

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО
ПРОЕКТУ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ”**

за спеціальністю “**Технології захисту навколишнього середовища**”
Рівень вищої освіти - магістр

Узгоджено на факультеті
магістерської підготовки

Одеса 2019

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО
ПРОЕКТУ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ”**

за спеціальністю “Технології захисту навколишнього середовища”
Рівень вищої освіти - магістр

“Узгоджено ”

Декан факультету магістерської та
аспірантської підготовки

_____ Боровська Г.О.

“ Затверджено ”

на засіданні кафедри загальної та
теоретичної фізики

прот. № _____ від “ - - - ” 2019 р.

Зав. кафедрою

_____ Герасимов О.І.

Одеса 2019

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Технології захисту навколишнього середовища ” для студентів за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища», Одеса, ОДЕКУ, 2019 р., 52 с.

Укладачі: Герасимов О.І., Курятников В.В.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	4
1. СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	5
1.1 Варіанти тем курсового проекту	5
1.2 Зміст курсового проекту	6
2. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	7
2.1 Рекомендації до виконання першого розділу КП	7
2.2 Рекомендації до виконання другого розділу КП	7
3. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	9
3.1 Теоретичні основи захисту навколишнього середовища від енергетичних впливів	9
3.2 Захист навколишнього середовища від механічних і акустичних коливань. Звукові випромінювання	11
3.3 Захист навколишнього середовища від промислових випромінювань. Теплові випромінювання. Електромагнітні випромінювання	17
3.4 Захист від іонізуючих випромінювань	19
3.5 Проходження γ - випромінювання крізь речовину	26
3.6 Випромінювання нейтронів, перетворення енергії нейтронів у речовині	27
3.7 Дози випромінювання	30
4. ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВРАХУВАННЯМ ЗАХИСТУ ВІД ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ	36
4.1 Розрахунки взаємодії випромінювання з речовиною та оцінки екологічної безпеки	36
4.2 Завдання для виконання курсового проекту	37
4.3 Приклади розв'язання задач	45
5. ПОРЯДОК ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	47
6. ВИМОГИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	48
6.1 Структура курсового проекту	48
6.2 Правила оформлення курсового проекту. Загальні положення	48
6.3 Викладання тексту КП	48
6.4 Оформлення ілюстрацій і додатків	49
6.5 Побудова таблиць	49
ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	51

ВСТУП

Методичні вказівки присвячені розгляду основних питань виконання курсового проекту з дисципліни «Технологій захисту навколишнього середовища».

Метою виконання типового курсового проекту з дисципліни «Технології захисту навколишнього середовища» є поглиблене вивчення студентами факультету магістерської підготовки (МАП) методів та засобів захисту об'єктів навколишнього середовища, зокрема, захисту від енергетичних забруднень, здатності застосовувати для захисту екосистем адекватні до умов галузі сучасні технології, зокрема, заходи захисту об'єктів навколишнього середовища від зовнішніх енергетичних збурень.

Виконуючи курсовий проект, магістри повинні мати не тільки розуміння та знання сучасних технологій захисту навколишнього середовища, але й придбати вміння та навички використання цих знань для роботи з проектування конструкцій, окремих елементів та систем захисту навколишнього середовища від енергетичних забруднень.

Задача курсового проекту - засвоєння знань фізичних основ, методів, моделей та підходів до виявлення екологічно небезпечних зовнішніх збурень та організації захисту від них природних екосистем, зокрема, від впливу теплових, звукових, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, а також придбання вмінь та навичок застосовування заходів їх ліквідування.

В результаті виконання курсового проекту з дисципліни «Технології захисту навколишнього середовища» студент повинен розбиратися в особливостях вимірювань характеристик різноманітних видів випромінювань, питаннях визначення радіоактивності, дози і потужності дози від різних видів іонізуючих випромінювань, володіти методами контролю екологічного стану природних та технологічних об'єктів, здійснювати контроль екологічного стану за допомогою вимірювальних приладів, вміти визначати дозові навантаження на основні компоненти екосистем, оцінювати розмір ризику та запропонувати способи його зменшення.

На основі запропонованого студенту алгоритму, він, використовуючи запропоновані йому вихідні дані, має визначити кількісні характеристики розсіювання та поглинання небезпечних енергетичних випромінювань, провести аналіз екологічної безпеки досліджуваних об'єктів та оцінити відповідність їх державним і міжнародним нормативам та стандартам безпеки.

1. СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.

Курсовий проект складається з: 1) вступу; 2) трьох розділів; 3) висновків; 4) переліку літератури.

Загальні рекомендації щодо виконання курсового проекту наведені нижче.

1. Вступ містить назву теми курсового проекту, мету роботи, актуальність обраної теми та постановку задачі, яку студент узгоджує з викладачем кафедри.

2. У курсовому проекті розділ 1 є теоретичним (літературний огляд), 2-ий розділ – це оригінальна частина (експериментальна або розрахункова), 3-ий розділ – це аналітичний розділ, у якому проводиться оцінка і прогноз екологічної безпеки.

3. Курсовий проект обов'язково має закінчуватися висновками та переліком літератури, що використалася при виконанні роботи.

4. Студент повинен перш за все обрати собі тему курсового проекту та узгодити її з викладачем, який читає лекції з даної дисципліни. Варіанти тем курсового проекту наведені нижче.

1.1 Варіанти тем курсового проекту

1. Маніпулюємо розповсюдження випромінювань в штучно-неоднорідних середовищах в задачах довкілля
2. Фракційний сценарій динаміки систем із складною морфологією
3. Сучасні технології захисту навколишнього середовища від енергетичних впливів
4. Взаємодія елементів довкілля із морфологічно комбінованими випромінюваннями
5. Захист навколишнього середовища від механічних і акустичних коливань.
6. Вплив структурованих конгломератів домішок на взаємодію космічного гамма-випромінювання із озоновим шаром атмосфери
7. Звукові випромінювання та їх небезпечність
8. Захист навколишнього середовища від промислових випромінювань.
9. Теплові випромінювання.
10. Фізичне забруднення довкілля з боку теле-комунікаційних мереж: класифікація і параметризація.

11. Технології захисту елементів екосистем від впливу малих доз опромінення
12. Електромагнітні випромінювання
13. Проходження випромінювань крізь екрануючі гіпернеоднородні системи в режимах екранування та тунелювання.
14. Дезактивація середовищ забруднених радіонуклідами за допомогою сконфігурованого у топологічній фазі графену.
15. Технологія та модель радіаційного екрану на основі гранульованих матеріалів для задач радіаційного забезпечення
16. Детектування іонізуючого випромінювання. Прилади для реєстрації іонізуючого випромінювання.
17. Методи реєстрації гамма – випромінювання. Ефекти дії гамма – випромінювання на речовину.
18. Рентгенівське випромінювання. Рентгенівські апарати. Міри захисту від рентгенівських випромінювань
19. Проведення радіаційно-дозиметричного контролю в об'єктах навколишнього середовища
20. Моніторинг та забезпечення довкілля із застосуванням положень нелінійної хвильової динаміки

1.2 Зміст курсового проекту

Варіанти тем, що запропоновані студентам для виконання курсового проекту, обмежені джерелами різних енергетичних випромінювань.

Випромінювання від різних джерел енергетичного випромінювання суттєво відрізняються між собою за фізичними властивостями, явищами та фізичними принципами.

Але для усіх видів випромінювань загальними є фізичні процеси поглинання, відбиття та розсіяння, для яких мають завжди обов'язково виконуватися закони збереження енергії, електричного заряду тощо.

Розгляд різноманітних складних фізичних процесів з боку законів збереження є достатньо логічним підходом у об'єднаному вивченні названих процесів.

Такий підхід у вивченні явищ з боку розгляду балансу енергії дозволяє запропонувати єдину форму виконання курсового проекту.

Результатом такого підходу може бути оцінювання екологічної безпеки при поводженні з різними джерелами енергетичного випромінювання, або з їх комбінаціями.

У курсовому проекті для експертної оцінки можуть бути використані дані нормативних та законодавчих актів (Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97, Основні санітарні правила протирадіаційного захисту населення України ОСПУ, санітарні правила поводження з радіоактивними відходами).

2. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

2.1 Рекомендації до виконання першого розділу КП

У теоретичній частині (літературному огляді) курсового проекту обов'язково потрібно визначити:

- вид, властивості та характеристики енергетичного випромінювання;
- величини, за допомогою яких оцінюється вплив випромінювання на людину та системні і позасистемні одиниці їх вимірювання;
- висвітити прийняті в Україні норми екологічної безпеки для різних категорій населення, розглянути можливі наслідки опромінення, зокрема радіаційного, та освітити питання захисту від іонізуючого випромінювання.

У першому розділі курсового проекту за будь-якою обраною темою потрібно зробити літературний огляд за темою проекту, у якому обов'язково також освітити питання:

Енергетичне випромінювання, звукове випромінювання, теплове випромінювання, електромагнітне випромінювання, іонізуюче ядерне випромінювання, радіаційний фон, активність, експозиційна, поглинута, еквівалентна дози, їх потужності, системні та позасистемні одиниці вимірювання активності, експозиційної, поглинутої, еквівалентної доз іонізуючого випромінювання; норми радіаційної безпеки України, гранично допустима доза випромінювання за нормами НРБУ, методи та прилади для вимірювання випромінювань.

2.2 Рекомендації до виконання другого розділу КП

У другому розділі КП потрібно провести дослідження обраного енергетичного випромінювання, в яких потрібно визначити потрібні для виконання проекту дані фізичних величин та характеристик випромінювання.

У другому розділі КП потрібно розкрити суть обраної теми, показати вміння застосовувати теоретичні знання у сучасних технологіях захисту навколишнього середовища.

Для всіх варіантів тем у другому розділі проекту пропонується визначити набором характеристик енергетичного випромінювання, по яких буде проводитися оцінки та аналіз екологічного стану середовища.

У якості обов'язкового завдання провести визначення методу реєстрації обраного випромінювання.

Далі студенту потрібно визначити спосіб та апаратуру для визначення процесів взаємодії випромінювання з речовиною захисних екранів, типу детекторів для реєстрації випромінювання.

У наступному етапі потрібно оцінити або визначити коефіцієнти взаємодії випромінювання з речовиною – коефіцієнт поглинання, розсіювання та ін.

Нарешті студент робить розрахунки захисних екранів – товщини екрана, оцінки впливу його форми, матеріалу, з якого екран зроблений та ін..

Наприклад:

Вид випромінювання – бета-випромінювання.

1) Обираємо іонізаційний метод реєстрації.

Обираємо тип детектора – лічильник Гейгера-Мюллера.

Такий тип детектора містить у собі, наприклад дозиметр «Стора»

2) На другому етапі проводимо вимірювання дозиметром «Стора» щільності потоку бета-випромінювання для даного джерела іонізуючого випромінювання;

3) Проводимо вимірювання потоку частинок β - випромінювання обраними для захисту від нього матеріалами - пластинками з, наприклад, міді різними за своєю товщиною;

4) Проводимо вимірювання потоку частинок β – випромінювання для різної кількості пластинок, щоб оцінити закон, за яким відбувається поглинання енергетичного випромінювання. Якщо, наприклад, ми маємо гамма-випромінювання, то поглинання його відбувається за експоненціальним законом (закон Бугера-Ламберта-Бера). Закон поглинання не обов'язково має бути експоненціальним. Його можна, наприклад, описати степеню функцією, як для нейтронів. Тоді для оцінки товщини захисних екранів зазвичай використовують поняття L_{10} - шар речовини, у якому інтенсивність випромінювання, що поглинається зменшується у 10 разів. Для експоненціального закону поглинання товщину захисного екрану можна оцінювати величиною L_e - шар, у якому інтенсивність випромінювання зменшується у $e = 2,7 \dots$ разів.

5) Проводимо розрахунки коефіцієнтів поглинання випромінювання (коефіцієнт поглинання гамма-випромінювання або бета-випромінювання) обраними для захисту від нього матеріалами. У разі експоненціального закону поглинання коефіцієнт поглинання визначається наступним чином.

Для двох пластинок однієї речовини товщиною x_1 і x_2 коефіцієнт поглинання дорівнює:

$$\mu = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{x_2 - x_1},$$

де N_1 і N_2 - відповідно кількість імпульсів лічильника при проходженні випромінювання через шар речовини товщиною x_1 і x_2 ; так саме можна знайти коефіцієнт поглинання для іншої речовини.

б) Отримані у другому розділі значення коефіцієнтів поглинання використовуються у третьому розділі курсового проекту для проектування захисних екранів із врахуванням матеріалу, тобто речовини матеріалу та властивостей небезпечного енергетичного випромінювання.

При цьому бажаним було б проведення досліджень енергетичного балансу захисного пристрою, що проектується. Тобто потрібно визначити, яка частина енергії небезпечного випромінювання поглинається захисним екраном, а яка частина проходить крізь нього.

3. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

3.1 Теоретичні основи захисту навколишнього середовища від енергетичних впливів. Методи захисту довкілля від енергетичних дій.

До енергетичних антропогенних забруднень належать теплові викиди, шум, вібрація, ультразвук, електромагнітні поля, світлове, лазерне, інфрачервоне, ультрафіолетове, радіація.

Окремим розділом дисципліни є захист довкілля від енергетичних дій.

Під енергетичними діями будемо розуміти дії від механічних і акустичних коливань, від теплових випромінювань, електромагнітних полів і випромінювань. До енергетичних дій також можна віднести дію радіації.

Основним з методів захисту довкілля від енергетичних дій є захист відстанню. Тобто джерело випромінювання повинно розташовуватися від об'єкту випромінювання на достатньо великій відстані. Зрозуміло, що такий метод не завжди є зручним, або його взагалі неможливо застосувати у певних умовах. Тоді користуються іншими методами. Серед таких методів потрібно відмітити метод екранування.

Між джерелом випромінювання та об'єктом, який потрібно захистити, розташовується екран, який поглинає випромінювання.

Властивості матеріалу екранів, товщина екранів залежить від виду та потужності випромінювання. Тому, для застосування екранів потрібно проводити обов'язково певні розрахунки.

Екрани можуть бути простими плитами, являти собою ємності з наповнювачами, наприклад, гранульованими матеріалами, або бути елементами одягу, скафандрами, та ін..

При вирішенні завдань захисту виділяють джерело, приймач енергії і захисний пристрій (рис. 1), який зменшує до допустимих рівнів потік енергії до приймача.

Захисний пристрій (ЗП) має здатність: відбивати, поглинати, бути прозорим по відношенню до потоку енергії.

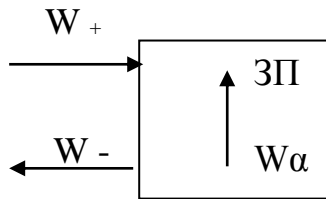


Рис. 1. Енергетичний баланс захисного пристрою

Із загального потоку енергії W_+ , що надходить до ЗУ, частина W_α поглинається, частина W_- відбивається і частина W_v проходить крізь ЗП.

Тоді ЗП можна охарактеризувати наступними енергетичними коефіцієнтами: коефіцієнтом поглинання $\alpha = W_\alpha / W_+$, коефіцієнтом відбиття $\rho = W_- / W_+$, коефіцієнтом передачі $\tau = W_v / W_+$.

При цьому виконується рівність

$$\alpha + \rho + \tau = 1. \quad (1)$$

Сума $\alpha + \tau = 1 - \rho = v$ (де $v = W_v / W_+$) характеризує невідбитий потік енергії W_v , що пройшов в ЗП.

Якщо $\alpha = 1$, то ЗП поглинає всю енергію, що надходить від джерела; при $\rho = 1$ ЗП має 100% -ву відбивальну здатність, а рівність $\tau = 1$ означає абсолютну прозорість ЗП, тобто енергія проходить через пристрій без втрат.

Принципи захисту:

- 1) принцип: $\rho \rightarrow 1$; захист здійснюється за рахунок відбивальної здатності ЗП;
- 2) принцип: $\alpha \rightarrow 1$; захист здійснюється за рахунок поглинальної здатності ЗП;
- 3) принцип: $\tau \rightarrow 1$; захист з урахуванням властивостей прозорості ЗП.

На практиці принципи комбінують, отримуючи різні методи захисту. Найбільшого поширення набули методи захисту ізоляцією і поглинанням.

Методи ізоляції використовують тоді, коли джерело і приймач енергії, який є одночасно об'єктом захисту, розташовуються з різних боків від ЗП.

В основі цих методів лежить зменшення прозорості середовища між джерелом і приймачем, тобто виконання умови $\tau \rightarrow 0$. При цьому можна виділити два основні методи ізоляції: метод, при якому зменшення прозорості середовища досягається за рахунок поглинання енергії ЗП, тобто умова $\tau \rightarrow 0$ забезпечується умовою $\alpha \rightarrow 0$, і метод, при якому зменшення прозорості середовища досягається за рахунок високої відбивної здатності ЗП, тобто умова $\tau \rightarrow 0$ забезпечується умовою $\rho \rightarrow 1$.

В основі методів поглинання лежить принцип збільшення потоку енергії, що пройшов у ЗП, тобто досягнення умови $\nu \rightarrow 1$. Розрізняють два види поглинання енергії ЗП: поглинання енергії самим ЗП за рахунок її відбору від джерела в тій чи іншій формі, в тому числі у вигляді незворотних втрат, що характеризується коефіцієнтом α , і поглинання енергії в зв'язку з великою прозорістю ЗП, що характеризується коефіцієнтом τ .

Оскільки при $\nu \rightarrow 1$ коефіцієнт $\rho \rightarrow 0$, то методи поглинання використовують для зменшення відбитого потоку енергії; при цьому джерело і приймач енергії зазвичай знаходяться з одного боку від ЗП.

При розгляді поширення коливань поряд з коефіцієнтом α використовують коефіцієнт втрат η , який характеризує кількість енергії розсіяною ЗП:

$$\eta = W_s / \omega \epsilon = E_s / (2\pi \epsilon), \quad (2)$$

де W_s і E_s - середні за період коливань T потужність втрат і розсіяна за той же час енергія; $\omega = 2\pi / T$ - кругова частота; ϵ - енергія, що міститься у системі.

Якісна оцінка ступеня реалізації цілей захисту може здійснюватися двома способами:

1) визначають коефіцієнт захисту K_w у вигляді відношення потоку енергії при відсутності ЗП до потоку енергії при наявності ЗП;

2) визначають коефіцієнт захисту у вигляді відношення потоку енергії на вході в ЗП до потоку енергії на виході з ЗП

Ефективність захисту (дБ) оцінюють по співвідношенню:

$$E = 10 \lg K_w. \quad (3)$$

3.2. Захист навколишнього середовища від механічних і акустичних коливань. Звукові випромінювання

Вібрація і шум є пружними коливаннями твердих тіл, газів і рідин.

Вібрація являє собою механічні коливальні рухи гармонійного виду в механічній системі. Причиною вібрації є неврівноважені впливи, що виникають при роботі машин і механізмів.

Основними параметрами вібрації є: частота (Гц); амплітуда зміщення (м або см); віброшвидкість (м / с); віброприскорення (м / с²); період коливання (с).

У практиці віброакустики весь діапазон частот вібрації розбивається на октавні діапазони. У кожному октавному діапазоні верхня гранична частота в два рази вище нижньої, а середня частота діапазону дорівнює квадратному кореню з добутку верхньої і нижньої частот. Середні геометричні частоти октавних діапазонів нормовані і знаходяться в інтервалі від 1 до 2000 Гц (всього 12 середньочастотних діапазонів).

За способом передачі прийнято розрізняти локальну вібрацію, що передається через руки, і загальну вібрацію, яка передається через опорні поверхні людини, що сидить або стоїть.

Найбільш небезпечні для людини частоти коливань 6 ... 9 Гц, так як вони співпадають з власною частотою коливань внутрішніх органів людини.

Розрізняють гігієнічне та технічне нормування виробничих вібрацій.

При гігієнічному нормуванні вібрації проводиться обмеження параметрів виробничої вібрації робочих місць і поверхонь контакту вібронезбезпечних механізмів з руками працюючого, виходячи з фізіологічних вимог; у другому випадку здійснюється обмеження рівня вібрацій з урахуванням технічно досяжного рівня захисту від вібрацій.

Нормовані параметри локальної та загальної вібрацій - середні квадратичні значення віброшвидкості і віброприскорення. Загальна вібрація нормується з урахуванням властивостей джерел її виникнення і ділиться на транспортну, транспортно-технологічну та технологічну вібрації.

Вібраційні системи складаються з елементів маси, пружності і демпфірування. У такій системі діють сили інерції, тертя, пружності і змушуючі сили.

Сила інерції дорівнює добутку маси M на її прискорення dv / dt :

$$F_M = - M dv / dt, \quad (4)$$

де v - віброшвидкість.

Сила F_M спрямована в бік, протилежний прискоренню.

Сила дії пружного елемента, тобто сила, що відновлює, буде напрямлена в протилежний бік і дорівнює

$$F_G = Gx, \quad (5)$$

де G - коефіцієнт жорсткості пружного елемента, H / m ; $x = (x_1 - x_0)$ - зміщення кінця пружного елемента, m .

При вібрації пружних систем відбувається розсіювання енергії в навколишнє середовище, а також в матеріалі пружних елементів і в місцях з'єднань деталей конструкції. Ці втрати викликаються силами тертя (диссипативними силами), на подолання яких є незворотнім розсіюється енергія джерела вібрації.

Якщо розсіювання енергії відбувається в елементі демпфірування, тобто в середовищі з в'язким опором, то диссипативна демпфуюча сила F_s прямо пропорційна віброшвидкості v :

$$F_s = Sv, \quad (6)$$

де S - імпеданс (опір) елемента демпфірування, $H.m / c$.

Імпеданс вібросистеми складається з імпедансів елемента демпфірування, маси і пружності. Імпеданс вібросистеми має мінімальне

значення в резонансній області, де він визначається опором елемента демпфірування. Поза резонансної області імпедансом S можна знехтувати.

У діапазоні високих частот рух визначається віброуючою масою, M , а в діапазоні низьких частот - жорсткістю системи G .

Коефіцієнт втрат енергії з урахуванням імпедансу складе

$$\eta = \omega S / G. \quad (7)$$

Захист від вібрації у промисловості здійснюється впливом на джерело вібрації, шляхом зниження вібрації на шляху її поширення з використанням таких методів:

1) Зниження вібрації шляхом зменшення або ліквідації змушуючих сил. Це досягається шляхом виключення можливих ударів і різких прискорень.

2) Зміна частоти власних коливань джерела (машини або установки) для виключення резонансу з частотою вимушених коливань.

3) вібропоглинання (вібродемфірованіє) шляхом перетворення енергії коливань системи в теплову енергію (використання матеріалів з більшим внутрішнім тертям: дерево, гума, пластмаси).

4) Віброгасіння шляхом введення в коливальну систему додаткових мас або збільшення жорсткості системи шляхом установки агрегатів на фундамент.

5) Метод віброізоляції шляхом введення в систему додаткового пружного зв'язку (пружинних віброізоляторів) для ослаблення передачі вібрації об'єкту захисту (суміжному елементу конструкції або робочому місцю).

До основних характеристик віброзахисних систем відносяться власна частота системи, механічний імпеданс і коефіцієнти, що визначають процеси згасання вібрацій і розсіювання енергії.

Вільна вібрація ($F_t = 0$) в відсутності сил тертя ($F_s = 0$).

За умови $F_M + F_G = 0$ визначається власна частота коливань вібросистеми:

$$\omega_0 = (G / M). \quad (8)$$

При наявності сил тертя ($F_s \neq 0$) вільна вібрація ($F_t = 0$) згасає.

Амплітуда віброшвидкості при цьому з часом зменшується.

Відношення потоку енергії на вході у захисний пристрій (ЗП) і на виході з нього W_+ / W_- називають силовим коефіцієнтом захисту при віброізоляції:

$$k_F = W_+ / W_-. \quad (9)$$

Ступінь захисту характеризується також динамічним коефіцієнтом захисту k_x , рівним відношенню амплітуди зміщення джерела до амплітуди зміщення приймача.

У загальному випадку енергетичний коефіцієнт захисту можна виразити у вигляді

$$k_w = k_F k_x. \quad (10)$$

В загальному випадку ефективність віброізоляції

$$e = 10 \lg k_w \quad (11)$$

Шум - це безладне поєднання звуків різної частоти і інтенсивності (сили), що виникають при механічних коливаннях у твердих, рідких і газоподібних середовищах.

За природою виникнення шуми діляться на механічні, аеродинамічні, гідродинамічні, електромагнітні.

Слухові відчуття викликаються коливаннями пружного середовища, поширюються в газоподібному, рідкому або твердому середовищі та впливають на органи слуху людини.

Звукові коливання в повітрі призводять до його стиснення і розрідження. В областях стиснення тиск повітря зростає, а в областях розрідження зменшується. Різниця між тиском, існуючим в середовищі P_{cp} в даний момент, і атмосферним тиском $P_{атм}$, називається звуковим тиском:

$$P_{зв} = P_{cp} - P_{атм}. \quad (12)$$

Звукова хвиля є носієм енергії в напрямку свого руху. Кількість енергії, яку переносять звуковою хвилею за одну секунду через простір з площею перерізу 1 м^2 , перпендикулярному напрямку руху, називається інтенсивністю звуку ($\text{Вт} / \text{м}^2$)

$$I = P_{зв}^2 / Z_A, \quad (13)$$

де Z_A - акустичний опір середовища $\text{кг} / (\text{м}^2\text{с})$.

Поверхня тіла, яка здійснює коливання, є випромінювачем звукової енергії, який створює акустичне поле.

Акустичним полем називають область пружного середовища, яка є засобом передачі акустичних хвиль. Акустичне поле характеризується звуковим тиском $P_{зв}$ і акустичним опором Z_A . Енергетичними характеристиками акустичного поля є: інтенсивність енергії I , потужність випромінювання W - кількість енергії, що проходить за одиницю часу через поверхню, що охоплює джерело звуку, Вт .

Якщо звукова хвиля зустрічає перешкоду з іншим, ніж акустичне середовище, хвильовим опором, то частина звукової енергії відбивається від перешкоди, частина проникає в неї і поглинається перешкодою, перетворюючись в тепло, а решта проходить крізь перешкоду.

Властивості самої перешкоди і матеріалу, що покриває цю перешкоду, визначають наступними показниками:

1) Коефіцієнт звукопоглинання

$$\alpha = I_{погл} / I_{пад}, \quad (14)$$

де $I_{погл}$ - поглинена матеріалом або перешкодою звукова енергія;

$I_{пад}$ - звукова енергія, що падає на перешкоду.

2) Коефіцієнт відбиття

$$\beta = I_{від} / I_{пад}, \quad (15)$$

де $I_{від}$ - відбита від перешкоди звукова енергія.

3) Коефіцієнт звукоізоляції

$$\gamma = I_{\text{пад}} / I_{\text{від}} \quad (16)$$

4) Коефіцієнт проходження (проникності або проникнення)

$$\tau = I_{\text{пр}} / I_{\text{пад}}, \quad (17)$$

де $I_{\text{пр}}$ - звукова енергія, що пройшла крізь перешкоду

5) Коефіцієнт розсіювання від поверхні перешкоди

$$\delta = (I_{\text{пад}} - I_{\text{погл}} - I_{\text{пр}}) / I_{\text{пад}}. \quad (18)$$

Величини коефіцієнтів α , β , δ , τ залежать від частоти звукової хвилі.

Використовуючи ці формули, можна записати наступні співвідношення:

$$\alpha = 1 - \beta; \quad \beta + \delta + \tau = 1. \quad (19)$$

Для оцінки та порівняння звукового тиску P (Па), інтенсивності I ($\text{Вт} / \text{м}^2$) і звукової потужності W (Вт) різних джерел прийняті характеристики їх рівнів L_i , виражені в безрозмірних змінних

$$E = 10 \lg (S_0 / S), \quad (20)$$

де S_0 , S - площа отвору і площа пластини відповідно, м^2 .

Одним з ефективних засобів зниження шуму є застосування в конструкції звукопоглинальних матеріалів.

Ефективність звукопоглинальних матеріалів щодо зменшення шуму визначається їх коефіцієнтом звукопоглинання α . Для м'яких пористих матеріалів значення коефіцієнта α знаходиться в межах 0,2..0,9. Для щільних твердих матеріалів (цегла, деревина) α становить соті частки одиниці.

Одиницею звукопоглинання є Себін (Сб), а повне звукопоглинання матеріалу:

$$A = \alpha \cdot S, \text{ Сб}, \quad (21)$$

де S - площа даного матеріалу, м^2 .

Ослаблення шуму в приміщенні при збільшенні звукопоглинання стін:

$$\Delta L = 10 \lg (A_2 / A_1) = 10 \lg (\alpha_2 / \alpha_1) = 10 \lg (I_{\text{погл.2}} / I_{\text{погл.1}}), \quad (22)$$

де A_1 і A_2 - повне звукопоглинання приміщення до внесення звукопоглинальних матеріалів і після їх внесення; α_1 і α_2 - коефіцієнти звукопоглинання приміщення до внесення звукопоглинальних матеріалів і після їх внесення.

Рівні звукового тиску в розрахункових точках не повинні перевищувати рівнів, допустимих за нормами у всіх октавних смугах.

Необхідні рівні звукового тиску (дБА) визначається за формулою:

$$\Delta L_{\text{р, тр}} = L_{\text{р}} - L_{\text{р, доп}}, \quad (23)$$

де $L_{\text{р}}$ - виміряний рівень звукового тиску в робочій точці; $L_{\text{р, доп}}$ - допустимі рівні звукового тиску згідно з діючими нормативами.

Механічні коливання з частотою менше 16 Гц є причиною інфразвуку, який не сприймається людським вухом.

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.

Звукове випромінювання – коливальний рух частинок пружного середовища, що поширюється у вигляді хвиль.

Фізичними параметрами звукових хвиль є інтенсивність, спектр і частотні характеристики. У біологічному аспекті звук є специфічним подразником слухового аналізатора людини і тварин.

Вище 20 кГц – ультразвукові хвилі.

Багато тварин використовують у слуховому спілкуванні звук-коливання з частотою, яка значно перевищує 20 кГц. Наприклад, собаки здатні чути звуки частотою до $4,4 \times 10^4$ Гц, щури – до $7,2 \times 10^4$ Гц, кажани – до $11,5 \times 10^4$ Гц. У природі джерелами ультразвуку можуть бути землетруси, виверження вулканів тощо. Ультразвук техногенного походження виникає при роботі ракетних двигунів, деяких типів механізмів. Випромінювання ультразвукового діапазону справляє на біологічні системи комплексний вплив – тепловий, механічний, хімічний, електрофізіологічний. Розрізняють два основних види звукових сигналів як подразників слухового аналізатора: тони (звукові коливання постійної частоти або частоти, яка строго змінюється; у природі чисті тони бувають рідко) і шуми (хаотичне поєднання різних за силою і частотою звуків). Шум має певну частоту, або спектр (виражається у Гц), та інтенсивність (вимірюється у децибелах – дБ). При частоті інфразвукових шумів, нижчій ніж 20 Гц, виникають помітні порушення життєдіяльності організмів.

Давно відома біологічна дія інфразвуку, що супроводжує деякі природні явища, – це відчуття психологічного дискомфорту, розвиток безпричинного відчуття страху, виникнення паніки серед тварин напередодні виверження вулканів, при землетрусах, перед штормами.

Подібну реакцію у тварин спричиняють звуки важких вертольотів, машин, пресів та ін. механізмів, робота яких супроводжується шумом, до спектра якого входять інфразвукові частоти.

Шум є одним із найпоширеніших несприятливих фізичних факторів середовища, що набувають соціально-гігієнічного значення у зв'язку з урбанізацією, а також механізацією та автоматизацією технологічних процесів, розвитком дизелебудування, реактивної авіації, транспорту.

Постійний шум середовища коливається в межах 35–60 дБ. Фізіологічно допустимі норми шуму 45 дБ уночі і 60 дБ удень.

Звук від транспорту, багаторазово відбиваючись від стін будівель, досягає рівня бл. 80–82 дБ. Якщо рівень шуму становить 70–80 дБ, людина

починає відчувати втому, а коли перевищує межу 120–140 дБ, людині загрожує травма з незворотним ураженням органів слуху.

Високе шумове навантаження у містах призводить до зростання захворюваності на серцево-судинні, нервові та ін. хвороби. Високу здатність затримувати і поглинати значну частину звук. енергії, зокрема звуки високої частоти, мають рослини. ВООЗ розробила програму зниження шуму в містах, а також зарахувала деякі види фіз. забруднення середовища (шумове, електромагнітне випромінювання та ін.) до найважливіших екологічних проблем сучасності.

3.3. Захист навколишнього середовища від промислових випромінювань. Теплові випромінювання. Електромагнітні випромінювання.

Теплові апарати, які використовуються на підприємствах, є джерелами інфрачервоного випромінювання. За фізичною природою інфрачервоне випромінювання являє собою електромагнітні хвилі та потік квантових фотонів.

Ефект дії інфрачервоного випромінювання на людину залежить від довжини хвилі.

- *короткохвильове інфрачервоне випромінювання* з довжиною хвилі від 0,76 до 1,4 мкм має більшу здатність проникати через шкіру;
- *довгохвильове інфрачервоне випромінювання* з більшою довжиною хвилі поглинається в основному в епідермісі;
- *видиме* – кров'ю у шарах дерми та підшкірною жировою клітковиною.

Поглинання інфрачервоних променів різними шарами шкіри призводить до їх нагрівання. Внаслідок цього можливе порушення теплового балансу організму людини. Інфрачервоне випромінювання негативно впливає на функціональний стан центральної нервової системи, виникають зміни у серцево-судинній системі.

Вплив інфрачервоного випромінювання на очі нерідко викликає кон'юнктивіти, помутніння рогівки, спазм зіниць, помутніння кришталика, опік сітчатки, «снігову» сліпоту. Під час опромінення очей випромінюванням інтенсивністю 4,2 кВт/м² температура рогівки може досягати 40°C і більше. Постійна дія такого випромінювання на очі викликає професійне захворювання – катаракту.

Під дією інфрачервоного випромінювання виникають гострі та хронічні захворювання. Відчуття розслабленості та зниження уваги працівників, які знаходяться в зоні дії теплового променевого потоку, можуть бути непрямою причиною виробничого травматизму.

Тепловий ефект впливу інфрачервоного випромінювання на людину залежить від багатьох чинників, серед яких:

- Ø температура джерела випромінювання,
- Ø його площа, кут падіння променів,

Ø площа опромінюваної поверхні,
Ø тривалість опромінювання,
Ø вид одягу.

Згідно ГОСТ 12.1.005-88, інтенсивність теплового опромінювання працівників від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсталяції на постійних і не постійних робочих місцях не повинна перевищувати:

- 35 Вт/м² у разі опромінювання 50 % поверхні тіла і більше;
- 70 Вт/м² – якщо величина опромінювання від 20 до 50 %;
- 100 Вт/м² – коли опромінюється більше 25 % його поверхні.

За наявності теплового опромінювання температура повітря:

- на постійних робочих місцях не повинна перевищувати вказані в ГОСТ 12.1.005-88 верхні межі оптимальних значень для теплового періоду року (20 - 25°C – залежно від важкості виконуваної роботи);
- на постійних робочих місцях – верхні межі допустимих значень для постійних робочих місць (19 - 28°C – залежно від періоду року та важкості виконуваної роботи).

Для виключення теплових травм температура зовнішніх поверхонь технологічного устаткування чи огорожувальних пристроїв повинна бути не більше 45°C.

У гарячих цехах підприємств громадського харчування використовуються плити, відкрита поверхня для смаження яких нагрівається під час роботи до температури в межах 350 ... 450°C.

При експлуатації цих плит необхідно вживати заходи щодо захисту працівників від опромінювань.

Електромагнітні випромінювання – найбільш поширені випромінювання у навколишньому середовищі. Вони складаються з природного випромінювання, наприклад, космічного, а також штучного, антропогенного випромінювання, наприклад, від ліній електропередач (ЛЕП), трансформаторів, радіо- та телевізійних мереж, мобільних телефонів, промислових підприємств, тощо.

При вивченні цих випромінювань 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 пічках 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 дії електромагнітних хвиль, створених мобільними телефонами.

Електромагнітне випромінювання - це взаємопов'язані коливання електричного (**E**) і магнітного (**B**) полів, що утворюють електромагнітне поле

Розповсюдження випромінювання здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі, випромінюються зарядженими частинками, атомами, молекулами, антенами та іншими випромінювальними системами^[2]. Електромагнітне випромінювання являє собою потік фотонів, який тільки при великій їх (фотонів) кількості можна розглядати як неперервний процес.

Розрізняють вимушені (під впливом зовнішніх джерел) і власні електромагнітні коливання. У необмеженому просторі або в системах з втратами енергії можливі електромагнітні коливання з неперервним спектром частот. Просторово обмежені системи мають дискретний спектр частот причому кожній частоті відповідає один або кілька незалежних типів коливань.

Гранично допустимі рівні електромагнітного випромінювання визначаються відповідно до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01 серпня 1996 року № 239, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 29 серпня 1996 року за № 488/1513.

Вони стосуються напруженості поля E Вольт/м, потужності поля Вт/м², частотних характеристик, Гц.

У виробничих умовах на працюючих впливає широкий спектр електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Залежно від діапазону довжин хвиль розрізняють: електромагнітні випромінювання радіочастот ($10^{-4} \dots 10^7$ м), інфрачервоне випромінювання ($7,5 \cdot 10^{-7} \dots <10^{-4}$ м), видиму область ($4 \cdot 10^{-7} \dots 7,5 \cdot 10^{-7}$ м), ультрафіолетове випромінювання ($<4 \cdot 10^{-7} \dots 10^{-9}$ м), рентгенівське випромінювання і гамма-випромінювання ($<10^{-9}$ м) і ін.

Джерелами електромагнітних випромінювань радіочастот (ЕМВ РЧ) являють пристрої індукційного нагріву металів і напівпровідників, пристрої діелектричного нагріву, телевізійні і радіолокаційні станції.

Несприятливу дію на організм людини мають *електромагнітні випромінювання* радіочастотного діапазону, джерелами яких є телевізійні і радіомовні станції, пристрої радіозв'язку, апарати високочастотного нагрівання і навіть побутова апаратура.

3.4 Захист від іонізуючих випромінювань

Основними загальними наслідками проходження іонізуючих частинок крізь речовину є: іонізація та збудження атомів та молекул речовини.

Треба окрема розглядати 1)заряджені частинки (важкі та легкі), 2) γ – випромінювання та 3) нейтрони.

При проходженні заряджених частинок у нерелятивістському наближенні іонізаційні втрати енергії:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{іон}}^T = \frac{4\pi e^2}{m_0} \left(\frac{ze}{v}\right)^2 n_e \ln \frac{2m_0 v^2}{I(Z)}, \quad (24)$$

де m_0 - маса електрона, z - зарядове число іонізуючої частинки, v - її швидкість, Z – зарядове число атомів (чи порядковий номер) речовини, n_e - число електронів в 1 см^3 речовини, I – середній іонізаційний потенціал атомів поглинача, усі величини виражені в одиницях СГСЕ.

Лінійну втрату енергії ще називають лінійною передачею енергії і часто позначають літерою L_Δ , її можна виразити через енергію частинки E

$$L_\Delta = \frac{2\pi \cdot e^4 z^2 M \cdot n_e}{E \cdot m_0} \ln \frac{4E \cdot m_0}{I(Z)M}, \quad (25)$$

де M – маса іонізуючої частинки.

Число електронів в одиниці об'єму можна виразити через густину ρ

$$n_e = \frac{ZmN_A}{V\mu} = Z\rho N_A/\mu. \quad (26)$$

Середній потенціал іонізації атомів речовини визначається через порядковий номер Z

$$I(Z) = 13.5 \cdot Z \text{ eV}. \quad (27)$$

Якщо речовина складається з молекул, то ефективний середній потенціал іонізації розраховується за формулою

$$\ln I = \frac{\sum_i N_i Z_i \ln I_i}{\sum N_i Z_i}, \quad (28)$$

і сума по всіх атомах у молекулі, N_i – число атомів i -го сорту у молекулі.

Формулу (2.2) можна записати у вигляді, що дуже скорочує розрахунки:

$$L = \frac{Bn}{E} \ln \frac{4Em_0}{MI} \quad (29)$$

$$\text{де } B = \frac{2\pi z^2 e^4 M}{m_0 1.6 \cdot 10^{-6}}, \quad (30)$$

заряд та густину треба брати в одиницях СГСЕ, а енергію у знаменнику в MeV , тоді лінійна втрата енергії буде у eрг/см . Під знаком логарифма краще за все енергію та іонізаційний потенціал брати в eV . У радіоекології для лінійних втрат часто користуються позасистемними одиницями MeV/мкм , їх зв'язок з системними:

$$1 \text{ ерг/см} = 6.25 \text{ МеВ/мкм.}$$

Таким чином, якщо відомо, про які іонізуючі частинки іде мова, можна легко розрахувати B , так, наприклад, для протонів ($z = 1$; $M_p/m = 1.84 \cdot 10^3$), $B_p = 3.84 \cdot 10^{-28}$.

$$\text{Для дейтронів } (z = 1; M_d/m = 2 \cdot 1.84 \cdot 10^3) \quad B_d = 2B_p = 7.68 \cdot 10^{-28}.$$

$$\text{Для } \alpha\text{-частинок } (z = 2; M_\alpha/m = 4 \cdot 1.84 \cdot 10^3) \quad B_\alpha = 16B_p = 6.13 \cdot 10^{-27}.$$

Проходження β -частинок крізь речовину.

Точний розрахунок лінійних іонізаційних втрат енергії електронами (β^- -частинками) при зіткненнях з електронами атомів речовини був проведений Бете, він дає

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{\text{іон.}} = \frac{\pi e^4 n}{v^2 m} \left(\ln \frac{v^2 m E}{2I^2 (1-\beta^2)} - \ln 2(2\sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2) + 1 - \beta^2 \right), \quad (31)$$

де E – релятивістська кінетична енергія електрона. Іонізаційні лінійні втрати енергії для легких частинок, наприклад електронів чи позитронів, у нерелятивістському випадку

$$-\left(\frac{dE}{dx} \right)_{\text{іон.}} = \frac{4\pi \cdot e^4 \cdot n}{mv^2} \ln \frac{mv^2}{2 \cdot I}. \quad (32)$$

Їх можна виразити через енергію електрона E

$$-\left(\frac{dE}{dx} \right)_{\text{іон.}} = \frac{2\pi \cdot e^4 \cdot n}{E} \ln \frac{E}{I}. \quad (33)$$

Усі заряджені частинки, що гальмуються, стають джерелами електромагнітного випромінювання, енергія цього випромінювання пропорційна прискоренню у четвертому степені, тобто обернено-пропорційна такому ж степені маси частинки. Тому таке випромінювання треба враховувати для легких заряджених частинок; але ним можна знехтувати для важких.. Втрати на це випромінювання у речовині прийнято називати радіаційними.

Гальмове випромінювання обумовлює радіаційні втрати енергії легких частинок.

Для β -частинок з енергією декілька МеВ відношення радіаційних втрат енергії до іонізаційних втрат η дорівнює

$$\eta = \frac{E_m \cdot Z}{800}, \quad (34)$$

де E_m – максимальна енергія (МеВ) β -частинок, Z – атомний номер елемента речовини, у якій рухається β -частинка. При певній енергії

радіаційні втрати дорівнюють іонізаційним. Ця енергія називається *критичною* $E_{кр}$

$$E_{кр} = \frac{800}{Z} . \quad (35)$$

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

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{рад} = \frac{E}{l_0} , \quad (36)$$

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

$$E = E_0 \exp(-x/l_0) . \quad (37)$$

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 густини електронів в ньому, вона визначається формулою

$$l_0 = \frac{4.31 \cdot 10^{26}}{n_e \cdot Z \cdot \ln(183/Z^{1/3})} \text{ (см)} . \quad (38)$$

Послаблення потоку β -частинок з суцільним спектром відбувається приблизно за експоненціальним законом

$$J = J_0 e^{-\mu x} , \quad (39)$$

де μ – масовий коефіцієнт послаблення в одиницях $\text{см}^2/\text{г}$; x – товщина мішені 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 β -частинок в алюмінії

$$\Delta_{1/2} = 0.032 E_{\beta}^{1.33} \text{ (г/см}^2\text{)} \quad (40)$$

Можна оцінити іонізаційні здатності чи питому іонізацію (кількість іонних пар, що утворюються на одиницю довжини пробігу частинки). Оскільки енергія, що затрачується в середньому на утворення однієї пари іонів w , мало залежить і від енергії пролітаючої частинки, і від сорту поглинаючої речовини (вона дорівнює приблизно 33eV) , то лінійна

густина іонізації (питома іонізація) – кількість пар іонів, що були утворені випромінюванням на одиниці шляху

$$i = \frac{dE/dx}{w} \quad (41)$$

Повна іонізація J – кількість пар іонів, які були утворені на всьому шляху випромінювання у речовині, визначається виразом

$$J = E/w. \quad (42)$$

Поглинаючу 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 з ростом енергії іонізуючих частинок, він пропорційний її масі та обернено пропорційний квадрату її заряду.

Масовий пробіг R_m - це добуток лінійного пробігу R на густину речовини, що поглинає частинки. Масовий пробіг – пробіг частинки в одиниці маси, він вимірюється в грамах на квадратний сантиметр і пов'язаний з лінійним пробігом співвідношенням:

$$R_m = \rho \cdot R$$

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

Наприклад, пробіг α -частинки в повітрі можна розрахувати за емпіричною наближеною формулою

$$R_{\alpha}^{\text{пов}} = 0.31 \cdot E^{3/2} (\text{см}) \quad (43)$$

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

$$R_m = 0.56 R^{\text{пов}} A^{1/3} \text{ (в одиницях мг/см}^2\text{)}. \quad (44)$$

Для протонів

$$R_p = (R_{\alpha} (4E) - 0.2) \text{ см } (E > 0.5 \text{ Мев}).$$

Для легких заряджених частинок не можливо ввести поняття пробігу у розумінні пробігу важких заряджених частинок.. Тому, наприклад, для електронів (тобто β -частинок) введені три величини: максимальний пробіг, середній пробіг та радіаційна довжина.

Максимальним (чи екстрапольованим) пробігом зветься мінімальна товщина шару речовини, в якій поглинаються всі електрони. Він співпадає з повним, зазвичай криволінійним шляхом, який електрон проходить у речовині. Для моноенергетичних електронів максимальний пробіг можна розрахувати за допомогою простої емпіричної формули

$$R_m = 0,526 E - 0,24, \quad (45)$$

Де енергія E береться в MeV, а R_m - в г/см².

Максимальний масовий пробіг β - частинок в алюмінії можна розрахувати за формулами

$$R_m = \begin{cases} 0.407 E_\beta^{1.38}, & (0.15 \text{ MeV} < E < 0.8 \text{ MeV}) \\ 0.542 E_\beta - 0.133, & (0.8 \text{ MeV} < E < 3 \text{ MeV}) \end{cases}$$

де E_β - максимальна енергія β -спектра виражена в MeV.

Ці формули з непоганою точністю описують пробіг і в інших речовинах, якщо втрати енергії електрона в основному іонізаційні

$$R_x = R_{Al}(Z/A)_{Al}/(Z/A)_x \text{ (г/см}^2\text{)}.$$

Пробіг моноенергетичних β -частинок у будь-якій речовині пов'язаний з пробігом у повітрі через густину повітря та речовини наближеним виразом

$$R_x/R_{пов.} = \rho_x/\rho_{пов.} \cdot R_{пов.} = 400E_\beta, \text{ см}.$$

Питомі радіаційні втрати на одиницю пройденого частинкою шляху пропорційні енергії. Коефіцієнт пропорційності має розмірність 1/см. Обернену величину цього коефіцієнта (визначимо його літерою l_o) називають радіаційною довжиною. Можна оцінити іонізаційні здатності чи питому іонізацію (кількість іонних пар, що утворюються на одиницю довжини пробігу частинки). Оскільки енергія, що затрачується в середньому на утворення однієї пари іонів w , мало залежить і від енергії пролітаючої частинки, і від сорту поглинаючої речовини (вона дорівнює приблизно 33eV), то лінійна густина іонізації (питома іонізація) – кількість пар іонів, що були утворенні випромінюванням на одиниці шляху

Лінійна передача енергії (ЛПЕ) заряджених частинок у середовищі L_Δ визначається формулою

$$L_\Delta = (dE/dl)_\Delta, \tag{46}$$

де dE – середні енергетичні втрати, що обумовлені такими зіткненнями на шляху dl , при яких передана енергія менше заданого значення Δ . При проходженні зарядженої частинки через речовину вона утрачає свою енергію в актах пружних і непружних взаємодій. У результаті частина енергії частинки витрачається на іонізацію і збудження атомів середовища, а частина — на гальмове випромінювання. В актах іонізації передається енергія, достатня для того, щоб один або кілька орбітальних електронів в атомі залишили його, здобувши деяку кінетичну енергію. Корисно виділити дві різні ситуації: а) звільнені в результаті іонізації електрони мають настільки малу кінетичну енергію, що нездатні самі зробити іонізацію; б) звільнені електрони мають енергію, достатню для подальшої іонізації середовища; деякі з цих електронів можуть отримати настільки велику початкову кінетичну енергію, що здатні утворити самостійні треки; такі електрони називаються δ -частинками. Електрони групи б) можуть, однак, мати таку енергію, що достатня лише для створення лише декількох пар іонів; у цьому випадку важко говорити про самостійний трек і вірніше

говорити про згустки невеликого числа іонів, так званих кластерах. Граничну енергію Δ , що входить у формулу (1), відносять до енергії δ -електронів. Якщо в акті зіткнення первинна заряджена частинка утворить δ -електрон з енергією більше Δ , то цю енергію не включають у значення dE , а δ -електрони з енергією більше Δ розглядають як самостійні первинні частинки. Значення Δ як вільного параметра залежить від конкретних умов. Максимальна енергія δ -частинок складає частину енергії первинної частинки, що приблизно дорівнює $4m_0M_0/(m_0 + M_0)^2$, де M_0 — маса первинної зарядженої частинки, m_0 - маса електрона. Така оцінка справедлива для важких заряджених частинок. Якщо первинною частинкою виступає електрон, максимальна енергія δ -частинок може складати лише половину його кінетичної енергії в момент зіткнення.

Поняття ЛПЕ відрізняється від поняття гальмової здатності речовини. Пояснимо цю різницю при більш детальному розгляді формування середнього значення енергетичних втрат dE . Нехай паралельний пучок моноенергетичних заряджених частинок одного виду з енергією E падає перпендикулярно на плоский поглинач (Рис. 2). Виділимо в цьому поглиначі шар Δl , досить тонкий, щоб можна було зневажити багаторазовим розсіюванням. Довільно обрана частинка, взаємодіючи з речовиною поглинача в деякій точці A , втрачає енергію ΔE і, відхилившись на кут θ , виходить із шару з енергією $E' = E - \Delta E$. Втрачена енергія ΔE у залежності від виду процесу взаємодії може бути перетворена різними шляхами. Класифікуємо можливі компоненти загубленої енергії: ΔE_A — енергія, що локалізована безпосередньо в місці взаємодії біля точки A ;

ΔE_q - енергія, що перетворена в кінетичну енергію вторинних заряджених частинок, причому $\Delta E_q \leq \Delta$, де Δ - задана гранична енергія;

ΔE_Q - енергія, що перетворена в кінетичну енергію вторинних заряджених частинок, причому

$$\Delta E_Q > \Delta$$

ΔE_γ — енергія, що перетворена в енергію фотонів.

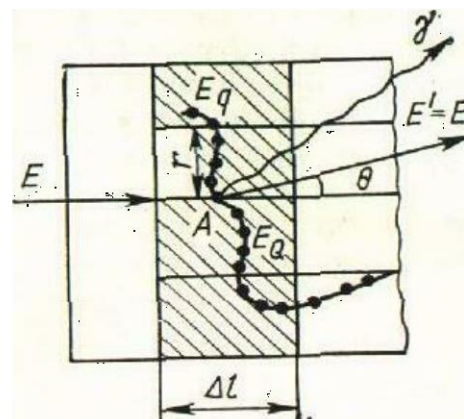


Рис.2

У силу випадкового характеру процесів взаємодії випромінювання з речовиною втрачена енергія ΔE і її розподіл по цим складовим виявляються різними для кожної первинної частинки, що входить до

складу розглянутого моноенергетичного пучка.

ЛПЕ не включає енергію, що перетворена в енергію фотонів (радіаційні втрати), і при заданому значенні граничної енергії Δ не включає кінетичну енергію таких вторинних частинок, для яких ця енергія більше Δ .

Якщо гранична енергія не обмежена, то ЛПЕ включає енергію всіх δ -електронів. В окремому випадку, коли радіаційними втратами можна зневажити, ЛПЕ збігається з гальмовою здатністю.

Лінійна передача енергії залежить від кінетичної енергії зарядженої частинки. Енергія частинки змінюється в міру проникнення її в глибоку речовину; змінюється і значення ЛПЕ. Довжина треку частинки однозначно зв'язана з її енергією, тому ЛПЕ можна зіставити як з кінетичною енергією, так і з довжиною треку іонізуючих частинок. Якщо виділити деякий об'єм середовища, що знаходиться в полі іонізуючого випромінювання, то в цей об'єм будуть входити частинки з різними значеннями ЛПЕ в залежності від того, яка частина треку частинки укладається в цьому об'ємі. Отже, можна говорити про розподіл довжини треків по ЛПЕ.

3.5 Проходження γ - випромінювання крізь речовину

Гамма-випромінювання має довжину хвилі $10^{-13} \dots 10^{-10}$ м, що відповідає частоті $3 \cdot 10^{18}$ Гц. Висока проникаюча і іонізуюча спосібність гамма-квантів пояснюється їх великою енергією, яка змінюється від 12,4 до 0,012 МеВ.

При проходженні γ -квантів крізь речовину їх енергія не змінюється, але в результаті зіткнень поступово зменшується інтенсивність пучка I . Закон ослаблення інтенсивності пучка зумовлений характерними для γ - 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

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (47)$$

де I - початкова інтенсивність, x - товщина шару речовини, μ - коефіцієнт поглинання.

Масовий коефіцієнт поглинання дорівнює

$$\mu_m = \mu / \rho, \quad (48)$$

де ρ - густина речовини.

Кожному механізму поглинання γ - квантів відповідає свій μ_i коефіцієнт поглинання

$$\mu_i = n_i \cdot \sigma_i \quad (49)$$

де n_i - кількість центрів поглинання в одиниці об'єму; σ_i - повний переріз даного процесу.

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

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu \quad (50)$$

Товщина шару десятикратного ослаблення l_{10}

$$l_{10} = \ln 10 / \mu = 2,3 / \mu \quad (51)$$

Доза іонізуючого опромінення, створювана антропогенними джерелами, невелика в порівнянні з природним фоном іонізуючого випромінювання, що досягається застосуванням засобів колективного захисту промислових джерел випромінювання. У тих випадках, коли на об'єктах економіки нормативні вимоги та правила радіаційної безпеки не соблюдаються, рівні іонізуючого впливу різко зростають.

Найпростіший спосіб захисту від гамма-випромінювання - це видалення персоналу від джерела випромінювання на досить велику відстань, тому що інтенсивність іонізації обернено пропорційна квадрату відстані.

Нормування іонізуючих випромінювань визначається характером впливу іонізуючої радіації на організм людини.

Основні принципи радіаційної безпеки реалізуються шляхом зменшення потужності джерел випромінювання до мінімальних величин (захист кількістю); скорочення часу роботи з джерелами (захист часом); збільшення відстані від джерела до працюючого персоналу

(захист відстанню); екранування джерел випромінювання матеріалами, поглинають іонізуюче випромінювання (захист екранами).

3.6 Випромінювання нейтронів, перетворення енергії нейтронів у речовині.

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 менше 0,1 MeV 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 σ 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

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (52)$$

Коефіцієнт поглинання

$$\mu = \sigma \cdot N, \quad (53)$$

де N —кількість атомів в одиниці об'єму речовини

$$N = N_A \cdot \rho / M. \quad (54)$$

Товщина шару десятикратного ослаблення

$$I_{10} = \ln 10 / \mu = 2,3 \cdot M / \sigma \cdot N_A \cdot \rho. \quad (55)$$

Лінійні втрати енергії часто вимірюють в МеВ/мкм.

Приведемо зв'язок між різноманітними одиницями енергії:

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1.602 \cdot 10^{-12} \text{ ерг.}$$

$$1 \text{ Дж} = 6.25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

$$1 \text{ ерг} = 6.25 \cdot 10^{11} \text{ eV} = 6.25 \cdot 10^5 \text{ MeV.}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.60 \cdot 10^{-6} \text{ ерг}$$

$$\text{Заряд електрона } e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 4,80 \cdot 10^{-10} \text{ одиниць СГС}$$

Процеси взаємодії нейтронів з речовиною визначаються як енергією нейтронів, так і атомним складом поглинаючої речовини. Прийнято розрізняти наступні групи нейтронів у залежності від їхньої енергії:

- *ультрахолодні* нейтрони - нейтрони з енергією менш 10^{-7} eV;
- *холодні* нейтрони - нейтрони з енергією менш $5 \cdot 10^{-3}$ eV;
- *теплові* нейтрони - нейтрони, що знаходяться в термічній термодинамічній рівновазі з атомами навколишнього середовища, з найбільш ймовірною енергією таких нейтронів при кімнатній температурі 0,025 eV;
- *надтеплові* нейтрони - нейтрони, найменше значення енергії яких при нормальній температурі знаходиться в інтервалі 0,1—0,2 eV .
- *проміжні* нейтрони — нейтрони від енергетичної границі надтеплових нейтронів до 200 keV;
- *швидкі* нейтрони — нейтрони з енергіями від 200 keV до 20 MeV;
- *надшвидкі* нейтрони - нейтрони з енергією більш 20 MeV;
- *підкадмієві* нейтрони — нейтрони з енергією менш ефективною граничної енергії для кадмію, що використовується для екранування від теплових нейтронів;
- *надкадмієві* нейтрони — нейтрони з енергією більш ефективною енергії для кадмію;
- *нейтрони перехідної області* — в енергетичному інтервалі від нижньої енергетичної границі надтеплових нейтронів до границі, вище якої починається енергетичний розподіл щільності потоку нейтронів за законом Фермі.

Зручно об'єднати нейтрони перехідної області і теплові нейтрони в одну групу; ці нейтрони називаються *повільними*. Перетворення енергії

нейтронів відбувається в елементарних актах взаємодії з ядрами атомів поглинаючої речовини. При взаємодії нейтронів з ядрами можуть спостерігатися: пружне розсіювання, непружне розсіювання, радіаційне захоплення, розщеплення з вильотом заряджених частинок, поділ ядер. Імовірність того чи іншого процесу залежить як від енергії нейтронів, так і від виду ядер, з якими вони взаємодіють,

У процесі пружного розсіювання нейтрон змінює свій напрямок, а частина його кінетичної енергії передається ядру віддачі. При непружному розсіюванні ядро віддачі виявляється в збудженому стані, з якого воно переходить у нормальний стан, випускаючи γ -квант. Цей процес має практичне значення тільки для швидких нейтронів. В елементарному акті пружного розсіювання ядро віддачі одержує енергію

$$E_{\text{яд}} = 4MmE_0 \cos^2 \theta / (M+m)^2 \quad (56)$$

де M — маса ядра; m — маса нейтрона; θ — кут між первісним напрямком нейтрона і напрямком руху ядра віддачі в лабораторній системі координат; E_0 — початкова енергія нейтрона.

Радіаційне захоплення - характерний вид взаємодії теплових нейтронів - полягає в захопленні ядром нейтрона з випусканням γ -кванта. γ -випромінювання при радіаційному захопленні має енергію порядку мільйона електрон-вольт. Радіаційне захоплення може відбуватися на ядрах майже усіх елементів.

Радіаційне захоплення і ядерні перетворення з вильотом заряджених частинок приводять до того, що енергія взаємодіючого нейтрона цілком перетворюється в енергію вторинного випромінювання. У процесі розсіювання (пружного і непружного) тільки частина енергії первинного нейтрона перетворюється в енергію вторинного випромінювання.

Заряджені частинки і ядра віддачі, що утворюються при взаємодії нейтронів, легко поглинаються середовищем. γ -кванти, що утворюються при радіаційному захопленні, навпаки, легко проникають через речовину і можуть вийти з поглинаючого середовища без істотного ослаблення. Розсіяні нейтрони в залежності від умов опромінення також можуть вийти з обмеженої області поглинача, не цілком розтративши свою енергію. Тканинна доза нейтронів обумовлена поглиненою енергією вторинного випромінювання, що виникає при взаємодії нейтронів із тканиною організму. Значимість тих чи інших процесів взаємодії нейтронів визначається складом тканини. Приблизно хімічний склад м'якої живої тканини можна визначити формулою уявлюваної тканинної молекули $(C_5H_{40}O_{18}N)_x$. Для живої тканини характерно, що вона складається в основному з легких елементів. Перевага того чи іншого з перерахованих раніше процесів взаємодії нейтронів з речовиною визначеного хімічного складу цілком визначається енергією нейтронів.

Розглянемо поглинену в тканині дозу нейтронів різних енергетичних груп. **Повільні нейтрони** з енергіями від теплових до 1 кеВ. Для легких ядер основним видом взаємодії цієї групи нейтронів є пружне

розсіювання. Перетворення енергії повільних нейтронів у живій тканині відбувається в результаті пружного розсіювання. Ядра віддачі, що виникають у тканині при пружному розсіюванні повільних нейтронів, здебільшого мають енергію, недостатню для іонізації, і їхній внесок у біологічний ефект передбачається незначним.

Теплові нейтрони, що утворилися в результаті уповільнення більш енергетичних нейтронів, потрапляють в тканину ззовні, захоплюються ядрами елементів тканини з утворенням нових ізотопів. Виникаючі при радіаційному захопленні γ -кванти з енергією 2,23 MeV, взаємодіючи з тканиною, дають істотний внесок у дозу. Розподіл дози, обумовленої γ -квантами, по глибині тканини визначається просторовим розподілом теплових нейтронів і характером взаємодії γ -випромінювання з тканиною організму. У реакції на азоті утворюються протони з енергією 0,62 MeV і радіоактивний вуглець. Протони мають у тканині малий пробіг і практично поглинаються в місці свого виникнення. Крім зазначених основних реакцій, характерних для взаємодії теплових нейтронів з ядрами азоту і водню, йдуть реакції і на інших елементах, що входять до складу тканини. Серед них можна назвати радіаційне захоплення, що супроводжується випускненням γ -квантів з енергією близько 0,73 MeV. Так, реакція на фосфорі збільшує дозу в кістковій тканині. У цілому додаткові реакції ненабагато збільшують дозу. Як уже відзначалося, основний процес взаємодії повільних нейтронів із тканиною - пружне розсіювання, однак вирішальне значення в біологічній дії нейтронів цієї групи приписується вторинному випромінюванню, що виникає в реакціях захоплення теплових нейтронів.

Нейтрони проміжних енергій. Типова взаємодія нейтронів цього діапазону енергії - пружне розсіювання. Виникаючі при цьому ядра віддачі, особливо протони, здатні робити іонізацію середовища. Істотне значення мають також реакції захоплення нейтронів, що сповільнилися. Характерною рисою взаємодії нейтронів проміжних енергій є наявність резонансних піків перерізу розсіювання па ядрах.

3.7 Дози випромінювання

Поглинена доза випромінювання. Основною фізичною величиною в дозиметрії для дії іонізуючого випромінювання, є поглинена доза, **чи** просто доза випромінювання. *Поглинена доза випромінювання— це поглинена енергія випромінювання, що розрахована на одиницю маси опроміненої речовини.* Якщо в елементі об'єму, що містить масу речовини dm , середня поглинена дорівнює dE , доза випромінювання D визначається формулою

$$D = dE / dm. \quad (57)$$

Одиниця виміру в системі СІ - Грей, Гр.

Доза D характеризує фактично поглинену енергію в деякому об'ємі

речовини як за рахунок тих заряджених частинок, що утворилися в межах цього об'єму в результаті взаємодії первинного побічно іонізуючого випромінювання з речовиною, так і за рахунок заряджених частинок, що прийшли ззовні.

Доза випромінювання залежить від часу опромінення; з часом доза накопичується, зміна дози в одиницю часу називається потужністю дози. Потужність дози дорівнює

$$P = dD / dt \quad (58)$$

де dD – зміна дози за час dt .

Доза заряджених моноенергетичних частинок, ЛПЕ яких дорівнює L , визначається формулою

$$D = \Phi L_m$$

де Φ - флюенс частинок, а L_m виражене в масових одиницях.

Встановлена в системі СІ одиниця дози іонізуючого випромінювання (поглинена доза) — грей, її позначення Гр— по імені англійського вченого С. Грея, що зробив великий внесок у становлення радіаційної дозиметрії. Один грей дорівнює поглиненій дозі випромінювання, при якій речовині масою 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання 1 Дж. У практиці і науковій літературі поширена позасистемна одиниця дози випромінювання рад: $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$.

Експозиційна доза. Студентам слід усвідомлювати різницю між поняттями поглиненої і експозиційної дози.

Експозиційна доза X - специфічна величина в дозиметрії, що уведена для фотонного випромінювання. Вона дорівнює абсолютному значенню повного заряду іонів одного знака, що утворюються в повітрі при повному гальмуванні електронів і позитронів в одиниці маси повітря.

$$X = dQ/dm,$$

де dQ — сумарний заряд всіх іонів одного знака, створених у повітрі при повному гальмуванні електронів і позитронів, звільнених фотонним випромінюванням у масі повітря dm . Важливо зрозуміти, що заряд dQ включає заряд всіх іонів одного знака, створених у результаті повного використання кінетичної енергії електронів і позитронів у повітрі незалежно від місця утворення цих іонів; мається на увазі, що ці іони створені тільки тими електронами і позитронами, що виникли в масі повітря dm ; e – заряд одного іона; W – середня втрата енергії електронів на утворення однієї пари іонів у повітрі.

Встановлена в системі СІ одиниця експозиційної дози - кулон на кілограм, Кл/кг. Кулон на кілограм дорівнює експозиційній дозі, при якій всі електрони і позитрони, звільнені фотонами в повітрі масою 1 кг, утворюють іони, що несуть електричний заряд 1 Кл кожного знака. У

практиці і науковій літературі поширена позасистемна одиниця експозиційної дози - рентген, позначення Р.

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг (точно);}$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р (приблизно).}$$

Еквівалентна доза. Слід уявляти, що результат впливу випромінювання на об'єкт визначається не тільки поглиненою енергією, але і характером розподілу цієї енергії в об'єкті, що опромінюється, розподілом опромінення за часом, видом випромінювання й іншими факторами. Зокрема, біологічний ефект опромінення за інших рівних умов є різним для різних видів випромінювання. Більш того, навіть частинки однієї природи, але різних енергій можуть викликати неоднаковий ефект при одній і тій же поглиненій дозі. Згідно сучасних уявлень про біологічну дію іонізуючих випромінювань визначальну роль грає іонізація живої тканини. Головне розходження для різних видів випромінювань полягає в тому, що різні види випромінювань створюють іони з неоднаковим просторовим розподілом. Наприклад, важкі заряджені частинки створюють більш щільну доріжку іонів, ніж легкі; різними виявляються діапазони енергій, переданих δ - частинкам, що по-своєму впливають на просторовий розподіл іонів. Таким чином, представляється доцільним визначити деяку фізичну величину, що враховувала б просторовий розподіл переданої енергії. Такою величиною при деякому наближенні може служити лінійна передача енергії – ЛПЕ. Якщо для двох різних видів частинок ЛПЕ однакова, то просторовий розподіл переданої ними енергії буде більш ідентичним, ніж якби ЛПЕ була різною. ЛПЕ, таким чином, виступає як характеристика якості випромінювання. *Під якістю в даному випадку ми розуміємо таку характеристику випромінювання, що має те саме значення в різних видах випромінювання, якщо при однакових умовах опромінення даного об'єкта й однакою дозі спостерігається той самий радіаційний ефект.* Іншими словами, радіаційна дія випромінювань однакової якості, у тому числі випромінювань різних видів, повинна бути однаковою при рівних дозах. В багатьох випадках ЛПЕ є зручною характеристикою якості випромінювання.

Для порівняння біологічних ефектів, що викликають різні види випромінювання, введено поняття відносної біологічної ефективності (ВБЕ).

Відносна біологічна ефективність випромінювання — це відношення поглиненої дози зразкового випромінювання, що викликає певний біологічний ефект, до поглиненої дози даного випромінювання, що викликає той же біологічний ефект:

$$\eta = D_0/D_x$$

де η - ВБЕ; D_0 і D_x - дози відповідно зразкового і даного випромінювань, при яких спостерігається той самий біологічний ефект.

У якості зразкового випромінювання приймають рентгенівське випромінювання з граничною енергією фотонів 200 кеВ; для зразкового випромінювання $\eta = 1$; коефіцієнт η беруть рівним одиниці ($\eta = 1$) для

фотонів будь-яких енергій. ВБЕ залежить від виду випромінювання, його енергії, біологічної реакції, що спостерігається, розподілу випромінювання за часом, індивідуальних особливостей біологічного об'єкта й інших факторів, частина яких ще недостатньо добре вивчена. Особливу значимість має залежність ВБЕ від ЛПЕ. На рис.3 показана залежність ВБЕ від ЛПЕ, що отримана в радіобіологічних експериментах. Крива 1 відповідає складним біологічним системам, для яких спостерігається максимум ВБЕ при значенні ЛПЕ близько 100 кеВ/мкм. Крива 2 типова для інактивації деяких бактерій і вірусів. Починаючи з деяких значень ЛПЕ крива падає, не виявляючи максимумів чи мінімумів.

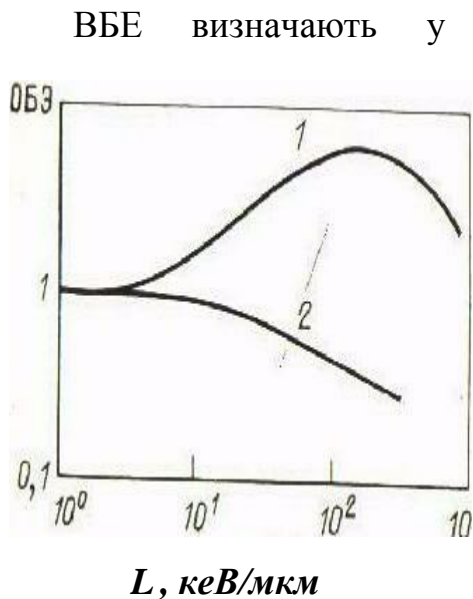


Рис.3 Залежність ВБЕ від ЛПЕ

ВБЕ визначають у конкретних умовах радіобіологічного експерименту. Підсумовуючи й аналізуючи дані по ВБЕ, можна скласти уявлення про відносну радіаційну небезпеку для людини різних видів випромінювань. Дані по ВБЕ, що отримані в радіобіологічних дослідженнях, є основою для встановлення гранично допустимих рівнів опромінення.

З метою протирадіаційного захисту використовують, однак, не конкретне значення отриманої в експерименті ВБЕ, а так званий **коефіцієнт якості випромінювання**. Крім чисельних значень коефіцієнта якості для різних видів випромінювань встановлюється залежність коефіцієнта якості від ЛПЕ випромінювання. За основу приймається крива виду 1 на рис.2. Коефіцієнт якості - це залежний від ЛПЕ коефіцієнт, на який треба помножити поглинену дозу, щоб для цілей протирадіаційного захисту біологічний ефект опромінення людей виражався однією мірою незалежно від виду випромінювання. Добуток поглиненої дози D на середній коефіцієнт якості іонізуючого випромінювання K у даному елементі об'єму біологічної тканини утворює *еквівалентну дозу* іонізуючого випромінювань H :

$$H = kD. \quad (59)$$

Для змішаного випромінювання еквівалентна доза може визначатися як сума добутків значень D_i , поглиненої дози окремих видів випромінювань на відповідні значення коефіцієнта якості для цих доз випромінювань:

$$H = \sum k_i D_i.$$

Коефіцієнт якості - це регламентована величина ВБЕ, що встановлюється спеціальними науковими комісіями на підставі медичних і радіобіологічних даних. Звідси випливає, що в міру накопичування й

уточнення даних по біологічній дії випромінювань коефіцієнти якості для різних видів випромінювань можуть бути переглянуті. Коефіцієнти якості в Радянському Союзі були узаконені нормами радіаційної безпеки (НРБ - 86). В даний час на Україні діють інші норми. Це норми НРБУ-97. У порівнянні з попередніми НРБ-76/87 у НРБУ-97 уведені сучасна концепція еквівалентної і ефективної дози. В НРБУ-97 коефіцієнт якості називається радіаційним зважуючим фактором.

Радіаційний зважуючий фактор - коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту якості k , що враховує відносну біологічну ефективність різних видів іонізуючого випромінювання.

Таблиця - Значення радіаційних факторів, (w_R)

Вид випромінювання	w_R
Фотони, всі енергії	1
Електрони і мюони, всі енергії	1
Протони з енергією > 2 МэВ	5
Нейтрони з енергією < 10 кеВ	5
з енергією 10-100 кеВ	10
з енергією від 100 кеВ до 2 МеВ	20
з енергією 2-20 МеВ	10
з енергією > 20 МеВ	5
Альфа – випромінювання, важкі ядра віддачі	20

Доза еквівалентна 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.

Доза ефективна (E). Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ) як міру радіаційного впливу на живий організм ввела ефективну дозу E , яка є сумою добутків 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 Т-м органі чи тканині організму; w_T - зважуючий коефіцієнт; w_T визначає внесок даного чи органа чи тканини в ризик несприятливих стохастичних ефектів для організму в цілому при

рівномірному його опроміненні.

Числові значення зважуючих коефіцієнтів встановлюються на основі коефіцієнтів ризику, що у свою чергу виводяться з даних радіобіологічних і медичних досліджень. Використання поняття ефективної дози допускається при значеннях еквівалентних доз в області значень нижче порога виникнення детерміністичних ефектів.

Тканевий фактор w_r - коефіцієнт, що характеризує відносний стохастичний ризик опромінення окремої тканини. Використовується винятково при розрахунку ефективної доз.

Таблиця - Значення тканиневих факторів, (w_r)

Тканина чи орган	w_r	Тканина чи орган	w_r
Гонади	0.20	Молочна залоза	0.05
Кістний мозок (червоний)	0.12	Печінка	0.05
Товста кишка	0.12	Стравохід	0.05
Легені	0.12	Щитовидна залоза	0.05
Шлунок	0.12	Шкіра	0.01
Сечовий міхур	0.05	Поверхня кисти	0.01
		Інші органи	0.05

Коллективна доза. Еквівалентна доза встановлює відповідність між поглиненою дозою випромінювання й очікуваним біологічним ефектом для даної людини; іншими словами, вона є мірою біологічної дії індивідуальної дози, отриманої конкретними особами. Однак у випадку опромінення великих груп людей корисно давати оцінку сумарного ефекту, що очікується. На практиці потрібно враховувати опромінення великих груп людей і усього населення як від природних джерел, так і від джерел, створених людиною. Прикладом може служити медичне опромінення. Додаток до природного радіаційного фону, що обумовлена діяльністю людей, невелика, і практично важливо враховувати вплив малого рівня опромінення на великі групи населення. При опроміненні малими дозами, що незначно перевищують природний радіаційний фон, можна чекати лише віддалених наслідків генетичної чи соматичної природи; соматичні ефекти виявляються безпосередньо у опромінених осіб, генетичні - в наступних поколіннях. Особливість віддалених наслідків опромінення полягає в тому, що вони носять стохастичний характер і можуть бути виявлені лише статистичними методами на популяційному рівні. Розмір наслідку опромінення в цьому випадку визначається не тільки індивідуальною дозою, але і числом опромінених осіб. Нехай серед деякої групи опромінених осіб $N(D)$ dD є число осіб, що одержали дозу в інтервалі від D до $D+dD$. Тоді величина D_S являє

собою колективну дозу

$$D_s = \int_0^{\infty} DN(D)dD$$

4. ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВРАХУВАННЯМ ЗАХИСТУ ВІД ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Розділ 3-й – аналітичний, містить завдання для виконання розрахункової частини проекту. Варіант завдання відповідає темі курсового проекту.

Завдання для виконання третього розділу курсового проекту наведені у даному розділі у таблицях 4.1 - 4.8

4.1 Розрахунки взаємодії випромінювання з речовиною та оцінки екологічної безпеки

У третьому розділі курсового проекту проводиться аналіз отриманих даних та вибір найбільш доцільного варіанту дій.

Проведенню аналізу небезпечних випромінювань студентам допоможуть відповіді на питання, що наведені в завданнях даних методичних вказівок.

У таблиці 4.1 дається відповідність номерів завдань виду небезпечного енергетичного випромінювання

Під оцінкою безпеки розуміють аналіз отриманих результатів та вибір найбільш доцільного варіанту дій, при якому люди отримають найменшу дозу опромінення.

Аналіз результатів та вибір найбільш доцільного варіанту дій студенти роблять за даними розрахунків в завданнях таблиць 4.2 - 4.8

Для того, щоб спрогнозувати ступінь небезпеки і вжити певних мір захисту населення (виробничого персоналу об'єкту), необхідно виявити та оцінити екологічну обстановку (ЕО).

Третій розділ курсового проекту стосується проведення експертної оцінки по екологічній обстановці за допомогою нормативних та законодавчих актів 1) Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97, 2) Основні санітарні правила протирадіаційного захисту населення України ОСПУ, 3) Санітарні правила поводження з радіоактивними відходами).

Висновки стосовно стану навколишнього середовища стосуються визначень розмірів прогнозованих зон зараження в залежності від категорії стійкості атмосфери (інверсія, ізотермія, конвекція), а також швидкості переносу радіоактивної хмари у напрямку вітру, або швидкості міграції радіонуклідів, наприклад, з потоком води у річці.

Таблиця 4.1

№	Вид небезпечного випромінювання	Номера завдань
1	Заряджені частинки ядерного випромінювання	1 – 2, 9
2	Рентгенівське та гамма випромінювання	3 – 4
3	Нейтронне випромінювання	5 – 6, 10
4	Механічні і акустичні коливання. Звукові випромінювання	11, 13
5	Теплові випромінювання	12
6	Електромагнітні випромінювання	7 – 8, 14

4.2 Завдання для виконання курсового проекту

Завдання 1

Першим завданням курсового проекту є визначення пробігу та енергії заряджених частинок у речовині.

Проходження бета-частинок через речовину супроводжується пружними і непружними співудараннями бета-частинок з ядрами і електронами середовища.

Пружне розсіяння на ядрах здійснюється при відносно низьких енергіях ($E < 0,5$ MeV) бета-частинок. При енергії бета-частинок більше енергії зв'язку електронів і до 1 MeV основним механізмом втрат енергії є непружне розсіяння на зв'язаних електронах, що веде до іонізації і збудження атомів речовини.

При великих енергіях бета-частинок головним механізмом втрат енергії є гальмове випромінювання у полі ядер речовини. Цей внесок зростає з збільшенням енергії бета-випромінювання. Внаслідок відносно малої маси бета-частинки при кожному її зіткненні з електронами речовини відбувається суттєве змінення її імпульсу, а це в свою чергу веде до того, що бета-частинка, по-перше, може суттєво змінювати напрямок свого руху, а по-друге, може породжувати кванти електромагнітного випромінювання. Перший ефект виявляється в тому, що бета-частинка в речовині рухається не по прямій; а за рахунок другого ефекту відбуваються чималі радіаційні втрати, тобто втрати енергії на електромагнітне випромінювання.

Внаслідок цих механізмів інтенсивність бета-випромінювання зменшується з зростанням товщини шару речовини.

Проходячи через речовину, пучок бета-частинок поступово ослаблюється і повністю поглинається шаром речовини певної товщини.

Величина коефіцієнта поглинання μ зменшується зі збільшенням енергії бета-випромінювання і приблизно пропорційна густині поглинаючої речовини. Відношення коефіцієнта поглинання до густини μ/ρ (масовий коефіцієнт поглинання) повільно росте зі збільшенням відношення зарядового числа до масового Z/A .

Для речовин, що несильно відрізняються за своїм складом, μ/ρ практично постійна для даного бета-випромінювання. Тому, виражаючи товщину поглинаючого шару через масу, яка припадає на одиницю площі, отримуємо єдину криву поглинання бета-випромінювання, що випускається радіоактивним ізотопом, для різних речовин.

Між енергією випромінювання і коефіцієнтом поглинання існує певна залежність, маючи яку можна знайти енергію випромінювання. З цією метою користуються емпіричними формулами і графіками, що виражають максимальну енергію бета-випромінювання як функцію масового коефіцієнта поглинання μ/ρ чи товщини $X_{1/2}$ шару напівпоглинання.

Для визначення μ/ρ чи $X_{1/2}$ спостерігають зменшення інтенсивності випромінювання в міру збільшення шару речовини, що поміщається між джерелом випромінювання і детектором вимірювального приладу.

Результати вимірів наносять на напівлогарифмічний графік (рис.4). По осі абсцис відкладають товщину шару, а по осі ординат – логарифм інтенсивності випромінювання. Для інтервалу зміни активності, рівному 2-3 порядкам, виходить близька до прямої лінія, тангенс кута нахилу якої відповідає коефіцієнту поглинання випромінювання. З графіка можна знайти значення величин μ/ρ і $X_{1/2}$.

Якщо потік бета-частинок I_0 , падає на плоску пластинку завтовшки x , то потік частинок I , що пройшли через пластинку (поглинач), буде залежати від енергії частинок, товщини поглинача x і від атомного номера Z речовини – матеріалу плакстинки :

$$I = I_0 f(E_{\max}, x, Z).$$

При значній товщині поглинача всі бета-частинки цілком затримуються. Мінімальна товщина поглинача, цілком затримуючого бета-частинки даного ізотопу, являє собою пробіг R бета-частинки. Пробіг є функцією максимальної енергії бета-спектра: $R = f(E_{\max})$. Зазвичай за пробіг R приймають товщину поглинача, що послабляє початковий потік на 3-4 порядку. Визначений таким способом пробіг R зветься практичним пробігом. Величину пробігу можна визначити по емпіричній залежності

$$\frac{I}{I_0} = \lg \left[\frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{x}{R} \right)^4 \right], \quad (60)$$

яка з найбільшою точністю відповідає експериментам при товщинах поглиначів, не перевищуючих $(0,6-0,7)R$, і справедлива для широкого інтервалу енергій частинок.

Для визначення пробігів по поглинанню бета-частинок зручно користатися функцією:

$$\Phi\left(\frac{I}{I_0}\right) = \left(\frac{4}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{I}{I_0}\right)^{\frac{1}{4}} = 1 - \frac{1}{R} x. \quad (61)$$

В області значень x , при яких ця функція справедлива, графік залежності $1 - \Phi(I/I_0)$ від x являє собою пряму лінію, котангенс кута нахилу якої дорівнює

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta \left[1 - \Phi\left(\frac{I}{I_0}\right) \right]} = R \quad (62)$$

Енергетичний розподіл частинок, що пройшли через поглинач, буде значно відрізнятись від спектра енергій бета-частинок, що випускаються даним ізотопом.

Для знаходження максимальної енергії бета-випромінювання по його поглинанню можна користуватися графіками, що наведені на рис.4.

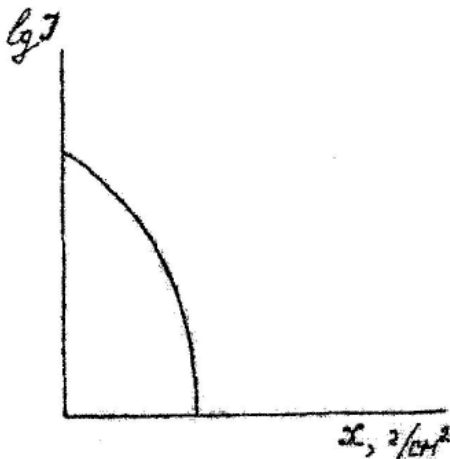


Рис.2

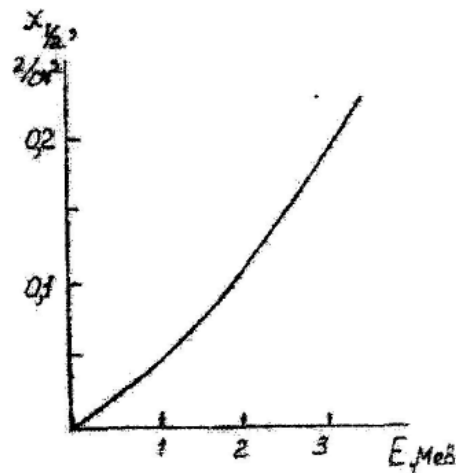


Рис.3

Рис.4

Для визначення коефіцієнту поглинання потрібно вимірити товщину x пластинки, що поглинає випромінювання,

Для двох пластинок речовини товщиною x_1 і x_2 коефіцієнт поглинання бета-частинок:

$$K = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{x_2 - x_1},$$

де N_1 і N_2 - відповідно кількість частинок, що проходять через шар речовини товщиною x_1 і x_2 .

Порядок виконання завдання 1:

1. Знайти величину кінетичної енергії електронів, при якій у свинці йонізаційні та радіаційні втрати однакові..
2. Знайти товщину шару половинного поглинення β -частинок із знайденим значенням енергії у свинці.
3. Визначити радіаційну довжину електрона з енергією 0,8 MeV у повітрі при нормальних умовах.
4. При проходженні шару деякої речовини товщиною 0.40 см енергія швидких електронів зменшилась у середньому на 25%. Знайти радіаційну довжину електрона, якщо відомо, що втрати енергії електрона при цьому в основному радіаційні.
5. Оцінити початкову енергію електронів, якщо після проходження свинцевої пластинки завтовшки 5.0 мм їх енергія дорівнює 42 MeV.

Порядок виконання завдання 2 - 10:

У завданні 2 вибрати та розв'язати 3 задачі з номером, у якому остання цифра співпадає з останньою цифрою номера залікової книжки.

У завданнях 3-10 вибрати розв'язати по одній задачі варіанту з номером, що співпадає з останньою цифрою номера залікової книжки.

Завдання 2

- 2.1. Визначити йонізаційні втрати енергії електрона з кінетичною енергією 8.5 MeV у повітрі при нормальних умовах.
- 2.2. Визначити відношення йонізаційних втрат енергії електрона з кінетичними енергіями 1.0 MeV у повітрі;
- 2.3 Знайти за допомогою емпіричних формул кількість пар іонів, які утворює електрон з початковою кінетичною енергією 0.5 MeV на першому сантиметрі свого шляху в повітрі.
- 2.4. Визначити відношення йонізаційних втрат енергії електрона та протона, що рухаються зі швидкістю $5 \cdot 10^7$ м/с у повітрі.
- 2.5. У скільки разів радіаційні втрати енергії у свинці більші, ніж в алюмінії: а) при однакових енергіях; б) при однакових швидкостях.
- 2.6. Визначити лінійні втрати енергії електрона з кінетичною енергією 0,8 MeV у алюмінії.
- 2.7. Оцінити кінетичну енергію електронів, при якій радіаційні витрати в алюмінії дорівнюють йонізаційним.
- 2.8. Визначити число пар йонів, що утворює електрон з початковою кінетичною енергією 2,5 MeV на 1 см шляху.
- 2.9. Визначити йонізаційні втрати енергії електрона з кінетичною енергією 4,0 MeV на одиницю шляху в азоті при нормальних умовах.
- 2.10. Визначити радіаційні втрати енергії електрона з кінетичною енергією 5 MeV на одиницю шляху в алюмінії.
- 2.11. Визначити довжину пробігу електронів у свинці, якщо їх енергія дорівнює 1 MeV.

- 2.12. Визначити середній пробіг електрона у свинці, якщо її енергія відповідає пробігу 1 мкм в алюмінії.
- 2.13. Знайти кінетичну енергію електрона, середній пробіг якої у залізі дорівнює 11.0 мкм.
- 2.14. Визначити довжину пробігу електрона з енергією 1,2 MeV у воді.
- 2.15. Визначити пробіг протону у свинці, якщо його початкова кінетична енергія 1 MeV.
- 2.16. Визначити радіаційну довжину електрона з енергією 0,8 MeV у повітрі при нормальних умовах.
- 2.17. Скільки йонізаційних пар утворює електрон з енергією 3 MeV у повітрі на 1 см пробігу
- 2.18. Знайдіть довжину пробігу електрона з енергією 40,0 KeV для води.
- 2.19. Визначити пробіг електрона з енергією 21,0 KeV у повітрі.
- 2.20. Визначити кінетичну енергію електронів, якщо у свинці їх пробіг дорівнює 10 мкм.
- 2.21. Визначити йонізаційні втрати енергії електронів на 1 см шляху у алюмінії, якщо , якщо їх енергія дорівнює 0,5 MeV.
- 2.22. Визначити лінійну втрату енергії у повітрі для електронів з енергією 0.1 MeV .
- 2.23. Дати оцінку кінетичної енергії електронів, при якій у свинці йонізаційні та радіаційні втрати однакові..
- 2.24. Знайти товщину шару половинного поглинення β -частинок з енергією 0.3 MeV у свинці.
- 2.25. Знайти товщину шару половинного поглинення β -частинок з енергією 0.1 MeV у воді.
- 2.26. Знайти радіаційну довжину для електрона з енергією 0.5 MeV у воді.
- 2.27. Визначити радіаційну довжину електрона з енергією 0,8 MeV у повітрі при нормальних умовах.
- 2.28. При проходженні шару деякої речовини товщиною 0.40 см енергія швидких електронів зменшилась у середньому на 25%. Знайти радіаційну довжину електрона, якщо відомо, що втрати енергії електрона при цьому в основному радіаційні.
- 2.29. Оцінити початкову енергію електронів, якщо після проходження свинцевої пластинки завтовшки 5.0 мм енергія електронів у середньому дорівнює 42 MeV.
- 2.30. . Скільки йонізаційних пар утворює електрон з енергією 3 MeV у повітрі на 1 см пробігу

Завдання 3.

Знайти лінійний μ та масовий μ_m - коефіцієнти поглинання речовиною рентгенівського випромінювання з енергією E . Знайти для якої довжини хвилі рентгенівських променів отримані значення енергії E , що

наведені в таблиці 4.2. У таблиці 4.2 наведені також густина речовини ρ , кг/м^3 і товщина шару $\chi_{1/2}$ половинного ослаблення променів.

Таблиця 4.2

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	Fe	Al	Pb	H ₂ O	Al	Pb	Повітря	Sn	Cu	C (графіт)
Густина $\rho, 10^3 \text{кг/м}^3$	7,9	2,6	11,3	1	2,6	11,3	1,29 · 10 ⁻³	7,3	8,9	2,3
$\chi_{1/2}, 10^{-2} \text{м}$	1,56	4,4	0,87	10,2	6,93	1,46	8700	1,8	1,4	4,9
E, MeV	1	1	1	1	2,5	2,5	1	1	1	1

Завдання 4

Визначити товщину шару половинного ослаблення $\chi_{1/2}$ і товщину шару десятикратного ослаблення γ - випромінювання з енергією E (таблиця 4.3) при заданих значеннях лінійного коефіцієнта поглинання μ .

Таблиця 4.3

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	Al	C (графіт)	Cu	Fe	Pb	Al	Pb	H ₂ O	Fe	Бетон $\rho=2,3 \text{т/м}^3$
$\mu, \text{м}^{-1}$	16	14,2	49,5	44	80	10	47	4,0	28	8,3
E, MeV	1	1	1	1	1	2,5	2,5	3	3	3

Завдання 5

Знайти лінійний μ і масовий μ_m коефіцієнти поглинання речовиною пучка теплових нейтронів за даними значеннями товщини шару десятикратного послаблення l_{10} (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	Cd	B	Li	Fe	H ₂ O	Pb	Cu	Sn	Al	C (графіт)
$l_{10}, 10^{-2} \text{м}$	0,02	0,023	0,8	3,4	6,7	3,0	2,26	15,4	24	5,0

Завдання 6

Розрахувати коефіцієнт поглинання і товщину шару половинного ослаблення пучка теплових і швидких нейтронів за даними значеннями повного перерізу процесу поглинання нейтронів σ (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Речовина	C (графіт)	Fe	Cd	B	Al	Cu	Si	Pb	Sn	Ag
Густина $\rho, 10^3 \text{кг/м}^3$	2,3	7,9	8,6	2,3	2,7	9,0	2,4	11,3	7,3	10,5
Теплові нейтрони σ , барн	3,83	8,5	4500	600	1,6	11,9	2,5	12,5	4,0	3560
Швидкі нейтрони σ' , барн	1,9	3,2	4,1	2,2	2,1	2,9	2,0	6,7	3,6	430

Завдання 7

Визначити ефективну еквівалентну дозу і потужність дози γ - випромінювання з енергією квантів ~ 200 кеВ, якщо вимірена в повітрі експозиційна доза досягає величини D_T , а час перебування в зоні випромінювання дорівнює t . Значення D_T і t наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_T , Рентген	50	50	50	100	100	100	150	150	150	200
t , годин	20	15	10	20	15	10	30	20	10	20

Завдання 8

В результаті аварійного викиду цезія Cs^{137} молоко стало забрудненим до значень об'ємної активності A_v . Розрахувати річну еквівалентну дозу H_T на організм людини, якщо добовий об'єм споживання молока $V = 0,5$ л на добу і об'ємна активність молока зберігається на протязі року. Границю річного приходу радіонуклідів вважати рівною $7,1 \cdot 10^4$ Бк/год. В парних варіантах вважати, що $A_v = 300$ Бк/л, в непарних варіантах - $A_v = 400$ Бк/л.

Завдання 9

Визначити еквівалентну дозу та потужність дози для дорослих та дітей, якщо в атмосферному повітрі зареєстрована об'ємна активність A_v . Час перебування в зоні випромінювання - t , годин (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7.

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_v , Бк/м ³	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
t , годин	10	10	5	5	5	5	5	5	10	10

Завдання 10

Річний викид ізотопу I^{131} в атмосферу складає Q , Бк. Розрахувати річну еквівалентну дозу H_T на щитовидну залозу дорослих та дітей при заданому коефіцієнті метеорологічного розбавлення G . Дозовий коефіцієнт для дорослих вважати рівним $B_{ih} = 2,9 \cdot 10^{-7}$ Зв/Бк, для дітей - $B_{ih} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ Зв/Бк.

Таблиця 4.8

Варіант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, 10^{11}$ Бк	5	6	8	10	10	15	15	17	20	20
$G, 10^{-8}$ с/м ³	2	5	5	5	8	2	5	8	2	5

Завдання 11

Для механічних і акустичних коливань та звукових випромінювань оцінити по формулах 1 – 10 ступінь захисту, динамічний коефіцієнт захисту K_x та енергетичний коефіцієнт захисту, де K_x рівний відношенню амплітуди зміщення джерела до амплітуди зміщення приймача.

Завдання 12

Знайти частоту для короткохвильового інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі від 0,76 до 1,4 мкм

Завдання 13

По формулах 11 - 20 знайти інтенсивність звуку та коефіцієнт звукопоглинання вітродвигунів потужністю 10 - 100 МВт.

Завдання 14

Оцінити напруженість поля електромагнітних випромінювань радіочастот ($10^{-4} \dots 10^7$ м) при заданих значеннях потужності.

4.3 Приклади розв'язання задач до завдань 8 - 10

Задача 4.3.1 (для завдань 8 - 10)

Визначити еквівалентну дозу для дорослих і дітей, якщо в атмосферному повітрі була зареєстрована об'ємна активність 100 Бк/м^3 . Час перебування в зоні дорівнює 1 добу.

Розв'язання:

Дозовий коефіцієнт розраховується за формулою (63)

$$V_i = \text{ГД/ГДР} \quad (63)$$

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

Таким чином, дозовий коефіцієнт, що визначається за формулою (63) для повітря

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

Швидкість споживання повітря V - це середня швидкість дихання. Для дорослих її вважають рівною $23 \text{ м}^3/\text{добу}$; для дітей - $13 \text{ м}^3/\text{добу}$, або $8,4 \cdot 10^3$ і $5,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{рік}$ відповідно.

Еквівалентна доза розраховується за формулою (64).

Для дорослих вона дорівнює

$$H_T = A_v \cdot V_i \cdot v, \quad (64)$$

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

$$H_T = 100 \cdot 0,33 \cdot 10^{-7} \cdot 23 = 0,08 \text{ мЗв},$$

для дітей

$$H_T = 100 \cdot 0,33 \cdot 10^{-7} \cdot 13 \cdot 1 = 0,44 \text{ мЗв}.$$

Відповідь: Еквівалентна доза дорівнює $0,08 \text{ мЗв}$ для дорослих і $0,44 \text{ мЗв}$ для дітей.

Задача 4.3.2

Радіаційне забруднення питної води відповідає об'ємній активності $A_v = 370 \text{ Бк/л}$. Розрахувати річну еквівалентну дозу H_T на організм дорослої людини, якщо об'єм споживання води складає 2 л на добу і об'ємна активність води зберігається на протязі року.

Розв'язання:

Дозовий коефіцієнт розраховується за формулою (63), і для води він дорівнює

$$V_{\text{в}} = \text{ГД/ГРП} = 10^{-3} / 7,1 \cdot 10^4 = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ (Зв/Бк)}.$$

Використовуючи значення дозового коефіцієнта та об'єм річного споживання води $V=2 \cdot 365=730$ л/рік $= 0,73$ м³/рік, за формулою (64) отримаємо еквівалентну дозу

$$H_T = 370 \cdot 10^3 \cdot 1,4 \cdot 10^{-8} \cdot 0,73 = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ Зв/рік.}$$

Відповідь: еквівалентна доза дорівнює 3,7 мЗв/рік

Задача 4.3.3

Розрахувати активність води на відстані $X=5$ км від місця викиду змуленого радіонукліда в річку. Активність радіонукліда на місці викиду дорівнює 500 Бк/л. Швидкість річки $U=0,5$ М/с. Константа осадження частинок $b=5 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, константа розпаду $\lambda = 10^{-4} \text{ c}^{-1}$.

Розв'язання:

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

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{x}{u}(b+\lambda)} = 112 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3$$

Відповідь: активність води дорівнює 112 тисяч Бк/м³

Задача 4.3.4

Під час аварії на АЕС річний викид ізотопу йоду I^{131} в атмосферу складає $Q = 8,1 \cdot 10^{11}$ Бк.

Розрахувати еквівалентну дозу на щитовидну залозу дорослої людини, що потрапляє в організм через органи дихання, якщо відомо, що коефіцієнт метеорологічного розбавлення дорівнює $G=5 \cdot 10^{-8} \text{ c/м}^3$.

Розв'язання:

Об'ємна активність повітря розраховується за формулою

$$A_v = Q \cdot G / t = 8,1 \cdot 10^{11} \cdot 5,0 \cdot 10^{-8} / 3,16 \cdot 10^7 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Бк/м}^3,$$

де $t = 3,16 \cdot 10^7 \text{ c} = 1$ рік.

Еквівалентна доза розраховується за формулою

$$H_T = A_v \cdot V_i \cdot v,$$

і дорівнює

$$H_T = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Зв/рік.}$$

Відповідь: еквівалентна доза дорівнює $3,2 \cdot 10^{-6}$ Зв/рік.

Задача 4.3.5

Розрахувати еквівалентну дозу на поверхні землі, що утворює фотонне випромінювання від хмарини радіоактивних газів суміші ізотопів Kr і Xe. Хмарина утворилася внаслідок аварії на реакторі ВВЕР-440, коли $\delta = 10\%$ загальної кількості радіоактивного пального, що знаходилося в активній зоні реактора, потрапило в атмосферу. Висота викиду - 60 м, швидкість вітру $U=1,6$ м/с, відстань від місця викиду - 3 км у напрямку вітру.

Розв'язання:

При даних умовах час руху радіоактивної хмарини до точки вимірювання: $t=x/u=30$ хвилин. Повне завантаження активної зони реактора ураном складає 41,5 т, а питома активність q суміші ізотопів Кг і Хе дорівнює $4,06 \cdot 10^{16}$ і $1,07 \cdot 10^{17}$ Бк/т відповідно. Таким чином, активність суміші радіоактивних газів в точці вимірювання дорівнює

$$Q=q \cdot m \cdot \delta = (0,41 + 1,07) \cdot 10^{17} \cdot 41,5 \cdot 0,1 = 6,14 \cdot 10^{17} \text{ Бк}$$

Для умови даної задачі коефіцієнт метеорологічного розбавлення $G = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ с/м}^3$. Для суміші ізотопів Кг і Хе за довідковими даними дозовий коефіцієнт $V_{\alpha\gamma}$ дорівнює

$$V_{\alpha\gamma} = 1,07 \cdot 10^{-6} \text{ Зв} \cdot \text{м}^3 / \text{рік} \cdot \text{Бк}.$$

Знаючи дозовий коефіцієнт, еквівалентну дозу H_T від короткочасного викиду Q можна розрахувати за формулою

$$H = Q \cdot V_{\beta\alpha\gamma} \cdot G_0 / u = 0,31(\text{Зв}).$$

Відповідь: еквівалентна доза дорівнює 0,31 Зв.

5. ПОРЯДОК ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Після оформлення курсового проекту студент віддає його викладачеві на перевірку.

Студент допускається до захисту курсового проекту після перевірки його викладачем.

Робота оформляється згідно методичних вказівок до оформлення курсових робіт.

Готовий курсовий проект надається викладачеві для перевірки за 3 тижні до закінчення семестру.

У разі виконання завдання студент може отримати бали, але: 60% він отримує, якщо вчасно виконував усі завдання на всіх етапах роботи, правильно оформив роботу та не мав помилок у розрахунках, але відмовився від захисту роботи.

Захист курсового проекту

При захисті курсового проекту необхідно відобразити:

1. Назву проекту та тему проекту.
2. Актуальність обраної теми.
3. Мету роботи та елементи новизни.
4. Постановку задачі, яка зроблена на основі літературного аналізу.
5. Зміст зробленої роботи.
6. Обґрунтованість положень та результатів.
7. Висновки з роботи, які витікають з поставленої задачі.

6. ВИМОГИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

6.1. Структура курсового проекту

6.1.1. Основна частина КП виконується за діючими стандартами. Курсовий проект обов'язково має вступ, літературний огляд, аналітичну експериментальну або розрахункову частину, висновки та перелік літератури.

6.1.2. Додатки розташовують після основної частини КП, кожний з яких починається з нового аркуша.

6.1.3 Нумерація аркушів проставляється по центру унизу сторінки без крапки.

6.2. Правила оформлення курсового проекту

Загальні положення

6.2.1. КП виконують зазвичай на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 із застосуванням друкуючих пристроїв.

6.2.2 Якщо КП друкується за допомогою ПЕОМ, параметри сторінки меню „Друк” повинні бути : 1) поля: ліве –25мм, праве, верхнє, нижче –25 мм; 2) формат абзаца – 1 інтервали; 3) шрифт-14; 4) інтервал – одинарний.

6.3 Викладання тексту КП

6.3.1 Текст документа повинен бути стислим, чітким і не допускати різних тлумачень.

6.3.2 Умовні літерні позначення, зображення чи знаки повинні відповідати прийнятим у чинному законодавстві і державних стандартах. У тексті перед позначенням параметра дають його пояснення.

6.3.3 У КП треба застосовувати стандартизовані одиниці фізичних величин, їхні найменування і позначення відповідно до ГОСТ 8.417.

Поряд з одиницями СІ (System International), при необхідності, в дужках вказують одиниці систем, які раніше застосовувалися і дозволені до застосування.

6.3.4 Якщо в тексті документа наводять діапазон числових значень фізичної величини, виражених в одній і тій же одиниці фізичної величини, то позначення одиниці фізичної величини вказується після останнього числового значення діапазону. Наприклад:

1. Від 1 до 5 мм.
2. Від плюс 10 до мінус 40 °С.

6.3.5 Округлення числових значень величин до першого, другого, третього тощо десяткового знака для різних типорозмірів, марок і до того подібних виробів одного найменування повинно бути однаковим

6.3.6 Для складання складних формул слід використовувати опцію меню „Вставка – Об'єкт – Microsoft Equation”. Для влаштування індексів

можна також використовувати опцію меню „Формат – Шрифт – Видозміна – Над(під)стрічковий”.

6.3.7 Формули, за винятком формул, що поміщаються в додатку, повинні нумеруватися в межах розділу арабськими цифрами, що записують на рівні формули праворуч у круглих дужках. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули, розділених крапкою, наприклад (3.1). Одну формулу також позначають, наприклад (2.1).

Посилання в тексті на порядкові номери формул дають у дужках, наприклад: „... у формулі (4.1).

6.4 Оформлення ілюстрацій і додатків

6.4.1. Кількість ілюстрацій повинна бути достатньою для пояснення тексту, що викладається. Ілюстрації можуть бути розташовані як по тексту (можливо ближче до відповідних частин тексту), так і наприкінці його. Рекомендованим є розташування ілюстрацій безпосередньо в тексті.

6.4.2. Позначення ілюстрації розташовується під нею. При посиланнях на ілюстрації треба писати, наприклад: „відповідно до рисунка 2.2.” або „відповідно до Рис.2.2.”

6.4.3 Ілюстрації, при необхідності, можуть мати найменування і пояснювальні дані (під рисунковий текст), які розмішують під ілюстрацією.

6.5 Побудова таблиць

6.5.1. Таблиці застосовують для кращої наочності і зручності порівняння показників. Назву слід поміщати над таблицею.

При переносі частини таблиці на ту чи іншу сторінку назву поміщують тільки над першою частиною таблиці

Цифровий матеріал, як правило, оформляють у вигляді таблиць відповідно до наступного рисунка.

Таблиця 6.1. Назва таблиці.

	Заголовки граф		Заголовки граф	
	Підзаголовки граф	Підзаголовки граф	Підзаголовки граф	Підзаголовки граф
Боковик (графа для заголовків)	Рядки	Рядки	Рядки	Рядки
	Рядки	Рядки	Рядки	Рядки
	Рядки	Рядки	Рядки	Рядки

6.5.2. Таблиці, за винятком таблиць додатків, треба нумерувати арабськими цифрами в межах розділу. У цьому випадку

номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, які розділені крапкою.

6.5.3 Якщо в графі таблиці поміщені значення однієї і тієї ж величини, то позначення одиниці фізичної величини вказують у заголовку (підзаголовку) цієї графи. Числові або текстові значення величин, однакові для декількох рядків, допускається вказувати один раз шляхом об'єднання клітинок. Наприклад:

Таблиця 6.2. Типи реакторів АЕС України

Тип реактору	Назва АЕС	Вид захисту
ВВЕР-440	Рівненська	ковпак
ВВЕР-1000	Південноукраїнська	
	Запорізька	
РБМК-1000	Хмельницька	без ковпака
	Чорнобильська	

ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища. ОДЕКУ, Одеса, ТЕС, 2018, 254 с.
2. Герасимов О.І., Курятников В.В., Андріанова В.С. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни “Технології захисту навколишнього середовища ” для студентів факультету МАП за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища», Одеса, ОДЕКУ, 2017р., 44 с.
3. Герасимов О.І. Елементи фізики довкілля. Навчальний посібник. Одеса, ТЕС, 2004, 144с.
4. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. ОДЕКУ. – Одеса: ТЕС, 2016. 100 с.
5. Курятников В.В. Конспект лекцій з дисципліни “Інженерно-фізичні аспекти захисту навколишнього середовища ”, Одеса, ОДЕКУ, 2017, 51 с
6. Герасимов О.І. Фізика гранульованих матеріалів. Монографія. Одеса: ТЕС, 2015,-264с.
7. Широков Ю. М., Юдин К. П. Ядерная физика. М.: Наука, 1972, 672 с.
8. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Конструювання та інженерно-фізичні принципи систем захисту довкілля : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2019, 60 с.
9. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005, 210 с.
10. Ветошкин А.Г. Таранцева К.Р. Технологии защиты окружающей среды. (Теоретические основы) Учебное пособие. /Под ред. доктора технических наук, профессора, академика МАНЭБ и АТП РФ А.Г.Ветошкина-Пенза, 2004,
<http://window.edu.ru/resource/888/36888/files/stup114.pdf>
11. Рыбаков Ю.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: конспект лекцій. Екатеринбург, 2005, 196 с. Електронне -
<http://www.twirpx.com/file/1472984/>
12. Кобзарь И.Г., Козлова В.В. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: Курс лекций по дисциплине "Процессы и аппараты защиты окружающей среды". Ульяновск: УлГТУ, 2007. 68 с. Електронне -
<http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2007/140.pdf>
12. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія (конспект лекцій). ОДЕКУ, Одеса, 2003 – 135с.
13. Збірник задач з радіоекології. Під ред. О.І.Герасимова, ОДЕКУ, Одеса, 2012 – 135с.
14. Герасимов О.І. Основи радіаційної безпеки. Конспект лекцій. – Одеса, ОДЕКУ, 2014. – 65с.

15. Кухлахмедов Ю.О., Корогодін В.І., Кольтовер В.К. Основи радіоекології: навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003. – 319с. (бібл. ОДЕКУ).

Додаткова

1. Иванов В.И. Курс дозиметрии. – М.: Энергоатомиздат, 1988, - 400 с.
2. Радиация, дозы, эффекты, риск. Пер.с англ. - М.: Мир,1990.
3. Норми радіаційної безпеки України – НРБУ – Київ, 1997.
4. Закон України “Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань”. – Київ, 1998
5. Курятников В.В. Методичні вказівки до СРС з дисципліни ” Фізичні основи радіометрії та дозиметрії “, Одеса, ОДЕКУ, 2004, 44 с
6. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М., Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни “Фізичні основи радіометрії та дозиметрії”. Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М., Одеса, ОДЕКУ, 2008, 34 с.
7. Курятников В.В. Електронний конспект лекцій з дисц. “Фізичні основи радіометрії та дозиметрії”. - Одеса, ОДЕКУ, 2009, 66 с.
8. Машкевич В.П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений. М. Энергоатомиздат. 1982.-562 с.
9. www.library-odeku.16mb.com

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Технології захисту навколишнього середовища ” для студентів факультету МАП за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища», Одеса, ОДЕКУ, 2019 р., 52 с.

Укладачі: Герасимов О.І., Курятников В.В.

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

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО
ПРОЕКТУ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”**

за спеціальністю “Технології захисту навколишнього середовища”
Рівень вищої освіти - магістр

Одеса 2019