи.

## **2.4 Дезактивація та реабілітація радіаційно забруднених територій**

Питання включає:

- засоби реабілітації природних і штучних наземних та водних екосистем, забруднених радіонуклідами, використання природних ресурсів на таких територіях для виробництва промислової продукції, сільськогосподарського лісогосподарського та рибного виробництва;
- особливостей поступового відновлення господарської діяльності на забруднених радіонуклідами територіях, використання вирощеної на них сільськогосподарської та виробленої промислової продукції, використання природних ресурсів для промислових і сільськогосподарських цілей, а також відновлення традиційного способу життя та поведінки місцевого населення без обмежень.

Студенти в результаті вивчення цих питань мають:

- знати загальні закони функціонування екосистем, які пов'язані з властивостями радіонуклідів, порядок організації радіаційного моніторингу та радіоекологічних досліджень;
- проводити комплексне оцінювання стану екосистем, що зазнали радіоактивного забруднення;
- прогнозувати зміни природного середовища, спричинені функціонуванням радіоекологічно-небезпечних об'єктів та відчуженням радіоактивно забруднених територій;
- знати особливості автореабілітації територій забруднених радіонуклідами;
- виявляти способи та оцінювати заходи, спрямовані на мінімізацію надходження радіонуклідів до продукції сільського, лісового та рибного господарства;
- визначати пріоритети та відокремлювати суттєві рекреаційні проблеми від другорядних під час виконання системного аналізу, на підставі отриманих результатів робити обґрунтовані висновки;
- розробляти прогнози екологоекономічного стану територій, забруднених радіонуклідами;

## **2.5 Організація життєдіяльності в умовах, які забезпечують мінімізацію дозових навантажень.**

Організація життєдіяльності в умовах, які забезпечують мінімізацію дозових навантажень, відбувається згідно основних принципів радіаційної безпеки та норм, прийнятих в Україні. Це принципи неперевищення, виправданості та оптимізації.

Вжиття контрзаходів з ліквідації наслідків радіаційної аварії згідно нормуючих принципів, як показують уроки Чорнобиля, пов'язане також із рядом інших важливих питань. По-перше, контрзаходи мають бути своєчасними.

Так, наприклад, в результаті аварії максимальна колективна доза була отримана мешканцями у м. Коростень. Для прийняття рішень стосовно контрзаходів у цьому місті та виділення коштів для їх реалізації був витрачений дуже великий час (більше року). Тобто контрзаходи були здійснені, але не своєчасно. В результаті ефективність цих заходів була дуже низькою.

Серед заходів зниження дозових навантажень, які використовувалися, відмітимо механічні, фізичні, фізико-хімічні методи. У м. Коростень було змінено асфальтне покриття, зняті та зроблені нові дахи будинків, у місті видалений відкритий ґрунт, будівлі й інші об'єкти оброблялися спеціальними розчинами (поверхнево-активними та ін.) з метою їх дезактивації.

Прикладом зони, на якій відбулася евакуація у 1986 р., є 30-кілометрова зона навколо 4-го реактора ЧАЕС.

В цій зоні працювали після аварії і працюють зараз люди в умовах мінімізації дозових навантажень. Роботу людей в цих умовах регламентують основні нормуючі документи та спеціальні правила.

У теперішній час в цій зоні існують ділянки, де радіація знижена до безпечних границь. В цій зоні організуються екскурсії, проходять науково-технічні семінари та конференції, працює їдальня. Контрольні прилади – радіометри та дозиметри при цьому показують безпечний рівень радіації й доз випромінювання.

## **2.6 Схов, переробка та утилізація джерел іонізуючого випромінювання**

На теперішній час використання ядерної енергії стало з одним із альтернативних видів добування електроенергії відносно паління нафтопродуктів, газу і вугілля. Тому в деяких країнах світу споживання цього виду електроенергії складає більше 50% від загального обсягу споживання електроенергії.

Але при цьому виді діяльності створюються радіоактивні відходи (далі - РАВ), які шкідливо впливають на здоров'я населення і навколишнє природне середовище.

Для забезпечення радіаційної та екологічної безпеки при поводженні з радіоактивними відходами користуються основними принципами:

- пріоритет здоров'я людей та захист навколишнього природного середовища від впливу РАВ;
- заборона неконтрольованого накопичення РАВ;
- зберігання та передача РАВ спеціалізованим підприємствам;
- забезпечення державного нагляду за поводженням з РАВ.

На Україні діють Рівенська, Хмельницька, Запорозька, Південно-Українська атомні електростанції, які є основними джерелами створення радіоактивних відходів.

В Харківській, Дніпропетрівській, Одеській, Київській областях існують спеціалізовані підприємства, які здійснюють збір, переробку і захоронення РАВ.

Тому для професійній підготовці студентів вивчення питань схову, переробки та утилізації джерел іонізуючих випромінювань [23–27] є предметом окремої дисципліни, метою якої є ознайомлення студентів з правилами, нормами і стандартами, прийнятими в Україні, при поводженні з РАВ.

Студентам даються роз'яснення щодо деяких нормативно-законодавчих актів, які стосуються державного нагляду та контролю за поводженням з РАВ.

Студенти знайомляться з практичною діяльністю спецкомбінатів з поводження з РАВ: як зберігаються РАВ; які є методи переробки (в основному з рідких в тверду фазу) та утилізації РАВ; здійснення радіаційно-дозиметричного контролю; проблеми, які виникають при здійсненні такого виду діяльності.

Питання державного контролю у галузі поводження з радіоактивними відходами стосуються державних органів, які здійснюють контроль у галузі поводження з радіоактивними відходами, основних законодавчих актів, постанов, нормативів і стандартів при поводженні з радіоактивними відходами.

Знайомство з діяльністю спеціальних організацій, які здійснюють утилізацію та захоронення радіоактивних відходів, для студентів ОДЕКУ здійснюється на базі Українського державного підприємства «Радон».

Підприємство «Радон» є одним із спецкомбінатів України із захоронення радіоактивних відходів.

Питання переробки та утилізації радіоактивних відходів на пунктах захоронення стосуються розташування пунктів захоронення радіоактивних відходів, вимог до розміщення та обладнання пунктів захоронення. Радіаційний контроль на пунктах захоронення.

Проблеми переробки й утилізації безпосередньо пов'язані з інженерно-фізичними аспектами захисту навколишнього середовища. Тут достатньо назвати деякі з них:

- старіння металевих конструкцій і споруд на пунктах захоронення;
- аварійні ситуації з виходом радіаційних забруднюючих речовин;
- процеси дифузії та розповсюдження забруднюючих речовин від пунктів захоронення та ін.;

- джерела радіоактивних відходів, класифікація радіоактивних відходів;
- екологічні наслідки виведення радіоактивних відходів у навколишнє природне середовище.

### **3. Сучасні інженерні задачі екологічної безпеки, контролю стану та захисту навколишнього середовища.**

Сучасні інженерні задачі екологічної безпеки, контролю стану та захисту навколишнього середовища стосуються удосконалення приладів й апаратури, інженерних рішень в питаннях методів і технологій захисту навколишнього середовища. З врахуванням екологічних проблем і проблем радіаційного забруднення розглянемо ці питання на прикладі відповідних розрахунків.

#### **3.1 Екологічні прилади та системи захисту об'єктів навколишнього середовища від зовнішніх збурень. Захист від радіації.**

Проведення радіаційного моніторингу – це комплекс заходів, які включають до себе:

- отримання надійної інформації, даних вимірювань;
- розрахунки статистичних характеристик поля забруднення за даними радіаційного моніторингу на території радіаційного об'єкта;
- аналіз адекватності радіаційного стану середовища встановленим на Україні нормативам;
- статистичний аналіз надійності методів і засобів радіаційного контролю середовища при значеннях параметрів, що контролюються, порядку фонових.

#### **3.2 Радіація та дози випромінювання. Методи та прилади у радіометрії та дозиметрії.**

Для кількісної оцінки іонізуючого випромінювання існує поняття "доза". Розрізняють поглинуту, експозиційну, еквівалентну та ефективну дози.

а) Поглинута доза  $D_n$  - це енергія, що поглинута одиницею маси речовини. Одиниця дози в системі SI - 1 Грей.

$$1 \text{ Гр} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}} .$$

Позасистемна одиниця поглинутої дози 1 рад. 1 Гр. = 100 рад.

б) Експозиційна доза  $X$  - це кількість заряду, що утворився в одиниці маси речовини при проходженні іонізуючого випромінювання. Одиниця експозиційної дози в системі SI - 1 Кл/кг, внесистемна одиниця - 1 Рентген.

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг} .$$

в) Еквівалентна доза  $H_T$  - це добуток поглинутої дози на коефіцієнт якості  $k$ , який показує, у скільки разів біологічна дія даного випромінювання більша за дію рентгенівського. Одиниця дози в системі SI - 1 Зіверт.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер.}$$

Еквівалентна доза

$$H_T = D_{\text{п}} \cdot k .$$

Експозиційна доза в 1 Рентген відповідає поглинутій дозі 8,8 мГр, або 0,88 рад, або еквівалентній дозі фотонного випромінювання 8.8 мЗв. (Коефіцієнт якості для фотонного випромінювання  $k = 1$ ).

г) Доза ефективна ( $E$ ). Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ) як міру радіаційного впливу на живий організм ввела ефективну дозу  $E$ , яка є сумою добутоків еквівалентних доз  $H_T$  в окремих органах і тканинах на відповідні тканеві фактори,  $w_T$ . Ця доза визначається формулою

$$E = \sum w_T H_T ,$$

де  $H_T$  - середня еквівалентна доза в  $T$ -м органі чи тканині організму;  $w_T$  - зважувачий коефіцієнт;  $w_T$  визначає внесок даного чи органа чи тканини в ризик несприятливих стохастичних ефектів для організму в цілому при рівномірному його опроміненні.

$$\sum w_T = 1$$

Доза випромінювання залежить від часу опромінення; з часом доза накопичується, зміна дози в одиницю часу називається потужністю дози. *Потужність дози* - це відношення отриманої дози випромінювання до часу перебування в зоні випромінювання  $t$ .

$$P = dD / dt,$$

де  $dD$  - зміна дози за час  $dt$ .

Згідно нормам радіаційної безпеки (НРБ) існують середня річна ефективна доза і гранично допустима доза (ГДД).

За міжнародними нормами прийнято, що річна ефективна доза дорівнює 10 мЗв., а тижнева гранично допустима доза (ГДД) відповідає 100 мР на тиждень, або 5 бер за один квартал.

Згідно норм радіаційної безпеки НРБУ-97 за радіаційно-гігієнічними регламентами четвертої групи для техногено підсиленних природних джерел контрольний рівень середньорічної ЕРОА радона-222 у повітрі приміщень складає 100 Бк/м<sup>3</sup>.

### Дозиметрія

На відміну від радіометрії, метою якої є визначення кінетичних характеристик радіоактивної речовини, тобто швидкості її радіоактивного розпаду, дозиметрія - це сукупність методів та засобів визначення енергетичних характеристик взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, крізь яку воно проходить.

Для реєстрації ядерних частинок широко застосовуються іонізаційні методи. Іонізаційні методи базуються на здатності ядерних частинок і квантів гамма-випромінювання іонізувати атоми та молекули речовини.

На цьому методі зоснована робота лічильників Гейгера-Мюлера. Лічильник Гейгера-Мюлера – це циліндричний конденсатор, поміщений у скляну трубку, наповнену газом при тиску порядку 100 мм, рт. ст.. Одним електродом служить металева нитка, іншим – провідний шар, нанесений на внутрішню поверхню трубки. Оскільки газ у трубці є діелектриком, то при напрузі, недостатньої для його пробою, і відсутності радіоактивного випромінювання струму в ланцюзі лічильника немає. Частинка, що виникає в процесі радіоактивного розпаду, попадає в простір між електродами лічильника і викликає іонізацію атомів газу. Електрони, що утворилися, і іони під дією поля спрямовуються на електроди. У ланцюзі лічильника виникає короткочасний імпульс струму.

Максимальне значення струму в імпульсі не завжди пропорційно напрузі на лічильнику, тобто не визначається законом Ома, а залежить від режиму роботи лічильника.

За характером окремих ділянок вольт-амперної характеристики лічильника можна визначити різні режими його роботи.

Зона Гейгера є найбільш зручною в роботі для визначення кількості частинок іонізуючого випромінювання, що досліджується.

У цій області напруга досягає такого значення, що самостійний розряд починається лише при влученні в молекулу газу частинки іонізуючого випромінювання. Для того, щоб зафіксувати наступну частинку необхідно погасити виниклий розряд, підготувати тим самим лічильник до подальшої роботи. Існує два методи гасіння розряду:

а) не самогаснучі лічильники – у коло лічильника включається опір порядку  $10^9$  Ом, на якому відбувається спадання напруги, потенціал анода зменшується і лічильник гасне.

б) лічильники, що самогасяться – лічильник заповнюється спеціально підібраними сумішами багатоатомних газів, дія яких приводить до припинення розряду.

Гасіння лічильника здійснюється протягом деякого часу  $10^{-3}$  -  $10^{-4}$  с. У цей проміжок часу лічильник не реагує на частинки, що попадають в нього. Такий час називається «мертвим часом» лічильника. Величина, зворотна до «мертвого часу», називається розрізнявальною здатністю лічильника.

Залежність кількості імпульсів від прикладеної напруги при постійній дії джерела радіоактивного випромінювання називається лічильною характеристикою.

**Сцинтиляційні методи ґрунтуються** на здатності іонізуючого випромінювання збуджувати атоми і молекули середовища. Перехід атомів і молекул зі збудженого стану в основний супроводжується

випускненням світла (видимого, ультрафіолетового). У сцинтиляційних детекторах відбувається перетворення енергії випромінювання на світловий спалах.

Сцинтиляційні детектори класифікуються за різними ознаками.

- *За механізмом виникнення світлових спалахів.* У деяких сцинтиляційних детекторах світловий спалах виникає в момент проходження випромінювання через них, тобто в дуже короткий проміжок часу ( $10^{-3}$  -  $10^{-6}$  с). Це явище називається флуоресценцією. Для поліпшення флуоресценції в неорганічні сцинтиляційні детектори вводять атоми інших речовин, які називаються активаторами (Tl, CsI, I й ін.). Активатори вказуються в дужках після символічного позначення сцинтилятора: CsI (Tl) т.п. Активатор не є сцинтилятором, а лише утворює центри флуоресценції.

В інших сцинтиляційних детекторах під дією іонізуючого випромінювання збуджені атоми і молекули знаходяться в метастабільному (збудженому) стані тривалий час, поки не одержать додаткову енергію ззовні. Тільки додаткова енергія, що отримана, наприклад, у вигляді ультрафіолетового випромінювання, дозволяє збудженим атомам перейти в основний стан з випускненням світлових спалахів. Це явище зветься фосфоресценцією, а речовини, у яких спостерігається ефект фосфоресценції - спалахуючими сцинтиляторами.

Сцинтиляційні детектори розрізняють:

- *За природою* - неорганічні ZnS, NaI, CsI, CaWO<sub>4</sub> і органічні (антрацен, стильбен, нафталін, терфеніл і ін.). C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>14</sub>H<sub>12</sub>...C<sub>18</sub>H<sub>14</sub>.

- *За способом виготовлення.* Сцинтиляційні детектори виготовляються у виді монокристалів, які заполімерізовані у прозорій пластмасі, чи нанесені тонким шаром на скло, органічну плівку чи інший прозорий для світла матеріал. Монокристали органічних і неорганічних речовин мають найкращі параметри, але бувають складними у виготовленні, крихкі, поглинають вологу з повітря. Для збільшення терміну служби кристали поміщають у герметичні алюмінієві контейнери з оптичним виходом. Однак при наявності контейнера ускладнюються виміри випромінювань малої проникної здатності і невеликих енергій. Для реєстрації м'якого випромінювання і випромінювання з малою проникною здатністю готують рідкі сцинтилятори, розчинні в будь-якому розчиннику.

- *За агрегатним станом* сцинтилятори поділяються на тверді, рідкі і газоподібні. Прикладом газоподібного сцинтилятора є чистий ксенон, що застосовується для реєстрації уламків поділу.

- *За видом випромінювань, що реєструються:*  $\beta$  (м'які і тверді) сцинтилятори,  $\gamma$  - сцинтилятори.



**Достойнства сцинтиляційних детекторів.** Сцинтиляційні детектори в даний час набули широкого застосування в дозиметрії, і роз'яснюється це наступними причинами: вони мають високу ефективність реєстрації іонізуючого випромінювання, мають пропорційність залежності яскравості світлового спалаху від енергії випромінювання, малий часом розділення, що дозволяє вимірювати великі потоки випромінювання, прості у виготовленні й експлуатації.

Сцинтиляційний лічильник – це сукупність сцинтиляційного детектора з фотоелектронним помножувачем (ФЕП), який призначений для перетворення спалахів світла, що виникають у сцинтиляторі під дією випромінювання, в електричний сигнал.

Під дією випромінювання в сцинтиляційному детекторі виникають спалахи світла, що попадають на чуттєвий шар (найчастіше сурм'яно-цезієвий) фотокатода і вибивають з нього фотоелектрони. За допомогою фокуруючого електрода фотоелектрони попадають на перший диод, з якого вони вибивають у результаті вторинної емісії додаткові електрони.

**Напівпровідникові методи** зосновані на здатності напівпровідникових матеріалів змінювати свою провідність під дією ядерних частинок і квантів гамма-випромінювання.

Разом із сцинтиляційними методами напівпровідникові методи найбільш широко застосовують у детекторах іонізуючого випромінювання у гамма-спектрометрії.

### **3.3 Розрахунки ступеня очищення об'єктів навколишнього середовища в сучасних технологічних установках**

#### ***Розрахунки вентиляційних систем***

Для захисту атмосферного повітря у закритих приміщеннях встановлюють вентиляційні системи, потужність яких розраховується за даними розмірів забруднених приміщень та ступеня забруднення. Кожна вентиляційна система включає до себе вентиляційний канал (вентиляційні труби, які підходять до джерел забруднення, і колектор, до яких вони збираються), вентиляційний насос та електродвигун потрібною потужністю, з яким працює насос.

Електродвигун має забезпечити таку потужність роботи насоса, щоб на стінках вентиляційного каналу не осаджалися дисперсні частинки пилу, забруднюючого повітря. Накопичення пилу у вентканалі може призвести до низького ступеня очищення повітря, а також до загоряння і вибуху.

#### ***Розрахунки ступеня очищення водних об'єктів***

Зі споруджень біологічного очищення стічних вод найбільшого поширення набули аеротенки. Вони являють собою залізобетонні, рідше цегельні чи металеві подовжені ємності, де відбувається контакт стічних вод, що очищаються, з активним мулом при одночасному насиченні їх киснем повітря.

При механічному гідроочищенні ступінь видалення плаваючих домішок складає 60-80%.

**Розрахунки відстійників.** Відстоювання стічних вод проводять в апаратах, званих відстійниками або згущувачами.

Розрізняють горизонтальні, радіальні, вертикальні, трубчасті, пластинчасті відстійники з похилими перегородками.

Горизонтальні відстійники – це прямокутні резервуари, що мають два або більше одночасно працюючих відділіня. Вода рухається з одного кінця відстійника до іншого.

Глибина відстійника дорівнює 1,5 ... 4 м, довжина 12 ... 48 м, ширина коридору 3 ... 6 м. Горизонтальні відстійники застосовують при витраті стічної води понад 15000 м<sup>3</sup> / д. Ефективність відстоювання досягає 60%.

Відстійники проектується в розрахунку на осадження найдрібніших частинок, що знаходяться в стічній воді. Тому час перебування стічної води в апараті має бути більший від часу осадження крейджаних частинок або в межах часу, необхідного для обмеженого осадження частинки меншого розміру на дно апарату із заданої висоти.

Продуктивність відстійника по освітленій воді  $Q_{осв}$  (м<sup>3</sup> / с) Виражається рівнянням

$$Q_{осв} = v_n \cdot B \cdot H;$$

де  $v_n$  - швидкість потоку стічної води уздовж апарату, м / с;  $B$  - ширина відстійника, м;  $H$  - висота шару освітленої води, м.

Швидкість поділу неоднорідних систем в поле відцентрових сил вища в порівнянні зі швидкістю поділу цих систем в полі сили тяжіння. Відношення відцентрової сили до сили тяжіння можна вважати порівнянням прискорень частинки домішок в відцентровому і гравітаційному полях, тому що стосовно до частинки певної маси сили пропорційні прискоренням.

Фактор поділу є важливою характеристикою гідроциклонів і центрифуг.

Як правило, кількість стічної води в процесі її очищення має велике значення, тому застосовують фільтри, для роботи яких не потрібен високий тиск.

Для цього використовують фільтри з сітчастими елементами (мікрофільтри і барабанні сітки) і фільтри з фільтруючим зернистим шаром.

Активний мул – це мікроорганізми, їжею для яких служать органічні речовини, що містяться в стічних водах. Нормальний вміст активного мулу в стічних водах, що очищаються, складає 2 г/л (по сухій речовині).

Для інтенсифікації процесу деструкції органічних сполук в аеротенки постійно нагнітається стиснене повітря в співвідношенні 10:1 — до обсягу рідини, що очищається.

Очищення стічних вод відбувається за технологіями [21,29–31].

Аеротенки в блоці біологічного очищення розташовуються таким чином, щоб час знаходження стічної води в контакті з активним мулом складав 18-20 годин.

Температура води в аеротенках повинна бути не нижча, ніж  $+5^{\circ}\text{C}$  і не вища за  $40^{\circ}\text{C}$ . Ступінь деструкції в аеротенках органічних речовин, що піддаються біохімічному окислюванню, складає близько 90%.

У процесі біологічного очищення стічних вод утворюється велика кількість осаду, що представляє собою відмерлий чи надлишковий активний мул, який видалається з аеротенків і вторинних відстійників.

З метою зневоднювання його спочатку обробляють у метантенках чи аеробних стабілізаторах, потім піддають механічному зневоднюванню в гідроциклонах, центрифугах, чи фільтрах фільтр-пресах, після чого направляють на мулові площадки для остаточного висушування.

У метантенках, що представляють собою герметичні циліндричні резервуари, протягом декількох годин при температурі  $33-53^{\circ}\text{C}$  відбувається бродіння мулу. При обробці в метантенці мул втрачає свою водоутримуючу здатність, його вологість знижується до 92-94%. У процесі бродіння виділяється газ, головним чином метан. З 1 кг осаду (по сухій речовині) утвориться близько 1 м<sup>3</sup> газу густиною 1 кг/м<sup>3</sup>.

В аеробних стабілізаторах, що представляють собою звичайні аеротенки, активний мул піддається посиленій аерації протягом декількох діб. Витрата повітря при цьому складає до 2 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>3</sup> місткості стабілізатора. Вологість мулу знижується на 2-3%, він значною мірою втрачає свою водоутримуючу здатність.

При механічному зневоднюванні вологість осаду може бути знижена до 65-70%, а об'єм його, у порівнянні із осадом (вологістю 98%), зменшується у 15-20 разів.

Остаточне висушування осаду відбувається на мулових площадках. Площадки являють собою вирівняні ділянки площею 0,25-2 га, обваловані невисокими (0,7-1 м) дамбами. Тут у природних умовах протягом декількох місяців (до року) відбувається висушування і компостування (перегнівання) мулового осаду.

Очищення порівняно невеликих витрат стічних вод може забезпечуватись на більш простих за конструкцією спорудах, принцип дії яких також ґрунтується на процесах біохімічного розкладання органічних речовин мікроорганізмами.

Очищені в аеротенках стічні води надходять у вторинні відстійники, де відбувається осідання активного мулу, що потрапив сюди з аеротенків разом з водою. Мікроорганізми активного мулу при осіданні адсорбують

своєю лускатою поверхнею дрібні суспензії, що залишилися в очищуваних стічних водах після проходження пісколовок і первинних відстійників, а також іони важких металів.

Очисні споруди за технологією біоплато складаються, як правило, з декількох блоків, розташовуваних каскадом, причому блок поверхневого біоплато є кінцевим.

До складу споруд біоплато в якості кінцевого може бути включена болотиста ділянка (природне поверхнєве біоплато).

Початковим блоком споруджень є відстійник, де відбувається видалення великих включень і завислих речовин. За технологією біоплато забезпечується очищення господарсько-побутових стічних вод по БПК до 5-10 мг/л, по завислих речовинах до 8-12 мг/л, причому наявність завислих речовин в основному пов'язано з виносом їх з фільтруючого шару. Значно (на 40-70%) знижується вміст сполук азоту і фосфору.

Споруджені біоплато, вдало розташовані по рельєфі місцевості, не потребують електроенергії, хімікатів і забезпечують надійну роботу як у літній, так і в зимовий період.

Для очищення виробничих стічних вод за технологією біоплато потрібно робити їхню передочистку відповідно до особливостей їхнього складу і властивостей.

Очищення виробничих стічних вод організується з метою використання їх у системах оборотного, послідовного чи замкнутого водопостачання, забезпечення умов прийому до міської системи водовідведення чи скидання у водні об'єкти.

Вода, використана в технологічному процесі, містить домішки у вигляді:

- завислих частинок розміром від 0,1 мкм і більше, які утворюють суспензії;
- крапельок, що не розчиняються у воді, іншої рідини, яка утворює емульсії;
- колоїдних систем з частинками розміром від 1 мкм до 1 нм і розчинених у воді речовин у молекулярній чи іонній формі.

Домішки, що містяться в технологічній воді, часто є коштовною чи сировинною готовою продукцією.

### **3.4 Розрахунки доз і потужностей доз випромінювання в умовах підвищеної радіаційної безпеки.**

В умовах підвищеної радіаційної безпеки одним з методів захисту є захисні екрани, які гальмують високоенергетичні частинки іонізуючого випромінювання.

Усі заряджені частинки, що гальмуються, стають джерелами електромагнітного випромінювання, енергія цього випромінювання

пропорційна прискоренню у четвертому степені. Тому таке випромінювання треба враховувати для легких заряджених частинок; але ним можна знехтувати для важких. Втрати на це випромінювання у речовині прийнято називати радіаційними.

Питомі радіаційні втрати на одиницю пройденого частинкою шляху пропорційні енергії. Коефіцієнт пропорційності має розмірність 1/см. Обернену величину цього коефіцієнта (визначимо його літерою  $l_0$ ) називають радіаційною довжиною.

Радіаційні лінійні втрати енергії можна записати у вигляді

$$\left( -\frac{dE}{dx} \right)_{\text{рад.}} = \frac{E}{l_0}, \quad (3.1)$$

де  $l_0$  – радіаційна довжина. Розв'язавши це рівняння відносно енергії, можна отримати

$$E = E_0 \exp(-x/l_0). \quad (3.2)$$

З цього виразу зрозуміло, який зміст має радіаційна довжина - це відстань, на якій енергія іонізуючої частинки в речовині зменшується в  $e$  раз, тобто майже втричі. Ця довжина залежить тільки від порядкового номера атомів речовини та щільності електронів в ньому, вона визначається формулою

$$l_0 = \frac{4.31 \cdot 10^{26}}{n_e \cdot Z \cdot \ln(183/Z^{1/3})} \text{ (см)}. \quad (3.3)$$

Послаблення потоку  $\beta$ -частинок з суцільним спектром відбувається за експоненціальним законом

$$J = J_0 e^{-\mu x}, \quad (3.4)$$

де  $\mu$  – масовий коефіцієнт послаблення в одиницях  $\text{см}^2/\text{г}$ ;  $x$  – товщина захисту в  $\text{г}/\text{см}^2$ . Масовий коефіцієнт в алюмінії визначається емпіричною формулою

$$\mu = 22/E_{\text{макс.}}^{1.33}, \text{ см}^2/\text{г} \quad (0.5 \leq E_\beta \leq 6 \text{ MeV}).$$

Шар половинного послаблення  $\beta$ -частинок в алюмінії

$$\Delta_{1/2} = 0.032 E_\beta^{1.33} \text{ (г/см}^2\text{)} \quad (3.5)$$

Поглинаючи дію речовини характеризують лінійним та масовим пробігами, а також величиною шару половинного послаблення. Лінійний пробіг  $R$  – шлях, що проходить частинка до повної зупинки, чи мінімальна товщина поглинача, яка потрібна для повного поглинання іонізуючого випромінювання. Вона залежить від природи поглинача та його стану, а також від типу та енергії випромінювання. Пробіг збільшується із зростанням енергії іонізуючих частинок, він пропорційний їх масі та обернено пропорційний квадрату її заряду. Масовий пробіг – пробіг

частинки в одиниці маси, він вимірюється в грамах на квадратний сантиметр і пов'язаний лінійним співвідношенням:

$$R_m = \rho R.$$

На практиці часто користуються емпіричними формулами для пробігу іонізуючих частинок у речовині.

Наприклад, пробіг  $\alpha$ -частинки в повітрі можна розрахувати за емпіричною наближеною формулою

$$R_{\alpha}^{\text{пов.}} = 0.31 \cdot E^{3/2} (\text{см}) \quad (3.6)$$

Для пробігу у речовині з масовим числом  $A$  інша відома емпірична формула дає

$$R_m = 0.56 R^{\text{пов.}} A^{1/3} \text{ (в одиницях мг/см}^2\text{)}. \quad (3.7)$$

**Проходження  $\gamma$  - випромінювання крізь екрани.** При проходженні  $\gamma$ -квантів крізь речовину їх енергія не змінюється, але в результаті зіткнень поступово зменшується інтенсивність пучка  $I$ . Закон ослаблення інтенсивності пучка зумовлений характерними для  $\gamma$  - випромінювання механізмами взаємодії з речовиною. До цих механізмів належать: 1) фотоефект, 2) ефект Комптона, 3) народження електрон-позитронних пар. Для першого і третього механізмів взаємодії характерним є експоненціальний закон ослаблення інтенсивності пучка

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (3.8)$$

де  $I$  - початкова інтенсивність,  $x$  - товщина шару речовини,  $\mu$  - коефіцієнт поглинання.

Масовий коефіцієнт поглинання дорівнює

$$\mu_m = \mu / \rho, \quad (3.9)$$

де  $\rho$  - густина речовини.

Товщина шару половинного ослаблення  $x_{1/2}$  інтенсивності випромінювання дорівнює

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu \quad (3.10)$$

Товщина шару десятикратного ослаблення  $I_{10}$

$$I_{10} = \ln 10 / \mu = 2,3 / \mu \quad (3.11)$$

Наприклад, вимірена потужність експозиційної дози гамма-випромінювання дорівнює  $R_B$ . Знайти мінімальну товщину захисного екрана, якщо час роботи на робочому місці складає  $t$  годин у тиждень. Гранично допустима доза дорівнює 100 мР/рік.

За нормами гранично допустимої дози протягом одного тижня отримана доза не може перевищувати 100 мР/48 тиж = 2,04 мР/тиж.

Якщо реальна доза більша за граничну у  $N$  разів то екранування радіоактивного випромінювання має зменшити його теж у  $N$  разів.

При проходженні  $\gamma$ -квантів крізь речовину їх енергія не змінюється, але в результаті зіткнень поступово зменшується інтенсивність пучка  $I$ . Закон ослаблення інтенсивності пучка зумовлений характерними для  $\gamma$  - випромінювання механізмами взаємодії з речовиною

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x},$$

де  $I$  - початкова інтенсивність,  $x$  - товщина шару речовини,  $\mu$  - коефіцієнт поглинання.

З закону поглинання 
$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu \cdot x,$$

Якщо з умов праці  $\frac{I_0}{I} = 100$ . Значить товщина шару поглинання дорівнює  $x = \frac{\ln 100}{\mu}$ . Так товщина екрану з свинцю, у якого коефіцієнт

поглинання  $\mu = 80$ , складає  $\frac{\ln 100}{80} = 0,058$  м, тобто 5,8 см.

**Пройходження нейтронів крізь екрани.** Для нейтронів немає кулонівської взаємодії. Один тільки вид витрат енергії при проходженні їх крізь речовину пов'язаний з ядерними зіткненнями. При таких зіткненнях швидкі нейтрони можуть так сильно штовхнути ядро, що воно відірветься від своїх власних електронів і полетить уперед, утворюючи іонізацію атомів речовини.

Повільні (теплові) нейтрони з енергією  $E$  меншою, ніж 0,1 МеВ не можуть надати ядру таку велику швидкість, але вони дуже легко проникають усередину ядра і спричиняють різні ядерні реакції. Уламки ядра, що утворюються в реакції, розлітаються, утворюючи іонізацію і збудження атомів середовища.

Ефективний переріз взаємодії  $\sigma$  в цілому зменшується при збільшенні енергії нейтронів, проте ця залежність не є монотонною. Вона має резонансний характер.

Ослаблення інтенсивності пучка нейтронів речовиною приблизно описується експоненціальним законом

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (3.12)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт поглинання.

Товщина шару десятикратного ослаблення

$$l_{10} = \ln 10 / \mu = 2,3 \cdot M / \sigma \cdot N_A \cdot \rho. \quad (3.13)$$

Лінійні втрати енергії часто вимірюють в МеВ/мкм.

**Визначення дози випромінювання методом дозових коефіцієнтів** – це енергетична характеристика іонізуючого випромінювання.

Доза еквівалентна [22] в органі чи тканині  $H_T$  — величина, що визначається як добуток поглиненої дози в окремому органі чи тканині на радіаційний зважуючий фактор  $w_R$  :

$$H_T = D w_R$$

Одиниця еквівалентної дози в системі СІ - Зіверт (Зв). 1 Зв = 100 бер.

В основі метода дозових коефіцієнтів покладена пропорційність між радіоактивністю джерела іонізуючого випромінювання та еквівалентною дозою, яку створює це випромінювання.

Еквівалентну дозу  $H$  можна розрахувати за формулою (метод дозових коефіцієнтів)

$$H_T = A_v \cdot V_i \cdot v, \quad (3.14)$$

де  $A_{\beta v}$  - об'ємна активність,  $V_i$ - дозовий коефіцієнт,  $v$ - швидкість споживання.

Дозовий коефіцієнт може бути розрахований за формулою

$$V_i = \Gamma_D / \Gamma_{DP} \quad (3.15)$$

За нормами НРБУ-97 [22] границя дози  $\Gamma_D = 1 \text{ мЗв/год}$ . Границя річного приходу ГРП для повітря дорівнює  $3 \cdot 10^4 \text{ Бк/ год}$ . Границя річного приходу ГРП для води дорівнює  $7,1 \cdot 10^4 \text{ Бл/ год}$ .

Таким чином, дозовий коефіцієнт для повітря

$$V_{ih} = 0,33 \cdot 10^{-7} \text{ Зв/ Бк},$$

а для води

$$V_{ig} = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/ Бк}.$$

### **Розрахунки доз випромінювання радіонуклідами, що мігрують.**

Моделювання переносу радіонуклідів у навколишньому середовищв пов'язане з розв'язком диференціальних рівнянь переносу типу

$$\partial C / \partial t + \partial(u_i C) / \partial x_i = \partial / \partial x_i (D_i \partial C / \partial x_i) + \lambda C + \sum_j R_j, \quad (3.16)$$

де  $C$  - концентрація радіонуклідів,  $X_i$ - координата,  $\lambda$  - константа розпаду,  $U_i$ - швидкість течії уздовж  $X_i$ ,  $D_i$  - коефіцієнт дифузії,  $R_j$  - потужність джерел викиду.

У випадку стаціонарності потоку на великих відстанях від місця викиду для змулених у турбулентному потоці радіонуклідів розв'язок рівняння (2.19) при умові, що  $\sum R_j = 0$ , має вигляд

$$C = C_0 \cdot e^{-x/u(b+\lambda)}, \quad (3.17)$$



де  $b$ - константа осадження частинок,

$$b = v_s^2 / D_y \cdot u_x,$$

де  $V_s$ - швидкість стоксовської седиментації частинок.

Для розрахування радіоактивності води на відстані  $X$  км від місця викиду змуленого радіонукліда в річку потрібно знати активність радіонукліда на місці викиду, швидкість річки  $U$ , константу осадження частинок  $b$  і константу розпаду  $\lambda$ .

Радіаційна активність води пропорційна концентрації радіонукліда у воді. Тому на відстані  $X$  від місця викиду активність  $A$  води дорівнює

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{x}{u}(b+\lambda)} \quad (\text{Бк/м}^3) \quad (3.18)$$

## Література

1. Савельев И.В. Курс физики. Т.1 Механика. Молекулярная физика.-М.: Наука. Гл. Ред.. физ.-мат. лит.,1989, 352 с.
2. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Статистическая физика. Часть 1. — Издание 3-е, дополненное. — М.: Наука, 1976, 584 с
3. Уемов А.И. Вещи, свойства и отношения. М., 1963, 184 с
4. Уемов А.И. Системы и системные параметры // Проблемы формального анализа систем. М., 1968 с. 15-34
5. Николис Г., Пригожин И. Р. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
6. Гленсдорф П., Пригожин И. Р. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973, 280 с.
7. Gerasymov O.I. Introduction to nonlinear analysis for radioecologists: Lecture Notes. OSENU: Odessa TES, 2014, 60 p.
8. Арнольд В. И. Теория катастроф.—3-е изд., доп.—М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990, 128с.
9. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и её приложения.— М.: Мир, 1980, 607 с.
10. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах . М.: Наука, 1990, 360 с.
11. Михайлов А.С. Введение в синергетику. - М.: Наука, 1990, 387 с.
12. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров./ Современные проблемы физики. – М.: Наука, 1991, 134 с.
13. Герасимов О.И., Худинцев М.М. Фракталы в фізиці та в задачах довкілля. Методичні вказівки. Одеса, ОДЕКУ, 29 с.
14. Ландау Л.Д., Лифшиц Гидродинамика М.:, Наука, 1986, 565 с.
15. Сугаков В. Й. Основы синергетики. — К.: Обереги, 2001, 287 с.
16. Хакен Г. Синергетика. — М. : Мир, 1980, 406 с.
17. Гнеденко Б.В. Курс теорії ймовірностей. — К.: ВПЦ Київський університет, 2010, 464 с.
18. Карташов М.В. Імовірність, процеси, статистика: Посібник. – К.: Видавничо- поліграфічний центр 'Київський університет', 2008, 494 с.
19. Биндер К., Хеерман Д. В. Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике. — М. : Физматлит, 1995, 144 с.
20. Оуэн Г. Теория игр. — М. : Мир, 1971, 232 с.
21. Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. /Под ред. доктора технических

- наук, профессора, академика МАНЭБ и АТП РФ А.Г.Ветошкина – Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004, 249 с.
22. Норми радіаційної безпеки України. НРБУ-97, Київ, 1997, 127 с.
23. Страуб К.П. Малоактивные отходы (хранение, обработка, удаление) Пер. С англ., 1966, 240 с.
24. Марей А.Н. и др. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека - М.: Атомиздат, 1980, 188 с.
25. Егоров Ю.А. Основы радиационной безопасности атомных электростанций. Учебное пособие для вузов,-М: Энергоиздат, 1982, 187 с.
26. Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность, 1983.
27. Охрана окружающей среды при обезвреживании радиоактивных отходов (И.А. Соболев, И.П. Коренков и др.), 1988.
28. Основы сельскохозяйственной радиологии. Б.С. Пристер, Н.А. Лошилов, О.Ф. Немец, В.Я. Поярков, Киев, 1988, 350 с.
29. Коваленко Г. Д. Радиозэкология Украины. — 2-е изд., перераб. и доп.— Х.: ИД "Инжэк", 2008, 264 с.
30. Коваленко Г.Д. Основы радиационной экологии.— Мариуполь: Рената, 2009, 298 с.
31. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. - М.: Химия, 1986.
32. Пакет программ LSRM-2000. Руководство пользователя. – п. Менделеево: ГП “ВНИИФТРИ”, ООО “ЛСРМ”, <http://www.lsrn.ru>.
33. Черный А.А. Принципы инженерного творчества.:Учеб. пособие. – Пенза: Изд. Пенз.гос.университета, 2005, 43 с.
34. В.Н. Даниленко, Е.А. Ковальский, С.Ю. Федоровский, А.Ю. Юферов, “LSRM” – пакет прикладных программ для спектрометрического анализа. Состояние и перспективы. Тезисы V Международного совещания «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии», Дубна, 2001, <http://www.lsrn.ru>.

Курятников В.В. “Інженерно-фізичні аспекти захисту навколишнього середовища ”. Конспект лекцій для студентів факультету МАП за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища», Одеса, ОДЕКУ, 2017р., 50 с. укр. мова

Підп. до друку  
Умовн. друк. арк.

Формат  
Тираж

Папір друк.  
Зам №

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, м.Одеса, вул. Львівська, 15  
Надруковано з готового оригінал-макета