

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до дипломного проекту
ступінь вищої освіти магістр**

галузі знань 15 - Автоматизація та приладобудування

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

на тему Удосконалення методики вимірювання дози
випромінювання

Виконав: студент групи МВТ-22зм

Захарченко О.І.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Керівник

доц. Морнева М.О.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Завідувач кафедри

доц. Руднев Є.С.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

доц. Шумакова Т.О.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Київ 2023р.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії

Кафедра Електричної інженерії

Ступінь вищої освіти магістр

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІ

доц. Руднев Є. С.

“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Захарченкові Олександрові Ігоревичеві

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення методики вимірювання дози випромінювання»

керівник проекту доц. Морнева М.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.10.2023 року №564/15.23С

2. Строк подання студентом проекту 8.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту Прилади дозиметричного контролю, стандартні методики здійснення вимірювань, повірочні схеми, технічні умови

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ Значення засобів вимірювальної техніки для вимірювання опромінювання. Прилади дозиметричного контролю та їх види. Сучасні вимоги до проведення вимірювань опромінювання. Розробка методики виконання вимірювань опромінювання та її удосконалення за умови проведення радіологічного контролю. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Види випромінювань, їх вплив та вимірювання.

Прилади дозиметричного контролю.

Рекомендації щодо розроблення та реалізації методик виконання вимірювання.

Алгоритм проведення радіаційного контролю.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-4	доц. Морнева М.О.		

7. Дата видачі завдання 16.10.2023 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ	1-2 тиждень	
2	Випромінення: поняття, види, методи вимірювання	3 тиждень	
3	Прилади дозиметричного контролю: принципи роботи та види	4-5 тиждень	
4	Методика виконання вимірювань іонізуючого випромінювання при проведенні радіаційного контролю транспортних засобів та вантажів	6-7 тиждень	
5	Пропозиції щодо покращення методики виконання вимірювань за умови проведення радіаційного контролю транспортних засобів і вантажів	8-9 тиждень	
6	Підготовка матеріалу до захисту	10 тиждень	

Студент _____
(підпис)Захарченко О.І.
(прізвище та ініціали)Керівник проекту _____
(підпис)Морнева М.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить 64 сторінок, 7 таблиць, 17 рисунка, 2 додатка та 18 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у дослідженні та наданні рекомендацій з удосконалення методів та засобів вимірювання випромінювання і, як наслідок, проведення радіаційного контролю.

Досягнення зазначеної мети вимагає постановки та вирішення наступних **завдань:**

- розглянути види випромінювання та засоби та прилади, що х визначають;
- провести аналіз сучасних вимог до ЗВТ для виміру випромінювання;
- запропонувати методику виконання вимірювань параметрів випромінювання.

Об'єкт дослідження – випромінювання та радіаційний контроль.

Предмет дослідження – методи та прилади для проведення вимірювання випромінювання та проведення радіаційного контролю.

Результатом даної роботи є аналіз методів та засобів вимірювання випромінювання, розробка методики виконання вимірювань та проведення радіаційного контролю транспортних засобів та вантажів.

У роботі були розкриті поняття та види випромінювання. Розглянуто принципи дозиметрії та прилади, які використовуються у вимірюваннях.

Розглянуто методику виконання вимірювань іонізуючого випромінювання при проведенні радіаційного контролю транспортних засобів та вантажів та надано рекомендації з її удосконалення.

Ключова слова: *випромінювання, вимірювання, прилад, радіаційний контроль, методика, доза, вантаж, удосконалення.*

ABSTRACT

The master's dissertation contains 64 pages, 7 tables, 17 figures, 2 appendices and 18 bibliographic names according to the list of references.

The purpose of the qualification work is to study and provide recommendations for improving the methods and means of measuring radiation and, as a consequence, conducting radiation control.

Achieving this goal requires setting and solving the **following tasks**:

- consider the types of radiation and the means and devices that define x;
- to carry out the analysis of modern requirements to the FTA for radiation measurement;
- to propose a method for performing measurements of radiation parameters.

The object of research is radiation and radiation control.

The subject of research is methods and devices for radiation measurement and radiation control.

The result of this work is an analysis of methods and means of measuring radiation, development of a method for measuring and conducting radiation control of vehicles and cargoes.

The work revealed the concept and types of radiation. The principles of dosimetry and devices used in measurements are considered.

The method of measuring ionizing radiation during radiation control of vehicles and cargoes and the recommendations for its improvement are considered.

Key words: *radiation, measurement, device, radiation control, technique, dose, load, improvement.*

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИПРОМІНЮВАННЯ	11
1.1. Основні види іонізуючих випромінювань	11
1.2 Джерела іонізуючих випромінювань	17
1.3 Дозиметрія як основна категорія вимірювань	23
2 ПРИЛАДИ ДОЗИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ: ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ВИДИ	306
2.1. Принципи роботи дозиметричних приладів	306
3 РОЗГЛЯД МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ВАНТАЖІВ	384
3.1. Рекомендації щодо розроблення та реалізації методик виконання вимірювань.	384
3.2. Загальні відомості	395
3.3. Засоби вимірювальної техніки та допоміжне обладнання	406
3.4. Вимоги безпеки	406
3.5. Радіаційна гігієна	406
3.6. Вимоги до кваліфікації операторів	417
3.7. Підготовка до виконання вимірювань та виконання вимірювань	417
3.8. Вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінювання	428
3.9. Вимірювання поверхневої густини потоку бета-частинок	439
3.10. Обробка результатів вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінювання фону	4440
3.11. Обробка результатів вимірювань поверхневої густини бета-частинок	4541
3.12. Контроль похибки вимірювань	42
3.13. Оформлення результатів радіаційного обстеження	42
4 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЗА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І ВАНТАЖІВ	43
4.1 Актуальність питання	43
4.2 Загальний порядок здійснення радіаційного контролю	484
4.3 Перелік параметрів, що контролюються, система контрольних рівнів	517
4.4 Порядок РК транспортних засобів і вантажів	539
ВИСНОВКИ	584
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТОК А	59
ДОДАТОК Б	6460

ВСТУП

Актуальність теми.

Безпека людини нерозривно пов'язана з якістю навколишнього середовища, тому кінцевою метою моніторингу довкілля є проведення комплексу заходів організаційного й інженерно-технічного характеру, спрямованого на забезпечення захисту населення.

Розвиток сучасних технологій у нашій країні ускладнює завдання охорони праці та екологічної безпеки людини. Особливості новітніх технологій потребують постійного удосконалення знань стосовно одиниць вимірювання іонізуючої радіації, механізму її дії, систем контролю випромінювань та захисту людини.

Значна кількість АЕС в Україні неминує призводить до збільшення ядерних об'єктів, що забезпечують їх роботу. Для роботи однієї АЕС необхідно близько десяти додаткових об'єктів [1–3]. У зв'язку з цим все більша кількість людей зазнає і буде зазнавати впливу радіоактивного випромінювання у процесі роботи на атомних об'єктах або внаслідок проживання в районах, де відбувається розповсюдження радіоактивних відходів. Це зумовлює актуальність подальшого підвищення якості та ефективності технічних засобів радіаційного контролю.

Серед екологічних факторів, що впливають на людину в робочій зоні, іонізуючі випромінювання найбільш небезпечні. Сучасні дослідники виявили, що пряма дія значних поглинених доз радіації, які руйнують генетичний апарат живих організмів, – це тільки одна частина проблеми. Не менш небезпечним є руйнування мембран клітини активними іонами кисню, що найбільше виявляються за умови рівнів радіації, які мало перевищують природний фон [1, 2]. Автори [1–5] вважають, що за умови низького рівня радіації її руйнівна дія на мембрани клітин переважає над прямою фізичною дією на гени. Прикладом

цього є те, що під час розпаду одного атома цезію-137 утворюється β -частинка, енергія якої становить 0,523 MeV.

Енергія випромінювання, необхідна для іонізації молекули клітини, дорівнює приблизно 10 eV. Із цього випливає, що один радіоактивний атом може іонізувати тисячі молекул в об'ємі, рівному декільком кубічним міліметрам. З огляду на проникну спроможність електронів, цей процес захопить приблизно 10 000 клітин діаметром 10–3–10–4 см. Екологи [1–4] зробили дуже важливий висновок: один радіоактивний атом у тисячі разів більш небезпечний за атом будь-якого стабільного токсичного елемента, тому що один токсичний атом зруйнує одну молекулу в живій клітині, а радіоактивний – від однієї до тисяч молекул. Унаслідок ушкодження клітинних мембран іонізованими молекулами знижується спроможність організму до розпізнавання і знищення вірусів і бактерій, тобто послаблюється імунний захист. Отже, підвищення радіаційного фону або потрапляння в організм невеликих кількостей радіоактивних речовин спричиняє значний руйнівний вплив на імунну систему людини [1–4].

Організація індивідуального дозиметричного контролю (ІДК) є ключовим завданням радіаційного захисту персоналу від шкідливої дії іонізуючого випромінювання, а також важливішим кількісним критерієм оцінки реально досягнутого рівня ядерної та радіаційної безпеки. Важливим напрямком діяльності уповноважений органів є забезпечення належного рівня радіаційного захисту персоналу та контроль заходів, спрямованих на зниження дозових навантажень.

За даними МОЗ, в Україні потребують індивідуального дозиметричного моніторингу близько 42000 працюючих, з них: 14636 осіб, разом із працюючими під час відрядження працівниками НАЕК “Енергоатом”, 9100 медичних працівників (радіологи та рентгенологи), а також персонал підприємств зони відчуження, в т.ч. ЧАЕС, об'єкту “Укриття”, інших промислових, освітніх та наукових установ.

Підвищення рівня радіації негативно відображається на загальному стані людини – знижується імунітет, виникають головні болі, людина відчувається недобре. При невисоких дозах радіації організм може перебороти негативну дію радіації, перевищення дозвільної норми призводить до руйнування клітин, виникнення променевої хвороби, онкологічних захворювань.

Сучасна промисловість пропонує на розгляд споживача портативні прилади — дозиметри, за допомогою яких кожна людина може самостійно визначити рівень радіації в приміщенні, в повітрі, а також в харчових продуктах, промислових товарах, будівельних матеріалах і інших предметах.

З метою проведення вимірювань з одержанням результатів вимірювань з гарантованою точністю розробляють та використовують методики виконання вимірювань. Об'єктивними причинами створення методик виконання вимірювань (МВВ) у метрологічній діяльності стали два принципи забезпечення єдності вимірювань, а саме: результати вимірювань повинні виражатись в одиницях фізичних величин Міжнародної системи одиниць і повинна бути відома похибка вимірювань. У зв'язку з цим є актуальною розробка, атестація та застосування МВВ і впровадження їх у практику роботи метрологічних служб. МВВ об'єднують основні компоненти системи забезпечення єдності вимірювань (величини, що вимірюються, одиниці величин, методи вимірювань, метрологічні характеристики засобів вимірювання, форма та вид представлення результатів вимірювань та ін.).

Таким чином, в роботі розглянуто види пристроїв для визначення доз випромінювання та методи виконання вимірювань з їх застосуванням.

Об'єкт дослідження – випромінювання та радіаційний контроль.

Предмет дослідження – методи та прилади для проведення вимірювання випромінювання та проведення радіаційного контролю.

Мета роботи: дослідження методів та приладів для проведення радіаційного контролю транспортних засобів та вантажів.

Для цього необхідно вирішити такі **завдання:**

- провести аналіз приладів і методів для виявлення рівня випромінювання;
- провести теоретичні дослідження впливу випромінювання;
- розробити методику виконання вимірювань за умови проведення радіаційного контролю транспортних засобів та вантажів.

Методи дослідження - теоретичний аналіз і систематизація науково-теоретичних і методичних джерел; математичні методи; емпіричні методи (стандартизовані методики); методи обробки даних.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1.1 Основні види іонізуючих випромінювань

Електромагнітні випромінювання при проходженні через речовини взаємодіють з їх атомами і молекулами. При значній енергії квантів випромінювання така взаємодія може призвести до порушення атомів і виривання окремих електронів з електронних оболонок нейтрального атома. Внаслідок цього атом перетворюється у позитивно заряджений іон – відбувається іонізація. Вільні електрони можуть у свою чергу приєднатися до нейтрального атома, утворюючи негативно заряджені іони. Аналогічно впливати на речовини можуть і елементарні частки (електрони, протони тощо), які рухаються зі значною швидкістю. Випромінювання, взаємодія якого з середовищем призводить до його іонізації, називають іонізуючим.

До іонізуючих випромінювань відносяться корпускулярні (альфа-, бета-, а також потоки протонів, нейтронів та важких ядер віддачі) та електромагнітні випромінювання (гама-, рентгенівське та ультрафіолетове), що здатні при взаємодії з речовиною створювати у ній заряджені атоми та молекули (рис. 1.1).

Вплив іонізуючих випромінювань на речовину в першу чергу залежить від виду випромінювання та величини енергії часток чи квантів електромагнітного випромінювання. В атомній та ядерній фізиці для оцінки енергії часток та випромінювань зазвичай використовують таку несистемну одиницю як електрон-вольт (eV), або такі похідні від неї як кілоелектрон-вольт (keV) чи мегаелектрон-вольт (MeV). Один eV дорівнює енергії, необхідній для перенесення елементарного заряду в електростатичному полі між точками з різницею потенціалів в 1 В.

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$



Рис. 1.1 - Класифікація іонізуючих випромінювань

Іонізуючі випромінювання характеризуються своєю іонізуючою і проникливою здатністю. Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою чи квантом електромагнітного випромінювання в одиниці об’єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху. Проникаюча здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Альфа-випромінювання - це потік позитивно заряджених частинок, що складаються з двох протонів ті двох нейтронів, мають масове число 4 і заряд, який дорівнює 2 елементарним зарядам (елементарний заряд $1,6 \cdot 10^{-19}$ К). За своєю фізичною природою це ядра атома гелію, що утворюються під час розпаду ядер нестійких ізотопів важких елементів. Енергія альфа-частинок досягає декількох МеВ. Для них характерна висока іонізуюча здатність (декілька тисяч пар іонів на 1 см шляху у повітрі) та незначна проникливість у речовину (десятки мкм у живій тканині).

Бєта-випромінювання - це потік електронів або позитронів, що виникає у результаті ядерних перетворень. Їх іонізуюча здатність значно нижча (десятки пар іонів на 1 см шляху у повітрі), а проникливість вища (близько 2,5 см у живій тканині).

Нейтронне випромінювання - це потік нейтронів - ядерних часток, що не несуть електричних зарядів. Швидкі нейтрони мають значну проникливість та

незначну іонізуючу здатність. Вони можуть легко проникати через тіло людини і більш щільне середовище. Нейтрони взаємодіють з ядрами атомів, у результаті чого виникає як наведене випромінювання, так і спостерігається іонізація речовини.

Дія протонів та важких ядер із значною енергією близька до альфа-випромінювання. Для них характерна висока іонізуюча здатність та незначна проникливість у речовину.

Гама- та рентгенівське випромінювання – це жорсткі електромагнітні випромінювання, що виникають під час ядерних перетворень та взаємодії часток, а також у рентгенівських трубках, прискорювачах електронів тощо. Ці випромінювання характеризуються значною проникливістю та незначною іонізуючою здатністю. Чим менша довжина хвилі, тим вища енергія випромінювання і більша його проникаюча здатність.

Рентгенівські промені можна розглядати як гамма-промені низьких енергій, які одержують штучно. Наглядно проникна здатність іонізуючого випромінювання продемонстрована на рис. 1.2.

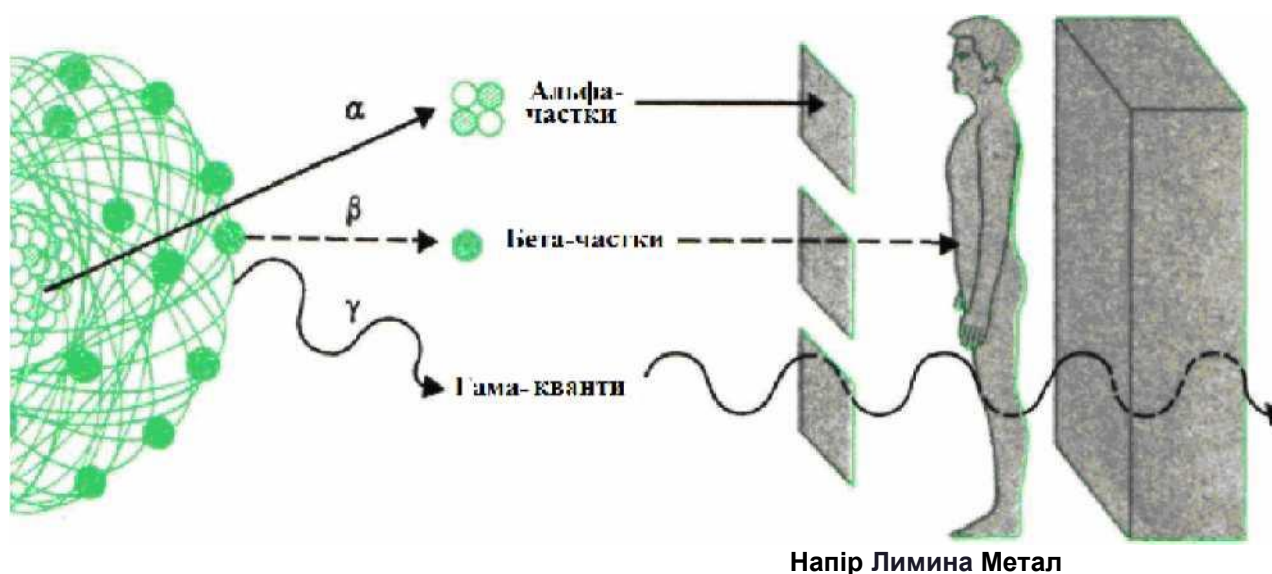


Рис. 1.2 - Проникна здатність іонізуючого випромінювання

Джерела іонізуючих випромінювань прийнято характеризувати їх активністю A , що визначається відношенням кількості спонтанних перетворень ядер dN за інтервал часу dt , тобто

$$A = dN/dt.$$

Одиницею виміру активності є бекерель (Бк). 1 Бк дорівнює одному ядерному перетворенню за секунду. Використовують також несистемну одиницю активності – кюрі (Ки), яка дорівнює $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Питому активність речовини джерела випромінювання характеризують активністю одиниці її маси, об'єму або площі поверхні, наприклад, бекерель на кілограм, бекерель на літр.

При проходженні через речовину енергія іонізуючого випромінювання витрачається, в основному, на іонізацію середовища. Для характеристики дії іонізуючих випромінювань на речовину використовують такий показник, як поглинена доза D , що визначається величиною енергії іонізуючого випромінювання поглиненою одиницею маси речовини, а саме:

$$D = dE/dm,$$

де dE - енергія, що передана іонізуючим випромінюванням речовині у елементарному об'ємі; dm - маса елементарного об'єму речовини.

Одиницею виміру поглиненої дози є Грей (Гр). Це енергія в 1 Дж будь-якого іонізуючого випромінювання, яка передана одному кілограму речовини, що опромінюється. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Дію випромінювання на органи тіла та тканини людини характеризує доза в органі D_T . Вона визначається за формулою

$$B_T = E_T / T_T,$$

де E_T - сумарна енергія, що виділилася в органі тіла чи тканині людини, Дж; T_T - маса органу тіла чи тканини людини, кг.

У зв'язку з тим, що однакова доза різних видів випромінювання поглинена в органі тіла викликає у живих організмах різні біологічні зміни, то введено поняття дози еквівалентної в органі або тканині H_T . Вона визначається як

$$H_T = D_T W_R,$$

де W_R - радіаційний зважувачий фактор.

Одиниця еквівалентної дози - Зіверт (Зв). Широко використовують також похідні величини дози, наприклад мЗв.

При визначенні еквівалентної дози різних видів випромінювання прийнято використовувати такі значення радіаційного зважувачого фактора W_R :
рентгенівське та гама-випромінювання 1

бета-випромінювання 1

альфа-випромінювання..... 20

нейтрони з енергією 10 - 100 КеВ 10

протони з енергією більше 2 МеВ..... 10

Іонізуюче випромінювання по-різному впливає на органи тіла і тканини людини. Чутливість органів тіла людини, на які діє іонізуюче випромінювання, враховується відносним стохастичним ризиком їх опромінювання. Для оцінки цього ризику введено поняття тканинного зважувачого фактора W_T , який використовується при розрахунках ефективної дози.

Ефективна доза E визначається як сума добутків еквівалентних доз в окремих органах тіла і тканинах людини на відповідні тканинні зважувачі фактори:

$$E = \sum H_m * W_m,$$

т

Значення тканинних зважувачих факторів наведені у табл. 1.1.

Для характеристики іонізуючої здатності випромінювань при їх розповсюдженні в повітрі використовують поняття експозиційної дози X , що визначається величиною повного заряду іонів одного знаку, які виникають в одиницімаси повітря під дією іонізуючого випромінювання. Одиниця експозиційної дози – кулон на кілограм (Кл/кг). Спеціальна одиниця – рентген. $1P = 0,285$ мКл/кг.

Таблиця 1.1 - Значення тканинних зважувачих факторів

Тканина або органи тіла людини	W _T
Гонади	0,20
Кістковий мозок (червоний), товста кишка, легені, шлунок	0,12
Сечовий міхур, молочна залоза, печінка, стравохід, щитовидна	0,05
Шкіра, поверхня кістки	0,01
Інші органи тіла	0,05

Розглянуті показники характеризують лише індивідуальні дози іонізуючого випромінювання. Підсумувавши індивідуальні ефективні еквівалентні дози, здобуті певною групою людей, ми отримаємо **колективну ефективну еквівалентну дозу**, яку визначають в **людино-зівертах** (люд-Зв).

Для оцінки колективної ефективної еквівалентної дози яка може бути отримана групою людей від певного джерела випромінювання за весь час його існування розраховують **повну (очікувану) колективну ефективну еквівалентну дозу**. Зважаючи на те, що багато відомих радіонуклідів розпадаються надзвичайно повільно і залишаються радіоактивними навіть у далекому майбутньому, ця доза може включати дози накопичені як нинішніми так і майбутніми поколіннями людей внаслідок опромінення від певного джерела випромінювання.

Визначити дозу від точкового джерела активністю A за час t можна за формулою

$$B = A K_T t / Y^2,$$

де K_T - гама-постійна ізотопу, $\text{Гр} > \text{м}^2 / (\text{с} \cdot \text{Бк})$; Y - відстань від джерела до об'єкта опромінювання, м.

Приріст дози за одиницю часу називають потужністю дози. Вона характеризує швидкість накопичення дози. Найбільш часто вживаються такі одиниці вимірювання потужності дози як мкЗв/год., мЗв/год., мЗв/рік. та Зв/рік.

1.2 Джерела іонізуючих випромінювань

Згідно НРБУ-97/Д-2000 джерело іонізуючого випромінювання (джерело

випромінювання) - об'єкт, який містить радіоактивну речовину або технічний пристрій, що створює або в певних умовах здатний створювати іонізуюче випромінювання. На стадії проектування будь-якої практичної діяльності джерело іонізуючого випромінювання розглядається як джерело як поточного, так і потенційного опромінення.

Радіоактивність – самовільне перетворення (розпад) атомних ядер деяких хімічних елементів (урану, торію, радію та ін.), що призводить до зміни їх атомного номера і масового числа. Такі елементи називаються радіоактивними. При їх розпаді утворюються різні частки або електромагнітне випромінювання, які здатні іонізувати середовище.

Ядра хімічних елементів складаються з нуклідів – позитивно заряджених протонів та нейтральних нейтронів, які зв'язані між собою за допомогою сильної взаємодії.

Кількість протонів в ядрі називається його зарядовим числом - це число дорівнює порядковому номеру елемента, до якого належить атом, в таблиці (періодичної системи елементів) Менделєєва. Кількість протонів в ядрі визначає структуру електронної оболонки нейтрального атома і, таким чином, хімічні властивості відповідного елемента. Кількість нейтронів в ядрі називається його ізотопічним числом. Ядра з однаковим числом протонів і різним числом нейтронів називаються ізотопами. Ядра з однаковим числом нейтронів, але різним числом протонів - називаються ізотон. Терміни ізотоп і ізотон використовуються також стосовно атомів, що містять зазначені ядра, а також для характеристики нехімічних різновидів одного хімічного елемента. Загальна кількість нуклонів в ядрі називається його масовим числом і приблизно дорівнює середній масі атома, зазначеній в таблиці Менделєєва.

Число протонів у ядрі визначає вид хімічного елемента, до якого відноситься цей атом. Наприклад, ядро атома водню має лише один протон, атома кисню – 8, а урану – 92. У кожному атомі кількість електронів на орбітах дорівнює кількості протонів у ядрі. Електрони мають негативні заряди, які рівні зарядам протонів, отож у цілому заряд атома стабільного хімічного елемента є

нейтральним.

Радіоактивний розпад. Ядра ізотопів певних хімічних елементів утворюють групу нуклідів. Деякі нукліди зберігають стабільний стан, тобто без впливу зовнішньої дії вони ніколи не зазнають перетворень. Однак більшість нуклідів є нестабільними і періодично перетворюються в інші нукліди. Вони мають назву **радіонукліди**. Процес перетворення радіонуклідів називається **радіоактивним розпадом**.

Кожний альфа- або бета-розпад супроводжується звільненням енергії, яка передається далі у вигляді короткохвильового електромагнітного випромінювання. Нестабільний радіонуклід стає настільки збудженим, що викидає порцію чистої енергії і при цьому не втрачаються будь-які його частинки. Спостерігається лише виділення γ -фотона у процесі **гамма-випромінювання**. Далі з ^{238}U відбуваються інші перетворення, що супроводжуються альфа-, бета- і гамма-випромінюванням. Весь цей довгий ланцюг радіоактивних перетворень закінчується стабільним нуклідом свинцю.

Деякі радіонукліди перебувають у нестабільному стані, однак по-різному. Наприклад, ^{234}Ra розпадається майже миттєво, а ^{238}U , навпаки, дуже повільно. Його **період напіврозпаду**, тобто час, за який половина атомів ^{238}U перетворюється у ^{234}Th , становить близько 4,5 млрд. років.

За походженням радіоактивні речовини поділяють на природні й штучні. Основні радіоактивні ізотопи, які зустрічаються в гірських породах Землі, це калій-40, рубидій-87, і члени двох радіоактивних сімейств урану-238 та торію-232. Під дією космічної радіації утворюються ізотопи вуглецю-14 і тритію.

Радіоактивні мінерали – мінерали, які містять радіоактивні елементи у кількості, що значною мірою перевищує їх середній вміст у земній корі. Відомо біля 250 радіоактивних мінералів, які відносяться до різних класів - оксидів і гідроксидів, силікатів, фосфатів, сульфатів, арсенатів, ванадатів, молібдатів.

Розрізняють радіоактивні мінерали, в яких уран або торій є мінералоутворюючими елементами і радіоактивні мінерали, до складу яких радіоактивні елементи входять як ізоморфні домішки. При розпаді урану утворюється радон-

222, при розпаді торію – радон-220 (торон). Це радіоактивні газы. Найбільше радону на території Фінляндії, а найменше – на території Англії. Понад 30% території України знаходиться на гранітному щиті, з якого виділяється радон.

Незалежно від бажання, людина завжди знаходиться під дією деякої природної фонової дози випромінювань (рис. 1.4). Джерела цих випромінювань знаходяться зовні (зовнішнє опромінення) або в організмі людини (внутрішнє опромінення). Причому, як правило, близько 1/3 дози припадає на зовнішнє і 2/3 – на внутрішнє опромінення. Зовнішнє опромінення складається з космічного випромінювання та випромінювання радіоактивних речовин земного походження (поверхня землі, вода, повітря тощо). Середнє значення потужності природної фонової дози зовнішнього опромінення, за винятком аномальних природних зон та зон антропогенного походження, становить близько 0,65 мЗв/рік (приблизно 0,3 мЗв від джерел космічного походження та 0,35 мЗв від джерел земного походження).

Внутрішнє опромінення виникає від радіоактивних речовин, що потрапляють в організм людини під час дихання, з водою та харчовими продуктами, а іноді і через шкіру. Потрапляючи в організм, ці речовини безперервно його опромінюють до повного розпаду або виведення їх з організму внаслідок фізіологічного обміну. Деякі радіоактивні речовини, наприклад Ra, U, Sr, мають здатність накопичуватися у критичних органах людського організму, що особливо небезпечно. Потужність природної фонової дози внутрішнього опромінення у середньому становить близько 1,35 мЗв/рік.

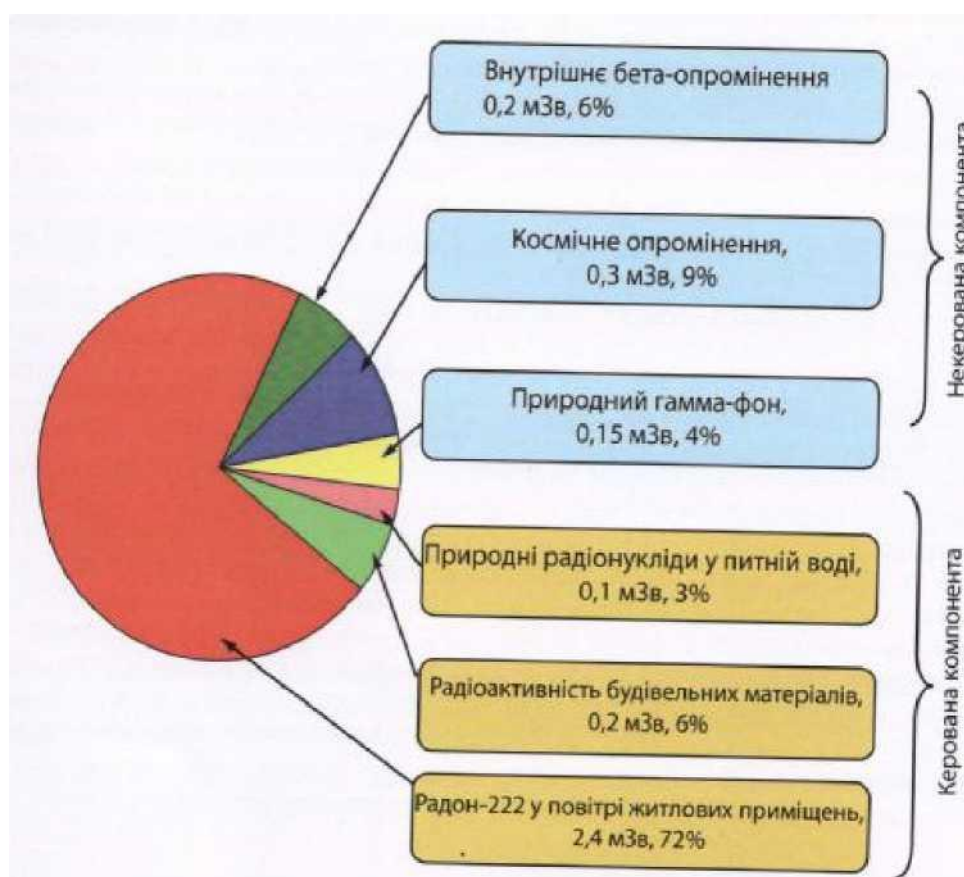


Рис. 1.4 - Середньорічні ефективні дози опромінення населення України від природних джерел радіації.

Незначна частина цієї дози припадає на такі радіоактивні ізотопи, як тритій, вуглець-14, калій-40. Значно більшу частину дози внутрішнього опромінення людина одержує від радіонуклідів (продуктів радіоактивного розщеплення) урану-238 та торія-232. Деякі з них, наприклад свинець-210 та полоній-210, надходять в організм з продуктами харчування, але найбільшу частину вказаної дози дає газ радон (приблизно 3/4 дози внутрішнього опромінення).

Радон – інертний газ, без запаху та смаку, в 7,5 раз важчий за повітря, виділяється із земної кори. Основну частину дози від радону людина отримує тоді, коли вона знаходиться у приміщеннях. Радон суттєво концентрується у приміщеннях (просочується через фундамент та підлогу, виділяється з будівельних матеріалів) лише тоді, коли вони погано провітрюються. Так, взимку, в зонах помірним кліматом, концентрація радону в закритих приміщеннях у середньо-

му у 8 разів більше, ніж у зовнішньому повітрі.

Компоненти природної фонові дози випромінювань, значення яких не залежить від людини, прийнято виділяти як некеровану компоненту опромінення, а ту, на величину якої людина може впливати (вибором води, харчових продуктів, шляхом провітрювання та вологого прибирання приміщень тощо) – як керовану компоненту опромінення

Крім фонові, деяку дозу людина отримує від техногенних джерел радіації. Серед них можна виділити таке джерело, як діагностика та лікування захворювань з використанням рентгенівського випромінювання. В середньому доза від цих джерел становить близько 0,4 мЗв/рік, але індивідуальні дози, які отримують різні люди, дуже сильно відрізняються - від нуля (у тих, що жодного разу не проходили рентгенівського обстеження) до декількох Зв (у пацієнтів, які лікуються від онкологічних захворювань).

Радіоактивні препарати - радіоізотопи або їх сполуки з різними неорганічними або органічними речовинами, які застосовуються для діагностики і лікування пухлин. Радіоактивні препарати, які використовують для діагностики, не мають фармацевтичної дії, оскільки, вводяться в мінімальних дозах. З діагностичною метою застосовують ті радіоактивні препарати, які при введенні в організм включаються до обміну речовин або діяльності органів і систем органів, які вивчаються.

Незначні додаткові дози опромінення людина отримує від таких техногенних джерел, як теплові електростанції (підвищена активність їх відходів та аерозолів), підприємств, які пов'язані з видобуванням та переробкою корисних копалин, а також різноманітних приладів та обладнання з джерелами випромінювання, що знаходять широке використання у промисловості і сільськогосподарському виробництві.

За останні 40 років кожна людина одержує додаткові дози від радіоактивних речовин, які утворились у результаті випробувань ядерної зброї. Радіоактивні продукти частково випадають неподалік від місця випробування, а частково потрапляють у тропосферу та стратосферу і звідти розсіюються по всій поверх-

ні земної кулі. Після заборони ядерних випробувань в атмосфері доза додаткового опромінення від цього джерела знизилась до 1% від природної фонові.

Джерелом випромінювання, навколо якого виникають найбільші суперечки і яке викликає найбільше занепокоєння всього людства, є атомні електростанції. За звичайної роботи ядерного обладнання атомних електростанцій викиди радіоактивних матеріалів у довкілля незначні і не перевищують викидів теплових електростанцій. Але за аварійних обставин, страшним прикладом яких є катастрофа на Чорнобильській АЕС, ці викиди у сотні і тисячі разів перевищують викиди, що утворюються від вибуху ядерної бомби.

Крім того, для виробництва електроенергії на атомних електростанціях необхідне ядерне паливо, виробництво якого, починаючи від видобування уранової руди і закінчуючи виготовленням та транспортуванням паливних елементів, також пов'язане з додатковим радіоактивним забрудненням довкілля. Аналогічні проблеми виникають при вирішенні питань, пов'язаних із захованням відходів підприємств паливно-енергетичного циклу та атомних електростанцій.

1.3 Дозиметрія як основна категорія вимірювань

Дозиметрія - розділ прикладної ядерної фізики, що розглядає іонізуюче випромінювання, фізичні величини, що характеризують поле випромінювання або взаємодію випромінювання з речовиною, а також принципи і методи визначення цих величин. Дозиметрія має справу з такими фізичними величинами іонізуючого випромінювання, які визначають його хімічну, фізичну і біологічну дію. Найважливіша властивість дозиметричних величин - встановлений зв'язок між фізичною величиною що вимірюється і очікуваним радіаційним ефектом.

В перші роки роботи вчених з рентгенівським випроміненням і радіоактивними елементами не робилися спроби щодо обмеження опромінення людини, не дивлячись на розуміння небезпеки іонізуючих випромінювань.

Лише через майже 7 років з моменту відкриття рентгенівського випромінювання, англійський учений Роллінз в 1902 році запропонував обмежити опромінення тих, що працюють дозою, яка викликала почорніння використовуваних в той період часу фотоемульсій, що відповідало експозиційній дозі 10 Р/доба.

Проте перше чітке уявлення про фізично обгрунтоване поняття дози, досить близьке до сучасного, розробила швейцарська лікарка і фізик Крістен в статті «Вимір і дозування рентгенівських променів». Перш ніж в дозиметрії почали застосовувати фізично обгрунтовані методи, застосовували біологічні методи дозиметрії. Так виявлені і згодом добре вивчені ранні поразки шкірних покривів в осіб, що працюють з іонізуючим випромінюванням, послужили підставою для пропозицій ведучих радіологів світу про обмеження професійного опромінення.

Згодом цими питаннями стали займатися спеціально створені національні комітети із захисту від іонізуючих випромінювань, які були створені в 1921 році в багатьох країнах. У ці роки була введена така одиниця рентгенівського випромінювання як рентген. У 1925 році американський радіолог Матчеллер рекомендував як толерантну (переносиму) дозу за місяць - дозу, рівну 340 Р (близько 100 мР/доба). Проте, лише в 1934 році, Міжнародна комісія із захисту від рентгенівського випромінювання і радію, яка була створена в 1928 році (в даний час це Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ), вперше рекомендувала національним урядам прийняти як толерантної дозу 200 мР/доба. У 1936 році ця комісія зменшила вказану дозу до 100 мР/доба.

Подальше накопичення наукових даних про дію іонізуючого випромінювання, зокрема про скорочення тривалості життя експериментальних тварин, термін толерантна доза замінили обережнішим - гранично допустима доза (ГДД). Вже в 1948 році МКРЗ рекомендувало понизити ГДД опромінення професіоналів до 50 мР/доба (6 Зв за 40 років роботи), сформулювавши поняття ГДД як **«такої дози, яка не повинна викликати значного пошкодження людського організму у будь-який момент часу протягом його життя»**.

У 1953 році Міжнародна комісія з радіаційних одиниць і вимірів (яка була створена в 1925 році), ввела в практику загальнозастосовну дозову величину - поглинену дозу замість рентгена, яка стала застосовуватися як одиниця експозиційної дози. У 1958 році, на основі нових наукових даних, МКРЗ понизило ГДД до 0,6 Зв у віці до 30 років. У колишньому СРСР, в 1987 році ГДД була обмежена величиною 50 мЗв/рік.

У 1997 році Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) для професіоналів (категорія А - професійні працівники, які постійно або тимчасово працюють з джерелами іонізуючого випромінювання) прийнята ГДД що дорівнює 20 мЗв/рік, для персоналу (категорія Б - особи не працюють безпосередньо з джерелами іонізуючого випромінювання, але за умовами роботи або мешкання можуть піддаватися дії іонізуючого випромінювання) - 2 мЗв/рік, а для населення - 1 мЗв/рік.

Першопричиною радіаційних ефектів є поглинання енергії випромінювання опромінюваним об'єктом, і доза, як міра поглиненої енергії, є основною дозиметричною величиною. Тому, основною фізичною дозиметричною величиною, що використовується для оцінки міри дії випромінювання на середовище, є поглинена доза випромінювання.

Поглинена доза випромінювання (D) - це величина що визначається енергією випромінювання (Дж) поглинаємою одиницею маси (кг) опромінюваної речовини. За одиницю дози в системі СІ прийнятий грей (Гр):

$$D = 1\text{Дж}/1\text{кг}=1\text{ Гр.}$$

Грей це така доза іонізуючого випромінювання, при якій ділянці речовини масою 1 кг передається енергія 1 Дж. Позасистемною одиницею є "рад". 1 рад = 0,01 Гр.

Поглинена доза характеризує не саме випромінювання, а міру його дії на середовище. В принципі один і той же потік випромінювання в різних середовищах і навіть в різних ділянках одного середовища може сформувати різну величину поглиненої дози. Тому, коли говорять про поглинену дозу,

необхідно вказувати, в якому середовищі вона сформована: в повітрі, воді або м'якій біологічній тканині.

Для характеристики розподілу дози опромінення в часі використовують величину потужності поглиненої дози, або інтенсивності опромінення. Під цим розуміють кількість енергії випромінювання, що поглинається в одиницю часу одиницею маси опромінюваної речовини (Гр/година; Гр/рік).

При практичному використанні випромінювань людина, виключаючи спеціальні випадки медичних дій і радіаційні аварії, піддається дії малих доз опромінення. Умови роботи професіоналів в даний час найчастіше відповідають ситуації, коли чутливі мішені кліток їх організму одиничних треків іонізуючих часток, що формують дозу опромінення, істотно більше того часу, впродовж якого працюють репаративні (відновні) системи кліток, що усувають порушення, викликані частинкою що пройшла.

В цих умовах індуковані біологічні ефекти не залежать від таких чинників, як потужність дози, її розподіл, умови і ритм опромінення. Вихід ефектів визначається лише сумарною накопиченою дозою (незалежно від часу опромінення), тобто наслідки опромінення будуть однаковими при однократному опроміненні даною дозою, або при її здобутті протягом декількох днів, місяців і навіть року. На міру вираженості ефекту впливатиме лише просторовий розподіл актів іонізації і збудження, що створюються в треках, тобто лінійного передавання енергії (ЛПЕ) іонізуючого випромінювання. Тому, для таких умов введена спеціальна величина дози, що враховує обидва цих чинника, - еквівалентна доза. Цією величиною можна однозначно пов'язати вихід радіаційних наслідків опромінення з дозою опромінення.

Еквівалентна доза (H) визначається як добуток поглиненої дози (D) даного виду випромінювання на середнє значення зважуючого фактору (коефіцієнта якості) іонізуючого випромінювання (WR), в даному елементі - об'єму біологічної тканини. Значення WR для різних видів випромінювань представлені в таблиці 1. Ця доза є міра вираженості стохастичних ефектів

опромінення. Вона застосовна для оцінки радіаційної небезпеки хронічного опромінення випромінюванням довільного складу (і гострого опромінення дозою менше 0,25 зіверт) і визначається за формулою:

$$H = D \cdot WR$$

За одиницю еквівалентної дози в системі СІ прийнятий зіверт (Зв). Зіверт дорівнює такій еквівалентній дозі, при якій, величина добутку поглиненої в біологічній тканині дози іонізуючого випромінювання на середнє значення зважуючого фактору, для цього випромінювання дорівнює 1 Дж/кг. Позасистемною одиницею є "бер" (біологічний еквівалент рентгена). 1 бер = 0,01 Зв.

З визначення виходить, що для випромінювання з $WR = 1$, еквівалентна доза 1 Зв реалізується при поглиненій дозі 1 Гр, тобто для цього випадку 1 Зв = 1 Гр. Якщо ж WR відмінно від 1, то еквівалентна доза 1 Зв буде сформована в біологічній тканині при величині поглиненої дози в ній рівною $(1/WR)$ Гр. Допускається підсумовування еквівалентних доз для оцінки загального рівня опромінення за тривалий проміжок часу, якщо кожна разова доза, що мала місце при фракціонованому гострому опроміненні за цей час не перевищувала 0,25 Зв.

Таблиця 1.4 - Значення радіаційних зважуючих факторів (WR)

Вид випромінювання і діапазон енергії	WR
Фотони, всі енергії (включаючи гама- і рентгенівське випромінювання)	1
Електрони (позитрони) і мюони, всі енергії	1
Протони з енергією > 2 МеВ	5
Нейтрони з енергією < 10 кеВ	5
Нейтрони з енергією від 10 кеВ до 100 кеВ	10
Нейтрони з енергією від 100 кеВ до 2 МеВ	20
Нейтрони з енергією від 2 МеВ до 20 МеВ	10
Нейтрони з енергією > 20 МеВ	5
Альфа-частки, уламки ділення, важкі ядра віддачі	20

Для змішаного випромінювання еквівалентна доза визначається як сума добутоків поглинених доз окремих видів випромінювань на відповідні значення зважуючих факторів цих випромінювань.

При заданій еквівалентній дозі опромінення вірогідність виходу стохастичних наслідків залежить від опромінюваної їм тканини або органу. Тому, був введений ще один коефіцієнт, що враховує специфіку різних тканин з точки зору вірогідності індукції в них стохастичних наслідків опромінення, - тканинний зважуючий фактор (WT). Прийняті в теперішній час значення WT представлені в таблиці 2 і використовуються виключно для розрахунку ефективної дози. Зважуючі тканинні фактори введені, виходячи з концепції безпорогової дії випромінювань, а їх величини відповідають виходу стохастичних наслідків для різних органів і тканин, отриманому на основі лінійної екстраполяції наявних даних з області великих доз опромінення (оскільки реальний вихід стохастичних наслідків в області малих доз невідомий).

Таблиця 1.5 - Значення тканинних зважуючих факторів (WT)

Тканина або орган	WT
Гонади (статеві залози)	0.20
Червоний кістяний мозок	0.12
Товста кишка	0.12
Легені	0.12
Шлунок	0.12
Сечовий міхур	0.05
Молочна залоза	0.05
Печінка	0.05
Стравохід	0.05
Щитовидна залоза	0.05
Шкіра	0.01
Кісткова поверхня	0.01
Інші тканини і органи (наднирки, нирки, головний мозок, дихальні шляхи позагрудної області, мишці, матка, селезінка, тонка кишка, підшлункова і вилочкова залоза)	0.05
Все тіло	1.00

На відміну від стохастичних ефектів, не стохастичні (детерміновані) виявляються лише при отриманні певних доз (табл.1.6).

Таблиця 1.6 - Значення доз, нижче яких виключено виникнення не стохастичних (детермінованих) ефектів

Орган, тканина	Не стохастичний (детермінований) ефект	Доза, Гр
Все тіло	Блювота	0,5
Кістяний мозок	Смерть	1,0
Шкіра	Опік, тимчасова епіляція	3,0
Легені	Пневмонія	5,0
Легені	Смерть	10
Щитовидна залоза	Порушення, деструкція залози	10

Абсолютні значення факторів підбрані так, щоб їх сумарна величина дорівнювала одиниці. Це дозволяє трактувати тканинні зважуючі фактори, як набір коефіцієнтів, що визначають відносні вклади відповідних органів в сумарний вихід стохастичних наслідків, що виникають при рівномірному опроміненні всього організму. Самим радіочутливим органом по критерію виходу цих наслідків є статеві залози, повністю відповідальні за генетичні ефекти і частину соматичних стохастичних наслідків опромінення.

Фізичний сенс поняття ефективної дози наступний: значення **ефективної дози (E)** відповідає такому рівню рівномірного опромінення всього організму, при якому сумарний вихід стохастичних наслідків опромінення у нього буде таким же, як і в разі локального опромінення органу (T) еквівалентною дозою величиною (H):

$$E = H \cdot WT$$

За одиницю ефективної дози в системі СІ теж був прийнятий зіверт (Зв). При рівномірному опроміненні - ефективна доза дорівнює еквівалентній дозі. При нерівномірному опроміненні - ефективна доза дорівнює добутку еквівалентної дози на тканинний зважуючий фактор, або дорівнює такій

еквівалентній дозі (при рівномірному опроміненні), яка створює такий же ризик небажаних наслідків.

Ефективна доза є мірою виходу стохастичних наслідків біологічної дії малих доз опромінення на даного індивіда, тобто вона є міра індивідуальної небезпеки, обумовленої дією на організм малих доз іонізуючих випромінювань.

Для фотонного випромінювання введена специфічна величина в дозиметрії - **експозиційна доза**. Чисельно вона дорівнює абсолютному значенню повного заряду іонів одного знаку, утворених в одиниці маси повітря при повному гальмуванні електронів і позитронів, звільнених фотонами (рентгенівським випромінюванням).

Одиницею виміру експозиційної дози в системі СІ є кулон/кг (Кл/кг), позасистемною одиницею є рентген (Р).

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

Експозиційну дозу можна використовувати для наближеної оцінки поглиненої і експозиційної доз в речовині (табл. 1.7).

Таблиця 1.7 - Перерахунок доз для гама-випромінювання (мишці)

Величина	Система	Одиниця	Перерахунок в:
Експозиційна доза	СИ	Кл/кг	Поглинену 1 Р ~ 0,0091 Гр ~0,96 рад
	Позасистемна	Р	Еквівалентну 1 Р ~ 0,0091 Зв ~0,91 бер
Поглинена доза	СИ	Гр	Експозиційну 1 Гр = 100 рад ~110 Р
	Позасистемна	рад	Еквівалентну 1 Гр = 1 Зв=100 бер
Еквівалентна доза	СИ	Зв	Експозиційну 1 Зв ~110 Р
	Позасистемна	бер	Поглинену 1 Зв = 100 бер = 1 Гр

2 ПРИЛАДИ ДОЗИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ: ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ВИДИ

Прилади дозиметричного контролю іонізуючих випромінювань призначені для вимірювання потужності іонізуючих випромінювань (рівня радіації) і ступеня радіоактивного забруднення різних предметів.

В сучасних дозиметричних приладах найбільш розповсюджений іонізаційний метод знаходження та вимірювання іонізуючих випромінювань. Він заснований на використанні однієї з властивостей радіоактивних речовин – іонізувати середовище, в якому вони розповсюджуються (тобто розщеплювати нейтральні молекули або атомні пари: додатні – іони і від’ємні - електрони).

Якщо взяти замкнений об’єм газу і надати йому електричний струм, то ті електрони та іони, що утворюються при опроміненні прийдуть до упорядкованого руху: перші будуть переміщуватись до анода, другі – до катода. В результаті між електродами (анодом і катодом) виникає так званий іонізаційний тік, величина котрого прямо пропорційна потужності дози іонізуючого випромінювання. По силі іонізаційного току можна судити про інтенсивність випромінювань.

2.1. Принципи роботи дозиметричних приладів



Рис. 2.1 - Іонізаційна камера

Сприймаючими пристроями дозиметричних приладів є іонізаційні камери та іонізаційні лічильники.

Іонізаційна камера являє собою заповнений повітрям замкнутий об’єм, в якому поміщені додатній і від’ємний електроди. Анодом в ній служить тонкопровідна куля , катодом – металевий стержень. До електродів

підводиться струм від джерела живлення, яке утворює в камері електричне поле. Якщо іонізуючих променів немає, то повітря в камері не іонізоване і не проводить електричний струм.

Під впливом випромінювань, повітря в камері іонізується, ланцюг замикається і по ній проходить іонізаційний тік. Він поступає в електричну схему приладу, підсилюється, перетворюється і змінюється міліамперметром, шкала якого відградує в рентгенах на годину або мілірентгенах на годину. Подібні іонізаційні камери застосовуються в приладах, за допомогою яких вимірюють потужність дози гамма-випромінювання (рівень радіації) на місцевості.

Газорозрядний лічильник уявляє собою металевий (або скляний)



циліндр, заповнений розрідженою сумішшю інертних газів з невеликими добавками, які поліпшують його роботу.

Анодом служить тонка металева нить, натягнута всередині корпусу, котрий є катодом (у скляних лічильників катод – тонкий шар метала, нанесений на внутрішню поверхню корпусу).

Рис. 2.2 - Газорозрядний лічильник

Газорозрядні лічильники

застосовуються в приладах, призначених для виявлення і вимірювання ступеня забрудненості різних поверхонь радіоактивними речовинами. Вони також можуть використовуватися для вимірювання потужності дози гамма-випромінювань (рівня радіації).

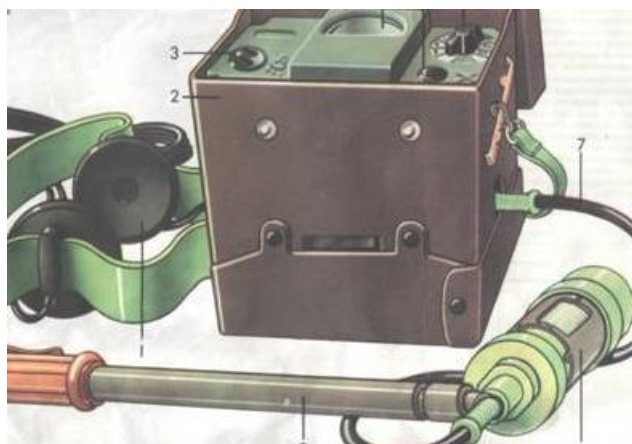
В залежності від виконання завдання прилади радіаційної і хімічної розвідки та дозиметричного контролю розділяються на:

- Вимірювачі потужності дози, при допомозі яких вимірюються рівні (ДП-3б, ВПД-21с, ВПД-21Б);
- Вимірювачі потужності дози – ДП-5А, Б, В, ВПД-12, при допомозі яких мікродіапазонні комбіновані прилади;

- Вимірювачі поглинання дози – (ІД-1, ІД-11) (гамма-, нейтронні випромінювання) – це прилади індивідуального дозиметричного контролю, при допомозі яких виявляють, яку дозу отримала людина (персонально), в якій ситуації або за відповідний період;
- Дозиметри – (ДК-02, ДКП-50, ДП-22В, ДП-24) для одного виду випромінювання;
- Газосигналізатори автоматичні (ГСА-12, АСП, ГСП-11, ГС-СОМ), при допомозі яких проводиться автоматичний контроль навколишнього середовища з метою виявлення парів отруйних, радіаційних речовин, аерозолів;
- Декадно-розрахункова установка (ДП-100, ДП-100 АДМ), призначена для вимірювання кількості електричних імпульсів при виявленні ступені зараженості радіаційними ізотопами води, продовольства, повітря, проб ґрунту і т. д.

Вимірювач потужності дози ДП-5

Вимірювач потужності дози (рентгенметр ДП-5В призначається для



вимірювання рівнів гамма-радіації і радіоактивної зараженості різноманітних предметів гамма-випромінювання.

Рис. 2.3 - Рентгенметр ДП-5В

Потужність експозиції дози гамма-випромінювання визначається у мілірентгенах (або рентгенах на 1 годину) для тієї точки простору, де

знаходиться блок детектування приладу. Крім того, приладом ДП-5В можна виміряти і рівень бета-випромінювання. Діапазон змін має шість піддіапазонів вимірювань.

ДП-64 призначений для постійного спостереження і виявлення початку радіаційного зараження. Прилад стаціонарний, використовується як правило в приміщеннях, датчик виноситься на вулицю. Прилад ДП-64 працює в

слідкуючому режимі та забезпечує звукову та світлову сигналізацію через 3 секунди по досягненню рівнів гамма-випромінювання 0,2 р/год. На наявність гамма-випромінювання вказує спалах неонові лампи та синхронні клацання динаміка.

Прилади ДП-3б, МД С (стаціонарний), МД Б (бортовий) – вимірювачі потужності дози. Призначені для вимірювання рівнів радіації на місцевості, зараженій радіоактивними речовинами (радіонуклідами). Вони є основними приладами для проведення радіаційної розвідки на рухомих механізованих транспортних засобах (автомобіль, БТР, вертоліт і т. д.), які мають бортову мережу постійного струму напругою 12 або 26 В.

Дозиметр ДП-22В (ДКП-50А)



Рис. 2.4 - Дозиметр ДП-22В

Дозиметр ДП-22В – це комплект індивідуальних дозиметрів ДКП-50А, призначених для вимірювання дози іонізуючого випромінювання, отриманого людьми під час перебування на радіоактивно забрудненій місцевості.

Вимірювач потужності дози

ІМД-21с (б) призначений для вимірювання потужності експозиційної дози гамма-випромінювання та видачі світлового сигналу про перевищення порогового значення потужності експозиції дози гамма-випромінювання. Вимірювач потужності дози використовується як стаціонарний (ІМД-21с), так і рухомий (ІМД-21б).

ІМД-21с (б) забезпечує вимірювання потужності експозиційної дози гама – випромінювання від 1 до 10 000 р/год.

ІМД-21с (б) забезпечує сигналізацію про перевищення встановленого порогового значення потужності експозиційної дози гамма-випромінювання 1,5, 10, та 100 р/год.

Прилади ІД-1, ІД-11 – це комплекти індивідуальних дозиметрів, які служать для вимірювання поглинених доз гама – випромінювання у межах 2-500 рад. при потужності від 10 до 360 0000 рад/год. Це мініатюрні пристрої, з допомогою яких виявляють дозу, яку дістала людина персонально. ІД-1 та ІД-11 по виду реєструємих доз відносяться:

По діапазону реєструємих доз: до аварійних, грубих, розраховані на високі рівні радіації;

Конструктивно: ІД-1 – прямопоказуючі, ІД-11 – непрямопоказуючі.

Прилад ДК-0,2 – прямопоказуючий дозиметр, виконаний у виді авторучки з оптичним окуляром, який дозволяє безпосередньо проводити відрахунок експоненційної дози гамма-випромінювання в діапазоні 0-200 мР. В його корпусі вмонтована інтегруюча іонізаційна камера та конденсатор, живлення якого здійснюється перед роботою від зарядного пристрою.

Радіометр-дозиметр гамма-, бета-випромінювань РКС-01 "Стора"



Рис. 2.5 - Радіометр-дозиметр гамма-, бета-випромінювань РКС-01

Радіометр-дозиметр гамма-, бета-випромінювань РКС-01 "Стора" призначений для індивідуального і колективного користування при вимірюванні значення потужності експозиційної дози гамма-випромінювання та щільності потоку бета-частинок.

Радіометр призначений для вимірювання радіаційного фону в місцях проживання і праці населення, контролю радіаційної чистоти житлових і виробничих приміщень, будівель та споруд, предметів одягу, території, що прилягає, поверхні ґрунту на присадибних ділянках, транспортних засобів.

Прилад забезпечує високу точність обробки інформації, зміну оперативності вимірювань без втрат точності при різних рівнях випромінювання. Схема обробки інформації приладу позбавлена температурної нестабільності, прилад має низьке енергоспоживання, живиться від акумуляторів.

Дозиметр-радіометр гамма-, бета-випромінювань ДКС-01М "Селвіс"

Дозиметр-радіометр гамма-, бета-випромінювань ДКС-01М "Селвіс" призначений для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалентної дози гамма- та рентгенівського випромінювань, часу накопичення еквівалентної дози, а також поверхневої щільності потоку бета – частинок.

Дозиметр використовується для і радіометричного контролю на промислових підприємствах, атомних електростанціях, в науково-дослідницьких організаціях; контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, території, що до них прилягає, предметів побуту, одягу, поверхні ґрунту на присадибних ділянках, транспортних засобів.



Рис. 2.6 - Дозиметр гамма-випромінювання індивідуальний ДКС-02К "КАДМІЙ"

Дозиметр гамма-випромінювання індивідуальний ДКС-02К "КАДМІЙ"

Дозиметр гамма-випромінювання індивідуальний ДКС-02К "КАДМІЙ" призначений для вимірювання еквівалентної дози та потужності еквівалентної дози гамма- та рентгенівського випромінювань, а також часу накопичення еквівалентної дози.

Дозиметр використовується для індивідуального дозиметричного контролю на промислових підприємствах, атомних електростанціях, в науково-дослідницьких організаціях, радіологічних відділах, а також контролю радіаційного забруднення оточуючого середовища.

Прилад має звукову та світлову сигналізацію перевищення порогових рівнів, можливість програмування порогових рівнів по дозі та потужності дози.

Дозиметр-радіометр гамма-, бета-випромінювань пошуковий МКС-07 "ПОШУК"



Рис. 2.7 - Дозиметр-радіометр гамма-, бета-випромінювань пошуковий МКС-07 "ПОШУК"

Дозиметр-радіометр гамма-, бета-випромінювань пошуковий МКС-07 "ПОШУК" призначений для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалентної дози гамма- та рентгенівського випромінювань, а також

поверхневої щільності потоку бета-частинок.

Дозиметр використовується для дозиметричного та радіометричного контролю на промислових підприємствах,

атомних електростанціях, в науково-дослідницьких організаціях; контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, території, що до них прилягає, предметів побуту, одягу, поверхні ґрунту на присадибних ділянках, транспортних засобів.

Прилад забезпечує можливість програмування порогових рівнів потужності дози гамма-випромінювання та щільності потоку бета-частинок, звукову сигналізацію зареєстрованих гамма-квантів, бета-частинок та перевищення запрограмованого порогового рівня потужності еквівалентної дози чи щільності потоку бета-частинок; реєстрацію м'яких бета-випромінювань.

Дозиметр-радіометр універсальний "МКС-У"



Рис. 2.8- Дозиметр-радіометр універсальний "МКС-У"

Дозиметр-радіометр універсальний "МКС-У" (модернізований рентгенометр ДП-5В) призначений для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалентної

дозы гамма-випромінення та поверхневої щільності потоку бета-частинок.

Прилад забезпечує можливість роботи в умовах атмосферних опадів (дощ, сніг), в умовах запиленої атмосфери та при заглибленні виносного детектора гамма-випромінення в воду на глибину до 0,5 м., вимірювання аварійних рівнів перевищення еквівалентної дози гамма-випромінення з доставкою виносного детектора на відстань до 30 м., автоматичну установку інтервалів та діапазонів вимірювань.

3 РОЗГЛЯД МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ВАНТАЖІВ

3.1. Рекомендації щодо розроблення та реалізації методик виконання вимірювань

Розроблення та реалізацію МВВ необхідно виконувати поетапно відповідно з вимогами ГОСТ 8.010:

- поставлення завдання щодо вимірювання;
- визначення вимог до МВВ;
- вибір та підтвердження можливості реалізації МВВ;
- визначення варіанта створення МВВ; – розроблення проекту документа, що регламентує МВВ (стандарт, технічні умови, рекомендації тощо);
- метрологічна експертиза проекту документа, що регламентує МВВ;
- визначення необхідності атестації МВВ;
- атестація МВВ;
- затвердження та реєстрація МВВ;
- формування МВВ;
- вимірювання за МВВ;
- метрологічний контроль та нагляд за атестованими МВВ;
- коригувальні дії щодо атестованої МВВ;
- поліпшування атестованої МВВ.

3.2. Загальні відомості

Методика (далі – МВВ) встановлює процедуру проведення вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення та поверхневої густини потоку бета-часток на поверхні транспортних засобів та вантажів.

Амбієнтний еквівалент дози $H^*(d)$ – еквівалент дози, який був створений в кульовому фантомі МКРЕ (міжнародної комісії з радіаційним одиницям) на глибині d (мм) від поверхні по діаметру, що паралельний напрямку випромінювання, в полі випромінювання, ідентичному оскільки він розглядався за складом, флюенса і енергетичного розподілу, але мононаправленному і однорідному, **тобто амбієнтний еквівалент дози $H^*(d)$ - це зовнішня еквівалентна доза, яку отримала би людина, якби вона перебувала на місці, де проводиться вимір.** Одиниця амбієнтної еквівалентної дози - зіверт (Зв)

Потужність амбієнтного еквіваленту дози $H^*(d)$ – відношення приросту амбієнтного еквіваленту дози $dH^*(d)$ за інтервал часу dt до величини цього інтервалу $H^*(d) = dH^*(d) / dt$

МВВ застосовується з метою виконання вимірювань у сфері поширення державного метрологічного контролю та нагляду, а саме контролю стану навколишнього природного середовища. Діапазон вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення становить від 0,1 мкЗв/год до 10 мкЗв/год включно. Діапазон вимірювань поверхневої густини потоку бета-часток становить від 10 част/(см² хв.) до 1000 част/(см² хв) включно.

Метод вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення ґрунтується на прямому вимірюванні потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення на поверхні обстежуваного об'єкта. Метод вимірювання поверхневої густини потоку бета-часток ґрунтується на прямому вимірюванні поверхневої густини потоку бета-часток на поверхні обстежуваного об'єкта.

Характеристики похибки вимірювань МВВ забезпечує виконання вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення на поверхні об'єктів із границями сумарної відносної похибки ($\pm\delta\gamma$), значення якої за довірчої ймовірності $P = 0,95$ не перевищує 40 %. МВВ забезпечує виконання вимірювань поверхневої густини потоку бета-часток на поверхні об'єктів із границями сумарної відносної похибки ($\pm\delta\beta$), значення якої за довірчої ймовірності $P = 0,95$ не перевищує 40%.

3.3. Засоби вимірювальної техніки та допоміжне обладнання

Дозиметр-радіометр пошуковий типу МКС-07-«Пошук», РКС-01 «Стора-ТУ» (далі – дозиметр-радіометр) або інші з метрологічними характеристиками та показниками якості не нижчими за вказані в цій МВВ. Засоби вимірювальної техніки мають бути повірені або атестовані в установленому порядку.

3.4. Вимоги безпеки

При виконанні вимірювань дотримуються вимог радіаційної безпеки відповідно до:

- ДГН 6.6.1-6.5.001-98 Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97;
- ДСП 6Л 77-2005-09-02 Державні санітарні правила.

3.5. Радіаційна гігієна

Забороняється зберігання та використання дозиметрів-радіометрів зі знятими кришками для запобігання псування та втрати контрольних, джерел із радіонуклідами, які можуть входити до комплекту дозиметра-радіометра.

3.6. Вимоги до кваліфікації операторів

До виконання вимірювань й обробки їх результатів допускаються фахівці, які пройшли інструктаж із радіаційної безпеки та охорони праці, ознайомилися з даною методикою й інструкцією з експлуатації дозиметра-радіометра та яких допущено до роботи в установленому в організації порядку.

3.7. Підготовка до виконання вимірювань та виконання вимірювань

Вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення. Дозиметр-радіометр підготовлюють до вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення згідно з інструкцією з експлуатації. Вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення на місці розташування об'єкта (фону)

За допомогою дозиметра-радіометра здійснюють декілька одиничних вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення фону:

- по можливості, рівномірно по контуру майданчика, де буде знаходитись обстежуваний об'єкт, у разі його відсутності на майданчику;
- по можливості, рівномірно навкруги об'єкта вимірювань на відстані від нього, не меншій ніж розмір об'єкта в горизонтальній площині, у разі його наявності на майданчику.

Вимірювання здійснюють, розташовуючи детектор дозиметра-радіометра на рівні одного метра над поверхнею майданчика. У точці, де зареєстровано мінімальне значення потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення, проводять багаторазові вимірювання гамма-фону. Кількість одиничних вимірювань повинна бути такою, щоб значення

відносного середньоквадратичного відхилення (далі – СКВ) середнього значення результатів вимірювань не перевищувало 0,2.

3.8. Вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення об'єкта

Виявляють точки на поверхні об'єкта, в яких значення потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення більше ніж у 1,3 рази перевищує контрольний фоновий рівень. Для цього в пам'ять дозиметра-радіометра вводять пороговий рівень спрацьовування звукової сигналізації, а саме 1,3 значення контрольного фонового рівня, а також встановлюють мінімально можливий проміжок часу між послідовними вимірюваннями. У режимі пошуку детектор дозиметра-радіометра переміщують по маршрутним лініям зйомки на поверхні об'єкта, прокладеним паралельно поверхні контрольного майданчика на відстані 0,5 м одна від одної, на мінімальній можливій відстані (не більше ніж 10 см) від поверхні об'єкта, зі швидкістю не більше ніж 0,1 м/с. Починають, наприклад, уздовж одного з розмірів об'єкта (довжини, висоти чи товщини), після закінчення початкової лінії переміщення продовжують по іншій найближчій лінії і так далі, максимально охоплюючи всю поверхню об'єкта. Зчитування показів дозиметра-радіометра та порівняння їх із контрольним рівнем проводять через кожні 0,5 м маршрутної лінії зйомки. Якщо за даними зйомки не виявлено точок, у яких покази дозиметра-радіометра перевищують контрольний фоновий рівень потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення в 1,3 рази, результат радіаційного контролю вважають позитивним, а за результат вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення об'єкта приймають контрольний фоновий рівень потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення. У випадку виявлення такої точки, проводять більш детальне обстеження поверхні об'єкта навколо неї, переміщуючи детектор по поверхні об'єкта в

різних напрямках до виявлення точок» з максимальними показами дозиметра-радіометра (далі – контрольної точки). У контрольній точці на поверхні об'єкта в режимі вимірювань здійснюють багаторазові вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення, розміщуючи детектор на мінімальній можливій відстані від неї (не більше ніж 10 см). Кількість одиничних вимірювань при цьому дорівнює кількості одиничних вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма- випромінення фону.

3.9. Вимірювання поверхневої густини потоку бета-часток

Вимірювання поверхневої густини потоку бета-часток здійснюють, якщо в режимі пошуку на поверхні об'єкта виявлено контрольні точки. Дозиметр-радіометр підготовлюють до вимірювань поверхневої густини потоку бета-часток згідно з інструкцією з експлуатації. Проводять багаторазові вимірювання поверхневої густини потоку бета-часток власного фону дозиметра-радіометра, розташовуючи детектор бета-часток на рівні 1 м над поверхнею майданчика. Кількість одиничних вимірювань при цьому дорівнює кількості одиничних вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення фону. Вимірювання поверхневої густини потоку бета-часток об'єкта. Проводять багаторазові вимірювання поверхневої густини потоку бета-часток об'єкта, розміщуючи блок детектування на мінімальній можливій відстані (не більше ніж 10 см) від виявленої контрольної точки на поверхні об'єкта. Кількість одиничних вимірювань при цьому дорівнює кількості одиничних вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення фону. 9. Обробка результатів вимірювань Обробку результатів вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення та поверхневої густини потоку бета-часток виконують згідно з ДСТУ ГОСТ 8.207-2008.

3.10. Обробка результатів вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення фону

Розраховують потужність амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення фону, $H(10)_\phi$, мкЗв/год, як середнє арифметичне результатів n одиничних вимірювань, $H(10)_\phi i$, мкЗв/год, за формулою (3.1):

$$H(10)_\phi = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n H(10)_\phi i \quad (3.1)$$

Розраховане значення приймають за контрольний фоновий рівень потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення.

Розраховують відносне СКВ середнього значення результатів вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення фону, S_ϕ , за формулою (3.2):

$$S_\phi = \frac{1}{H(10)_\phi} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H(10)_\phi i - H(10)_\phi}{n(n-1)}} \quad (3.2)$$

Значення відносного СКВ середнього значення результат вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення фону не повинно перевищувати 0,2: $S_\phi \leq 0,2$.

Розраховують середнє арифметичне результатів n одиничних вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення об'єкта, отриманих в контрольній точці, $H(10)_M$, мкЗв/год, за формулою (3.3):

$$H(10)_M = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n H(10)_{mi} \quad (3.3)$$

Результат вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення об'єкта, $H(10)_{mo}$, мкЗв/год, розраховують як різницю між

середнім значенням потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення об'єкта в контрольній точці та контрольним фоновим рівнем потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення за формулою (3.4):

$$H(10)_{mo} = H(10)_m - H(10)_\phi \quad (3.4)$$

3.11. Обробка результатів вимірювань поверхневої густини потоку бета-часток

Розраховують контрольний фоновий рівень поверхневої густини потоку бета-часток, F_ϕ , част/(см²·хв), як середнє арифметичне результатів n одиничних вимірювань, за формулою (3.5):

$$F_\phi = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n F_{\phi-i} \quad (3.5)$$

Розраховують середнє арифметичне результатів n одиничних вимірювань поверхневої густини потоку бета-часток, F_m , част/(см²·хв), за формулою (3.6):

$$F_\phi = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n F_{mi} \quad (3.6)$$

Результат вимірювання поверхневої густини потоку бета-часток об'єкта, F_{mo} , мкЗв/год, розраховують за формулою (3.7) як різницю між середнім значенням поверхневої густини потоку бета-часток об'єкта в контрольній точці та контрольним фоновим рівнем поверхневої густини потоку бета-часток:

$$F_{mo} = F_m - F_\phi \quad (3.7)$$

3.12. Контроль похибки вимірювань

Періодичний контроль похибки вимірювань за МВВ проводять у стаціонарних лабораторних умовах за допомогою еталонних джерел радіоактивних ізотопів.

Періодичність контролю становить один раз на місяць.

3.13. Оформлення результатів радіаційного обстеження

Результати вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення реєструють у протоколі радіаційного обстеження за цим показником (Додаток 1). В протокол також заносять додаткову інформацію про виявлені контрольні точки на поверхні обстежуваного об'єкта: розташування, координати, умовні позначки, нанесені на об'єкт та ін.

Результати вимірювання поверхневої густини потоку бета-частинок реєструють у протоколі радіаційного обстеження за цим показником. В протокол також заносять додаткову інформацію про виявлені контрольні точки на поверхні обстежуваного об'єкта: розташування, координати, умовні позначки, нанесені на об'єкт та ін.

Результат вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози гамма-випромінення чи поверхневої густини потоку бета-частинок повинен закінчуватись тим же десятковим розрядом, що і його абсолютна похибка.

4 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЗА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І ВАНТАЖІВ

4.1 Актуальність питання

З метою організації та проведення радіаційного контролю транспортних засобів і вантажів, державними інспекторами з охорони навколишнього природного середовища (далі - держекоінспектори) Державної екологічної інспекції Міністерства екології та природних ресурсів України (далі - Держекоінспекція Мінекоресурсів), які виконують роботи з обстеження транспортних засобів і вантажів, що підлягають екологічному контролю, у пунктах пропуску через державний кордон та на митній території України, пропонується алгоритм проведення зазначеного контролю як частина методики виконання вимірювань, що наведена в Розділі 3 даної кваліфікаційної роботи.

Радіаційний контроль (далі - РК) здійснюється з метою недопущення порушень чинного законодавства щодо переміщення через державний кордон радіоактивних речовин та ядерних матеріалів (далі - РР і ЯМ відповідно), а також радіаційно забруднених транспортних засобів та вантажів, у тому числі з метою транзиту.

РК здійснюється держекоінспекторами, які мають необхідну освіту, пройшли навчання за цим напрямком і отримали спеціальне посвідчення на право проведення цього виду контролю, яке видається Державним інститутом підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів Міністерства екології та природних ресурсів України.

Основними завданнями радіаційного контролю є:

- виявлення і недопущення несанкціонованих ввезень, вивезень та

транзитних перевезень через територію України РР і ЯМ;

- здійснення контролю за виконанням вимог норм і правил радіаційної безпеки (далі - РБ) при санкціонованому переміщенні РР і ЯМ через державний кордон;

- здійснення контролю за станом РБ транспортних засобів і вантажів з метою недопущення переміщення радіаційно забруднених об'єктів через державний кордон;

- здійснення контролю і забезпечення РБ персоналу, який здійснює перевезення РР і ЯМ, персоналу постів екологічного контролю в пунктах пропуску через державний кордон та на митній території України.

4.2 Загальний порядок здійснення радіаційного контролю

РК в пунктах пропуску через державний кордон та на митній території.

Радіаційні параметри, що контролюються

Радіаційні параметри, що контролюються	Одиниця вимірювання	Примітка
<i>ПЕД гамма-випромінювання від підконтрольного об'єкта</i>	<i>мкЗв/год (мкР/год)</i>	
<i>ПЕД гамма-випромінювання у кабіні водія</i>	<i>мкЗв/год (мкР/год)</i>	<i>Якщо перевезення автотранспортом</i>
<i>Щільність потоку бета-частинок з поверхні підконтрольного об'єкта</i>	<i>част./хв.×см²</i>	<i>Наявність поверхневого забруднення</i>



Система контрольних рівнів:

Радіаційні параметри, що контролюються	Одиниця вимірювання	Не більше!
<i>ПЕД гамма-випромінювання</i>	<i>мкЗв/год (мкР/год)</i>	<i>0,5 (50)</i>
<i>Щільність потоку бета-частинок, що знімаються з поверхні підконтрольного об'єкта</i>	<i>част./хв.×см²</i>	<i>30</i>

Рис.4.1 - Радіаційні параметри, що контролюються під час проведення радіаційного контролю

Під час вимірювання потужності еквівалентної дози (ПЕД) використовуються радіометричні пошукові прилади типу СРП-68, СРП-88 із сцинтиляційним детектором чи аналогічні їм прилади РК, що дозволяє оперативно виявити місця, де гамма-випромінювання перевищує значення існуючого природного гамма-фону. Показання цих приладів є підставою для подальшого проведення радіометричних досліджень (визначення сумарної питомої радіоактивності вантажу) у місцях, де виявлено рівні, що перевищують природний фон гамма-випромінювання більше ніж на 30%.

Для складання висновків про рівні ПЕД зовнішнього гамма-випромінювання, що формує дозу зовнішнього опромінення людини в місцях її перебування, а також для порівняння фактичних значень ПЕД з допустимими рівнями використовують результати вимірювання ПЕД, що одержані за допомогою приладів-дозиметрів.

Усі прилади мають бути повірені метрологічною службою у встановленому законодавством порядку.

РК транспортних засобів і вантажів, які переміщуються через державний кордон, повинен передбачати чотири послідовні етапи (рівні):

- експрес-контроль наявності іонізуючого випромінювання, яке іде від об'єкта, що контролюється (здійснюється стаціонарними приладами РК);
- детальний контроль, який здійснюється службою екологічного контролю за допомогою переносних дозиметричних приладів та шляхом візуального огляду об'єктів з метою виявлення контейнерів або матеріалів, які призначено для екранування іонізуючого випромінювання (через відсутність стаціонарних приладів РК підконтрольних об'єктів починається з цього рівня);

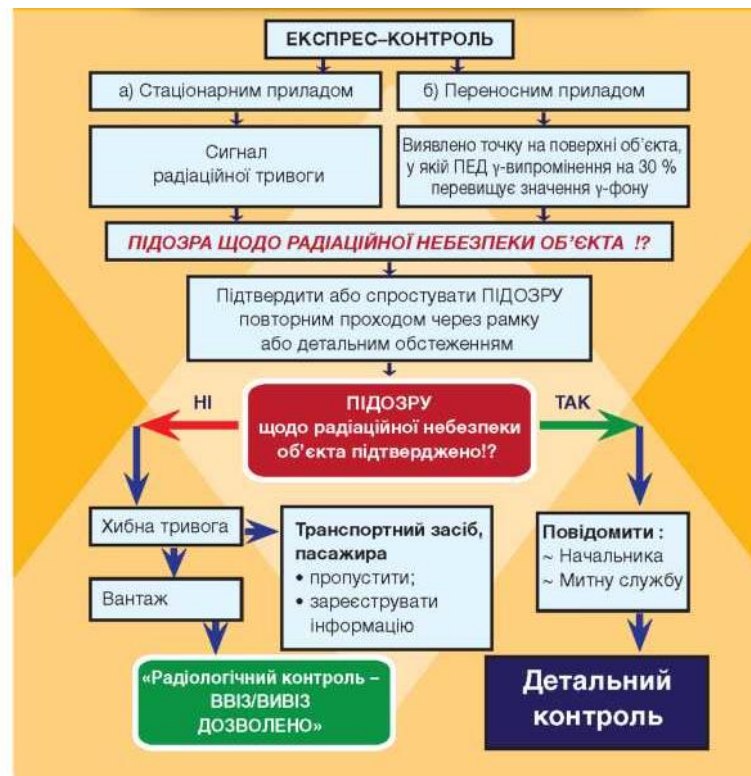


Рис. 4.2 - Алгоритм проведення експрес-контролю РК

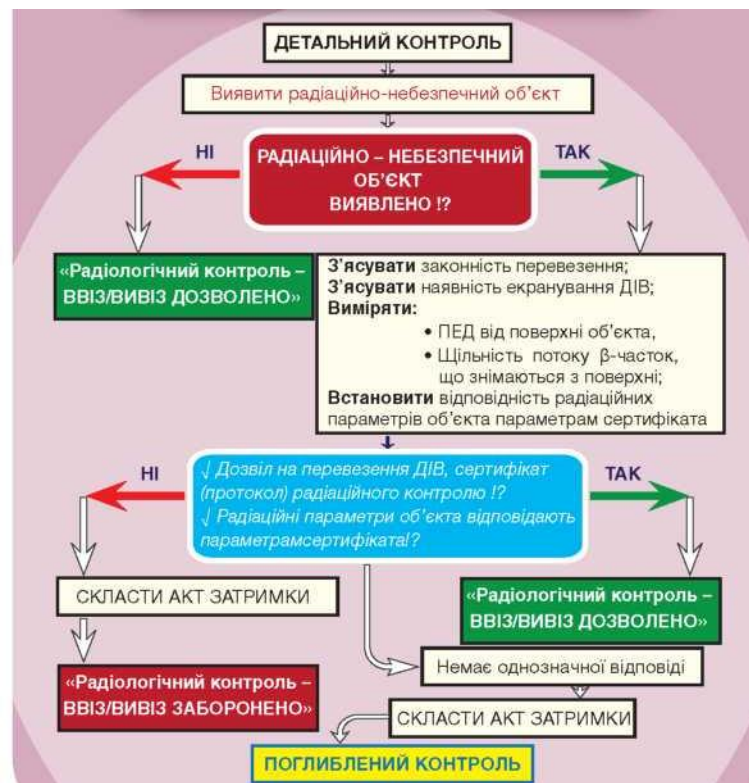


Рис. 4.3 - Алгоритм проведення детального контролю РК

- поглиблений контроль затриманих об'єктів за допомогою обладнання пересувної або найближчої стаціонарної лабораторії державної санітарно-епідеміологічної служби;



Рис. 4.4 - Алгоритм проведення поглибленого контролю РК

- комплексний контроль та ідентифікація радіаційного забруднення затриманих об'єктів (визначення його кількісного та якісного радіонуклідного складу), які проводяться державною санітарно-епідеміологічною службою.

Експрес-контроль є обов'язковим для всіх об'єктів, підконтрольних службі екологічного контролю, що переміщуються через державний кордон України.

4.3 Перелік параметрів, що контролюються, та система контрольних рівнів

Параметри, що контролюються:

- ПЕД - мкР/год (мкЗв/год від підконтрольного об'єкта);
- ПЕД у кабіні водія (якщо перевезення здійснюється

автотранспортом);

- щільність потоку бета-частинок з поверхні підконтрольного об'єкта (наявність радіоактивного забруднення).

Система контрольних рівнів:

- ПЕД - мкР/год (мкЗв/год) не повинна перевищувати 50 мкР/год (0,5 мкЗв/год);

- щільність потоку бета-частинок, що знімаються з поверхні підконтрольного об'єкта, не повинна перевищувати 30 бета-частинок/см(2) хв.

Якщо прилади радіаційного експрес-контролю або детального контролю, який здійснюється замість нього, не фіксують перевищення природного радіаційного фону, то проведення контролю за наступними рівнями не є обов'язковим і об'єкт може бути пропущений через державний кордон.

Проведення другого рівня РК здійснюється на спеціально обладнаному окремому майданчику на відстані не менше ніж 50 м від пункту пропуску через державний кордон. Майданчик має бути огорожений і позначений знаками радіаційної небезпеки.

Якщо другий рівень РК не підтвердить наявності радіаційної небезпеки об'єкта, то він повинен бути допущений до митного контролю.

Якщо другий рівень РК підтвердить наявність радіаційно небезпечного об'єкта, то він допускається до митного контролю за таких обов'язкових умов:

- ввезення, вивезення або транзит об'єкта територією України є санкціонованим, що підтверджується відповідними документами, які супроводжують об'єкт;

- транспортування об'єкта здійснюється без порушень Правил ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006).

У разі отримання сигналу від стаціонарної апаратури РК про перевищення природного рівня випромінювання під час контролю пасажирського транспортного засобу, пасажери повинні пройти по черзі один

за одним через зону дії одного із датчиків апаратури РК. У випадку виявлення конкретної особи, власне випромінювання якої перевищує природний фон, ця особа направляється на проведення огляду в установленому законодавством порядку для проведення РК другого рівня з використанням переносної дозиметричної апаратури для виявлення та вилучення ДІВ.

Залізничний транспорт, судна та літаки підлягають проведенню другого рівня РК. Якщо сигнал детального контролю про перевищення природного рівня випромінювання підтверджується, вони затримуються для подальшої ідентифікації ДІВ і його вилучення в установленому законодавством порядку.

Якщо результати детального РК не дозволяють зробити однозначного висновку про радіаційну безпеку об'єкта або про дотримання Правил ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006) при санкціонованому перевезенні радіаційнонебезпечного об'єкта, то об'єкт затримується на посту екологічного контролю та переводиться на окремий майданчик для проведення третього рівня контролю (поглибленого РК).

За результатами проведення третього рівня РК приймається рішення про можливість переміщення об'єкта через державний кордон згідно з пунктом 3.6. цієї Інструкції.

Держекоінспектор несе відповідальність згідно з чинним законодавством за несвоєчасне виконання процедур радіаційного контролю, необгрунтоване затримання осіб, транспортних засобів, вантажів та іншого майна, що переміщуються через митний кордон.

4.4 Порядок РК транспортних засобів і вантажів

РК транспортного засобу.

Проводяться тільки виміри ПЕД. Під час проведення попередніх вимірювань основним завданням держекоінспектора є виявлення на зовнішній

поверхні транспортного засобу ділянок, на яких значення ПЕД перевищує фонові на 30% і більше

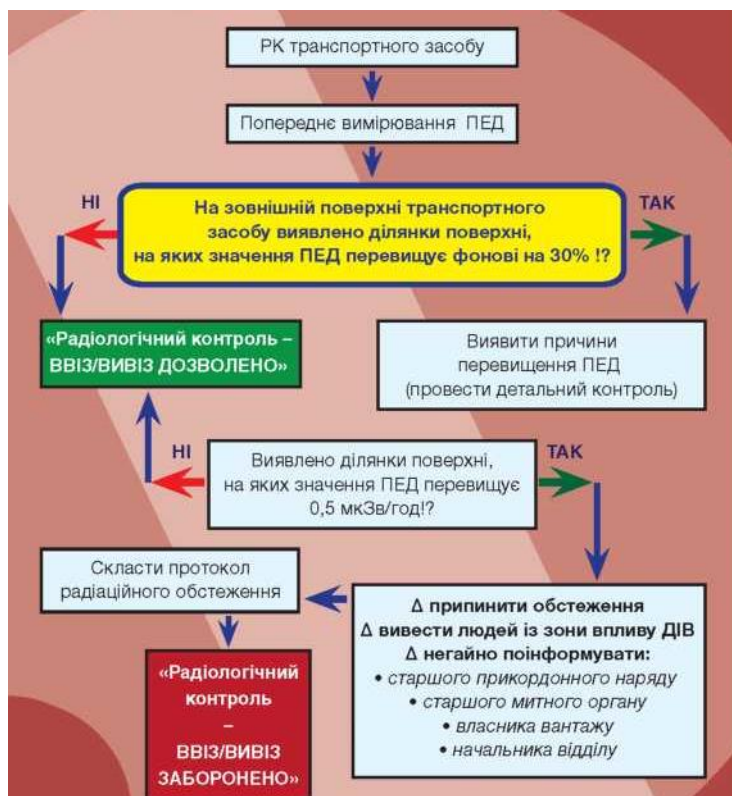


Рис. 4.5 - Алгоритм проведення контролю РК транспортного засобу

До початку вимірювань у місцях проведення РК держкоінспектор завчасно проводить вимірювання фону ПЕД від земної поверхні на висоті 1м. Визначивши максимальне значення фону в місці проведення РК, держкоінспектор налаштовує прилад таким чином, щоб при перевищенні фонових значень на 10 мкР/ год спрацьовувала порогова сигналізація. Розташувавши транспортний засіб у попередньо визначеному місці, держкоінспектор здійснює РК. Під час проведення РК держкоінспектор переміщує детектор приладу уздовж контрольованої поверхні зі швидкістю 0,2м/с на відстані 10см від контрольованої поверхні. Швидкість переміщення детектора вибрана з розрахунку, що мінімальний час вимірювання ПЕД

становить 2,5с; за цей час детектор приладу зміститься від початкового положення на 0,5м і результати вимірювань можна віднести саме до цього інтервалу. Сканування поверхні матеріалу держекоінспектор проводить через 0,25м. Таким чином, поверхня матеріалу контролюється по сітці 0,25м на 0,25м, що й забезпечує достовірність результатів вимірювань. Визначивши місця з максимальним значенням ПЕД, держекоінспектор починає вимірювання ПЕД у цих місцях іншим приладом. Результати вимірів заносяться у відповідну графу протоколу радіаційного обстеження (Додаток А).

У разі виявлення ділянок з перевищенням фонових значень на поверхні транспортного засобу держекоінспектор повинен провести наступний рівень з метою виявлення причин перевищення. При перевищенні ПЕД на поверхні матеріалу держекоінспектор зобов'язаний припинити обстеження, вивести із зони дії іонізуючого випромінювання людей, які за характером виконуваної роботи у ній перебувають, негайно поінформувати старшого прикордонного наряду і митного органу та одночасно повідомити власника вантажу, який перевозить цей транспортний засіб, про припинення обстеження і причини, з яких його припинено, та повідомити начальника служби екологічного контролю держуправління і регіональний відділ державної санітарно-епідеміологічної служби. До прибуття представників органів держсаннагляду - забезпечити відсутність людей у зоні дії іонізуючого випромінювання.

Радіаційний контроль вантажів

Проведення РК вантажів - це:

- перевірка наявності радіаційного сертифіката на вантаж, якщо він надійшов із зони радіаційного забруднення;
- замір ПЕД від вантажу.

Проводиться контроль ПЕД та величини щільності потоку бета-частинок з поверхні матеріалу (вантажів).

До початку вимірювань у місцях проведення РК держекоінспектор завчасно проводить вимірювання фону ПЕД від земної поверхні на висоті 1м.

Визначивши максимальне значення фону в місці проведення держекоінспектор налаштовує прилад таким чином, щоб при перевищенні фонових значень на 10 м/год спрацьовувала порогова сигналізація, а сканування поверхні вантажу проводиться з тією самою швидкістю і тими самими інтервалами між профілями сканування (0,2 м/с, 0,25 м). Закінчивши попередній контроль вантажу, держекоінспектор приступає до виконання контролю потужності еквівалентної дози від поверхні матеріалу за допомогою іншого приладу.

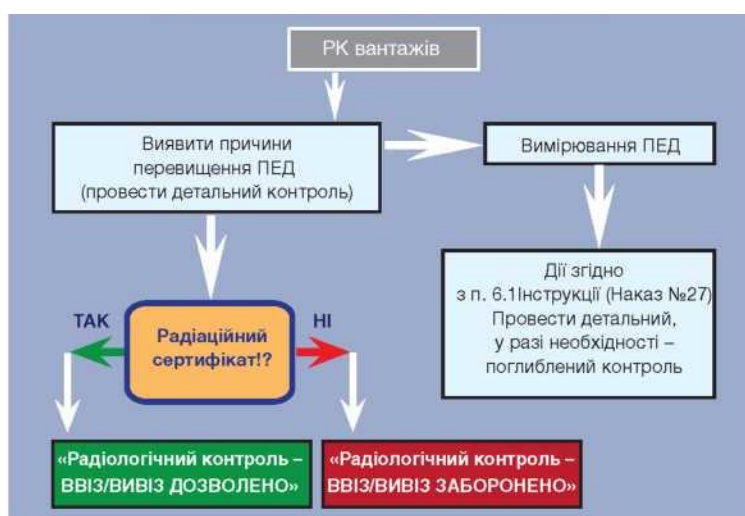


Рис. 4.6 - Алгоритм проведення контролю РК вантажів

Результати вимірювань ПЕД гамма-випромінювання вантажів фіксуються в Журналі реєстрації та проведення екологічного контролю підконтрольних вантажів і транспортних засобів, що перетинають державний кордон України (Додаток Б).

Обслуговування та контроль функціонування технічних засобів радіаційного контролю

При експлуатації технічних засобів РК обов'язковими роботами, що регламентуються з відмітками в експлуатаційному журналі, є:

- щоденна перевірка технічного стану стаціонарної та пересувної вимірювальної апаратури методом вимірювання фонових показників

випромінювання;

- щотижнева перевірка технічного стану апаратури РК пересувних лабораторій за допомогою стандартних джерел іонізуючого випромінювання;

- щотижнева протипилова профілактика переносних (індивідуальних) дозиметрів відповідно до правил їх експлуатації;

- щомісячна перевірка технічного стану апаратури РК (стаціонарної та переносної) за допомогою стандартних джерел іонізуючого випромінювання;

- щорічна перевірка технічних засобів РК постів екологічного контролю, пересувних лабораторій та центральної стаціонарної лабораторії особами, які мають право на проведення відповідних метрологічних робіт.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було проаналізовано та надано практичні рекомендації за темою «Удосконалення методики виконання вимірювання дози випромінювання».

Розвиток сучасних технологій у нашій країні ускладнює завдання охорони праці та екологічної безпеки людини. Особливості новітніх технологій потребують постійного удосконалення знань стосовно одиниць вимірювання іонізуючої радіації, механізму її дії, систем контролю випромінювань та захисту людини.

Значна кількість АЕС в Україні неминуче призводить до збільшення ядерних об'єктів, що забезпечують їх роботу. У зв'язку з цим все більша кількість людей зазнає і буде зазнавати впливу радіоактивного випромінювання у процесі роботи на атомних об'єктах або внаслідок проживання в районах, де відбувається розповсюдження радіоактивних відходів. Це зумовлює актуальність подальшого підвищення якості та ефективності технічних засобів радіаційного контролю.

Серед екологічних факторів, що впливають на людину в робочій зоні, іонізуючі випромінювання найбільш небезпечні. Сучасні дослідники виявили, що пряма дія значних поглинених доз радіації, які руйнують генетичний апарат живих організмів, – це тільки одна частина проблеми. Не менш небезпечним є руйнування мембран клітини активними іонами кисню, що найбільше виявляються за умови рівнів радіації, які мало перевищують природний фон.

Енергія випромінювання, необхідна для іонізації молекули клітини, дорівнює приблизно 10 еВ. Із цього випливає, що один радіоактивний атом може іонізувати тисячі молекул в об'ємі, рівному декільком кубічним міліметрам. З огляду на проникну спроможність електронів, цей процес захопить приблизно 10 000 клітин діаметром 10^{-3} – 10^{-4} см. Унаслідок ушкодження клітинних мембран іонізованими молекулами знижується

спроможність організму до розпізнавання і знищення вірусів і бактерій, тобто послаблюється імунний захист. Отже, підвищення радіаційного фону або потрапляння в організм невеликих кількостей радіоактивних речовин спричиняє значний руйнівний вплив на імунну систему людини [1–4].

Організація індивідуального дозиметричного контролю (ІДК) є ключовим завданням радіаційного захисту персоналу від шкідливої дії іонізуючого випромінювання, а також важливішим кількісним критерієм оцінки реально досягнутого рівня ядерної та радіаційної безпеки. Важливим напрямком діяльності уповноважених органів є забезпечення належного рівня радіаційного захисту персоналу та контроль заходів, спрямованих на зниження дозових навантажень.

За даними МОЗ, в Україні потребують індивідуального дозиметричного моніторингу близько 42000 працюючих, з них: 14636 осіб, разом із працюючими під час відрядження працівниками НАЕК “Енергоатом”, 9100 медичних працівників (радіологи та рентгенологи), а також персонал підприємств зони відчуження, в т.ч. ЧАЕС, об’єкту “Укриття”, інших промислових, освітніх та наукових установ.

Підвищення рівня радіації негативно відображається на загальному стані людини – знижується імунітет, виникають головні болі, людина почувається недобре. При невисоких дозах радіації організм може перебороти негативну дію радіації, перевищення дозвolenої норми призводить до руйнування клітин, виникнення променевої хвороби, онкологічних захворювань.

В сучасному світі екологічна ситуація не є простою, і особливо це стосується параметрів радіаційного забруднення. Після численних природніх катаклізмів, аварій на АЕС в Україні, Японії, радіонукліди поширились на значні території, через ґрунти та воду потрапили в сільськогосподарські культури, і далі як по ланцюжку. Тому постійний контроль як зовнішнього радіаційного фону, так і продуктів харчування, предметів повсякденного вжитку, екології місця роботи та проживання, вимірювання дози іонізуючого випромінювання є необхідною умовою збереження здоров’я.

Об'єктивними причинами створення методик виконання вимірювань (МВВ) у метрологічній діяльності стали два принципи забезпечення єдності вимірювань, а саме: результати вимірювань повинні виражатись в одиницях фізичних величин Міжнародної системи одиниць і повинна бути відома похибка вимірювань. У зв'язку з цим є актуальною розробка, атестація та застосування МВВ і впровадження їх у практику роботи метрологічних служб. МВВ об'єднують основні компоненти системи забезпечення єдності вимірювань (величини, що вимірюються, одиниці величин, методи вимірювань, метрологічні характеристики засобів вимірювання, форма та вид представлення результатів вимірювань та ін.).

Пристрої вимірювання рівня радіації поділяються на дозиметри і радіометри. Дозиметр – це пристрій який показує дозу отриманого радіоактивного випромінювання за час, на протязі якого пристрій знаходився біля точки випромінювання. Радіометр – це пристрій який визначає потужність (щільність) радіоактивного випромінювання, але такі пристрої як правило габаритні і використовуються тільки спеціальними службами. Тому в побуті більш доцільним є використання дозиметрів, а саме цифрових на базі мікроконтролерів – вони є більш надійні і продуктивніші.

На даний час в ГОСТ 8.010-99 “Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения” викладені тільки основні етапи розробки та атестації МВВ, але детально кожен етап не розкритий, що приводить до їх різного викладення при розробці та атестації МВВ. Тому в даній роботі розкривається як сама методика виконання вимірювання випромінювання, так і безпосередньо алгоритм роботи інспектора під час виконання радіаційного контролю вантажів та транспортних засобів з метою їх недопущення на територію нашої держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” № 124-VIII від 15.01.2015 (зі змінами) [Електронний ресурс] // Верховна Рада України. – Режим доступу URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>;
2. ГОСТ 8.010-99 “Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения”;
3. Основи охорони праці та екологічна безпека: довідник / О.В. Полярус, Є.А. Подольська, С.В. Мінка та ін. – Х.: ХНАДУ, 2013. – 432 с.
4. Екологічна та радіаційна безпека: довідник / О.В. Полярус, Є.А. Подольська, С.В. Мінка та ін. – Харків: НУА, 2012. – 288 с.
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97/Д-2000). Державні гігієнічні нормативи. – К.: Вид-во поліграфії Укр. центру держсанепіднагляду України, 2002. – 151 с.
6. Єременко В.Г. Основи дозиметрії та радіаційної безпеки. Навчальний посібник.- Х:ХІТВ, 2006. - 156с.
7. Барановська, Н. П. Об'єкт «Укриття»: наукові дослідження останнього десятиліття / Н. П. Барановська // Укр. іст. журн. – 2001. – № 3. – С. 91–104.
8. Коваленко Ю.М., Мірошніченко С.І. Актуальні питання забезпечення радіаційної безпеки в рентгенодіагностиці. //Променева діагностика, променева терапія, 3/2014;
9. О.Л. Ліманська¹, М.О. Педь¹, В.С. Яровий¹, Ю.В. Феріма¹, М.О. Зінченко¹, М.В. Борисенко², О.І. Бондаренко. Методики виконання вимірювань, їх основні етапи розробки та атестації. //Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2016, № 4(25);
10. Тимошенко М.М., Мінчук Г.Я. Пам'ятка для інспектора з радіаційного контролю. — К.: КіС ПЛЮС, 2013. — 40 с
11. Тимошенко М.М., Мінчук Г.Я. Робочий зошит з питань радіаційного контролю. — К.: ВАІТЕ, 2013. — 52 с.

12. Долина Л. Ф. Стандартизація та метрологія у сфері охорони довкілля : навч. посіб. / Л. Ф. Долина. – Київ : Знання, 2007. – 199 с.
13. Метрологія та вимірювання : навч. посіб. / М. М. Дорожовець, Р. М. Івах, В. П. Мотало [та ін.] ; ред. Стадник Б. І. – Львів : Львів. політехніка, 2012. – 312 с.
14. Чеховський С. А. Математичне моделювання фізичних процесів : навч. посіб. / С. А. Чеховський. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2003. – 174 с.
15. Цюцюра С. В. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація : навч. посіб. / С. В. Цюцюра, В. Д. Цюцюра. – 3-тє вид., стереот. – Київ : Знання, 2006. – 242 с.
16. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення : ДСТУ 2708:2006. – Вид. офіц. – На заміну ДСТУ 2708-99 ; чинний від 2006-07-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2006. – 13 с.
17. Микитин Г. В. Основи метрології : навч. посіб. / Г. В. Микитин. – Львів : Сполом, 2008. – 296 с.
18. Кучірка Ю. М. Теорія систем автоматичного керування : навч. посіб. / Ю. М. Кучірка, Л. А. Витвицька. – Івано Франківськ : Територія друку, 2016. – 156 с.

ДОДАТОК А

Протокол № _____
радіаційного обстеження (контролю) вантажу та транспортного засобу

від "____" _____ 200__ р.

Вид роботи: визначення потужності експозиційної дози (ПЕД) γ -випромінювання та щільності потоку (ЩП) β -часток.

Виконавець: _____
 (назва організації, що проводила виміри, № дозволу і дата видачі)

Транспортний засіб: вид _____, № _____

Вантаж _____
 (найменування вантажу, вага)

який транспортується відповідно до контракту № _____ від _____

Власник вантажу _____
 (найменування підприємства, посада, прізвище та ініціали керівника)
 тел. _____

Адреса проведення РК _____

Виміри проведено приладами _____
 (назва, номер, дата державної повірки)

Пломби, печатки та інші знаки, що підтверджують цілісність вантажу – присутні, відсутні (зайве викреслити).

№ виміру	Опис місць та точок вимірів	ПЕД γ - випромінювання		ЩП β -часток		Примітки
		Відстань, м	ПЕД, мкЗв/год.	Відстань, м	ЩП, част./хв.см ²	
1	Фон. знач.	1,0		-	-	
2	Фон. знач.	2,0		-	-	
3	Металобрухт Трансп. засіб	0,1		0,02		
		0,1		0,02		
		0,1		0,02		
		0,1		0,02		
		0,1		0,02		
		0,1		0,02		

*Відносні похибки визначення: ПЕД γ -випромінювання - \pm _____ % з імовірністю 0,95;
 ЩП β -часток \pm _____ % з імовірністю 0,95.

Клас використання:	1 клас	2 клас
ПЕД γ	< 0,26; (30);	< 0,43; (50);
ЩП бета – часток, част./хв.см ²	< 30	< 50
нефіксоване радіоактивне забруднення	Відсутнє	Відсутнє

ВИСНОВОК

ППД γ -випромінювання і рівень β -забруднення транспорту та вантажу не перевищує (перевищує) рівні 1-го (2-го) класу використання згідно ДСЕПІН (зайве викреслити)

Виміри проведено _____
 (посада, підпис, прізвище та ініціали)

У присутності власника вантажу _____
 (підпис, прізвище та ініціали)

