

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт
з дисципліни «Радіаційна екологія»**

Горлівка-2009

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт
з дисципліни «Радіаційна екологія»
(для студентів спеціальності 6.070801)**

Затверджено :

на засіданні НМК
спеціальності 6.070801
Протокол № 4
від « 28 » 10 2009р.

Затверджено :

на засіданні кафедри
«Екологія і БЖД»
Протокол № 4
від « 28 » 10 2009р.

Горлівка-2009

УДК 502.7 (071)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Радіаційна екологія" /Укладачі: Кутовий В.О., Коновальчик М.В., Канюк Н.П. – Горлівка : АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», 2009.- 60с.

Укладачі: В.О.Кутовий, ст. викладач.
М.В.Коновальчик, асистент.
Н.П.Канюк, магістр.

Відповідальний за випуск: Висоцький С.П., зав. кафедрою
"Екологія та БЖД"

Рецензент: В.Т. Завадський

ЗМІСТ

Стор.

Введення.....	4
1. Лабораторна робота № 1. "Дозиметричні прилади".....	7
2. Лабораторна робота № 2. "Дослідження іонізуючих випромінювань".....	23
3. Лабораторна робота № 3. "Визначення поверхневої активності поверхонь, заражених α - і β - випромінюючими радіонуклідами".....	27
4. Лабораторна робота № 4. "Захист робочих місць від іонізуючих випромінень".....	30
5. Лабораторна робота № 5. "Аналіз проб води, землі, продуктів харчування та будівельних матеріалів на вміст радіонуклідів".....	36
Література.....	40
Додаток А Основні довідкові таблиці.....	41
Додаток Б Довідкові дані до проектування захисту на робочих місцях.....	43
Додаток В Номограми для визначення безпечної відстані до джерела випромінення.....	44
Додаток Г Таблиці для визначення товщини захисного екрана.....	48
Додаток Д Приклад виконання розрахунку за допомогою методу інтерполяції.....	50
Додаток Е-Нормовані параметри вмісту радіонуклідів радіоактивної забрудненості об'єктів.....	51
Таблиця Е1 –Значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в харчових продуктах і питній воді.....	51
Таблиця Е.2- Допустиме забруднення поверхні ДЗА, част./($\text{см}^2 \cdot \text{хв}$).....	52
Додаток Ж-Таблиці для визначення товщини захисного екрана.....	53
Таблиця Ж.1- Товщина захисного екрана з бетону, см, ($\rho=2,3 \text{ кг/м}^3$), для різної кратності послаблення γ -випромінення (широкий пучок).....	53
Таблиця Ж.2- Товщина захисного екрана з заліза, см, ($\rho=7,8 \text{ кг/м}^3$), для різної кратності послаблення γ -випромінення (широкий пучок).....	55
Таблиця Ж.3- Товщина захисного екрана з свинцю, см, ($\rho=11,3 \text{ кг/м}^3$), для різної кратності послаблення γ -випромінення (широкий пучок).....	57
Додаток З -Зразок бланку результатів вимірювань.....	59
Таблиця З.1- Результати вимірювань.....	59

Введення

З іонізуючими випромінюваннями людина у кожному регіоні планети зустрічається щодня. Це, насамперед, так названий радіаційний фон Землі, що складається з трьох компонентів:

- космічного випромінювання, що приходить на Землю з Космосу;
- випромінювання від присутніх у ґрунті, будівельних матеріалах, повітрі і воді природних радіоактивних елементів;
- випромінювання від природних радіоактивних речовин, що з їжею, повітрям і водою попадають усередину організму, фіксуються тканинами і залишаються в організмі протягом багатьох років.

Крім цього, людина зустрічається зі штучними джерелами випромінювання, створеними руками людини і широко застосовуваними в народному господарстві і медицині.

Радіоактивність - це мимовільне перетворення нестійкого нукліда в інший нуклід, що супроводжується випусканням іонізуючого випромінювання.

Нуклід - це вид атомів з даними числами протонів і нейтронів у ядрі, що характеризується масовим числом (атомна маса) і атомним номером. Ядра атомів складаються з протонів і нейтронів. Кількість протонів ядра кожного елемента строго визначена, а нейтронів - може мінятися. Тому й існують різновиди атомів того ж самого елемента, що названі ізотопами.

Ізотопи, що мимовільно перетерплюють ядерні перетворення та випромінюють при цьому іонізуюче випромінювання у вигляді гамма-квантів, альфа-частинок і бета-частинок, називаються **радіоізотопами**. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною, у тому числі з біологічною тканиною, викликає його іонізацію, тобто утворення в ньому іонів різного знаку. **Іонізуючим випромінюванням** називають будь-який вид випромінювання, взаємодія якого із середовищем приводить до утворення електричних зарядів різних знаків. Іонізуючі випромінювання, проникаючи в організм людини і проходячи крізь біологічну тканину, викликають у ній появу заряджених часток - вільних електронів. У свою чергу, вільні електрони, взаємодіючи з сусідніми атомами, іонізують їх, що супроводжується зміною структури молекули, руйнуванням міжмолекулярних зв'язків і загибеллю кліток. Зміна біохімічного складу кліток і обмінних процесів порушує функції центральної нервової системи, що, у свою чергу, викликає руйнування функцій залоз внутрішньої секреції, зміну прохідності судин.

До іонізуючих випромінювань належать: α -, β -, γ -випромінювання, рентгенівське випромінювання, потоки нейтронів і інших ядерних часток, космічні промені; тобто усі види випромінювань можна розділити на дві групи: електромагнітні (рентгенівське і γ -випромінювання) і корпускулярні (α -, β -, n -випромінювання та випромінювання різного роду ядерних часток).

Альфа-випромінювання являє собою потік ядер атомів гелію, що складаються з двох протонів і двох нейтронів і, отже, несуть два елементарних позитивних електричних заряди. Ці частки випускаються при радіоактивному розпаді деяких елементів з великим атомним номером, в основному це трансуранові елементи з атомними номерами більше 92. Швидкість окремих часток сягає 20000 км/с. Характеризується α - випромінювання великою іонізуючою і малою проникаючою здатністю. Унаслідок цих властивостей α -частки не проникають через верхні шари шкіри. Шкідливий вплив на організм людини виявляється при перебуванні його в зоні дії речовини, що випромінює α -частки. Величезний іонізуючий ефект у α -часток, що потрапили усередину організму.

Бета-випромінювання утворюється при розпаді природних і штучних радіоактивних речовин і являє собою електрони (з негативним зарядом) або позитрони (з позитивним зарядом), що швидко рухаються, тобто потік електронів і позитронів. Іонізуюча здатність β -часток нижче, а проникаюча здатність вище, ніж α -часток, тому що вони мають значно меншу масу і при однаковій з α -частками енергії мають менший заряд.

Пробіг β -частинок у повітрі складає кілька метрів, у біологічній тканині - кілька сантиметрів, у воді - 1...2 см. При зовнішньому опроміненні β -частинками тіла людини на відкритих поверхнях шкіри можуть утворитися радіаційні опіки різної важкості. У випадку надходження джерел β - випромінювання в організм із їжею, водою і повітрям відбувається внутрішнє опромінення організму, здатне привести до важкого променевого ураження.

Гамма-випромінювання являє собою короткохвильове електромагнітне фотонне випромінювання з дуже малою довжиною хвилі. Це високочастотне електромагнітне випромінювання, що виникає в процесі ядерних реакцій або радіоактивного розпаду. Енергія гамма-випромінювання може мати різні значення - від десятків тисяч до мільйонів електрон-вольтів. Володіє високою проникаючою здатністю, пробіг у повітрі - більше ста метрів, у біологічній тканині - 10...15 см. Становить небезпеку для людини в основному як джерело зовнішнього опромінення. У якості захисту від гамма-випромінювання

ефективно використовуються свинець, бетон або інші матеріали з високою питомою вагою.

Рентгенівське випромінювання подібне до гамма-випромінювання. Рентгенівські промені мають велику проникаючу здатність. Довжина їхньої хвилі більше, ніж гамма-випромінювання, а частота більш низька. Іонізуюча дія рентгенівського випромінювання проявляється за рахунок вибивання ними електронів з ядер інших елементів і у незначній мірі за рахунок витрати власної енергії, тобто воно утворюється в результаті переходу електронів атома з однієї оболонки на іншу. При цьому процесі виділяється енергія у формі рентгенівського випромінювання.

Ядро атома може перейти в збуджений стан, набувши деякий надлишок енергії. Таке ядро прагне від цього надлишку звільнитися, щоб перейти в звичайний (незбуджений стан). Коли воно робить цей перехід, виділяється γ -квант. Так народжуються γ -промені. Гамма-кванти не мають ні заряду, ні маси. Тому при γ -випромінюванні перетворення елементів не відбувається.

Сонце є джерелом рентгенівського випромінювання, що реєструється спеціальними приладами, встановленими на космічних апаратах, а товща атмосферного повітря захищає людину від його згубного впливу. Рентгенівське випромінювання також генерується відповідними апаратами (прискорювачами) для використання їх з метою діагностики і лікування хворих, а також для інших цілей. Воно може виникнути в будь-яких електровакуумних установках і володіє малою іонізуючою здатністю і великою глибиною проникнення.

Нейтронне випромінювання - це потік нейтральних часток, що не несуть електричного заряду. Ці частки вилітають з ядер атомів при деяких ядерних реакціях, зокрема, при реакціях розподілу ядер урану і плутонію. Нейтрони не мають електричного заряду, тому легко проникають у ядра атомів і захоплюються ними, при цьому порушується природний баланс числа протонів і нейтронів у ядрі, тобто відбувається перетворення атомів стабільних (нерадіоактивних) елементів у їхні радіоактивні ізотопи (наведена радіоактивність), що різко підвищує небезпеку нейтронного опромінення. У ґрунті, наприклад, в основному утворюється алюміній - 28 і натрій - 24. Нейтрони мають високу іонізуючу і проникаючу здатність. Пробіг у повітрі їх складає близько 120 м, у біологічній тканині - близько 10 см. Потік нейтронів перетворює енергію в пружних і непружних взаємодіях з ядрами атомів. При непружних взаємодіях виникає вторинне випромінювання, що може складатися як із заряджених часток, так і з γ -квантів (γ -випромінювання). При пружних взаємодіях можлива звичайна іонізація

речовини.

Людський організм поглинає енергію іонізуючих випромінювань, причому від кількості поглиненої енергії залежить ступінь променевих уражень. Для характеристики іонізуючих випромінювань існує ряд наступних величин.

Експозиційна доза - це міра іонізації повітря, тобто кількість енергії іонізуючого випромінювання, отриманої одиницею об'єму повітря. Величина "експозиційна доза" використовується для оцінки радіаційної обстановки на місцевості, у робочому або житловому приміщеннях, зумовленої впливом рентгенівського або гамма-випромінювання. У системі СІ одиниця експозиційної дози - кулон на кілограм (Кл/кг). Однак на практиці частіше використовують поза-системну одиницю - рентген (Р).

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

Рентген - це така доза рентгенівського або гамма-випромінювання, при якій у 1см^3 сухого повітря при 0°C і тиску 760мм.рт.ст. утворюється близько 2 млрд. пар іонів, кожний з яких несе заряд, що дорівнює зарядові електрона.

Поглинена доза - це кількість енергії, поглиненої речовиною, що опромінюється, і розрахованої на одиницю маси цієї речовини. Одиниця поглиненої дози в Міжнародній системі одиниць (СІ) - грей (Гр)

$$1\text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

Для оцінки поглиненої дози також використовується позасистемна одиниця - рад

$$1\text{рад} = 0,01 \text{ Дж/кг; } 1\text{Гр} = 100\text{рад.}$$

Поглиненій дозі 1 рад відповідає експозиційна доза, що приблизно дорівнює 1Р. При опроміненні живих організмів виникають різні біологічні ефекти, різниця між якими при одній і тій же поглиненій дозі порозумівається різними видами опромінення. Прийнято порівнювати біологічні ефекти, викликані будь-якими іонізуючими випромінюваннями, з ефектами від рентгенівського і гамма-випромінювання за допомогою величини "еквівалентна доза". У системі СІ одиниця еквівалентної дози - зіверт (Зв). Існує також позасистемна одиниця - бер (біологічний еквівалент рентгена). Коефіцієнт, що показує, у скільки разів оцінюваний вид випромінювання біологічно

небезпечніше, ніж рентгенівське і гамма-випромінення при однаковій поглиненій дозі, називається коефіцієнтом якості випромінення (**Q**). Для рентгенівського і гамма-випромінення **Q=1**.

Таким чином, еквівалентна доза визначається добутком поглиненої дози на коефіцієнт якості випромінення.

$$1\text{рад} \cdot K = 1\text{бер.}$$

Для γ - випромінення **Q=1 (1 Гр = 1 Зв)**.

За інших рівних умов доза іонізуючого випромінення тим більше, чим більше час опромінення, тобто доза накопичується згодом. Кількість одержуваної організмом в одиницю часу дози опромінення називається потужністю дози або рівнем радіації. Тобто, якщо потужність дози 1Р/год, то за кожну годину опромінення людина одержує дозу, рівну 1Р.

Активність радіоактивного джерела - це фізична величина, що характеризує число радіоактивних розпадів в одиницю часу; чим більше радіоактивних перетворень відбувається в одиницю часу, тим вище активність. У якості одиниці активності прийнятий бекерель (Бк) - один розпад у секунду. У практиці радіаційного контролю широко застосовується позасистемна одиниця - кюрі (Ки). Один кюрі - це $3,7 \cdot 10^{10}$ ядерних перетворень за секунду.

На практиці всі перераховані вище величини часто використовуються з приставками "мілі", "мікро" і т.д. (табл. А-1. Дод.А). Співвідношення між основними дозиметричними величинами наведені в табл. А-2. Дод. А.

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дозиметричні прилади

Ціль роботи: ознайомитися з будовою і роботою дозиметричних приладів.

Прилади і устаткування: дозиметричні прилади МКС-07 «Пошук», "Припять", "Бета", СРП-88Н, "Белла", «Терра-П».

1.1 Принцип дії дозиметричних приладів

В основу дії дозиметричних приладів, використовуваних у лабораторній роботі, покладений іонізаційний метод виявлення радіоактивних випромінювань. Метод полягає у вимірюванні іонізаційного струму, що виникає при наявності електричного поля в газовій хмарі сприймаючого пристрою в результаті іонізації молекул газу радіоактивними випромінюваннями.

Сприймаючим пристроєм дозиметричних приладів є газорозрядний лічильник, що являє собою порожній герметичний металевий або скляний циліндр, заповнений розрідженою сумішшю інертних газів (аргон, неон) з деякими добавками, що поліпшують роботу лічильника. Усередині циліндра, вздовж його осі, натягнута тонка металева нитка (анод), ізольована від циліндра. Катодом є металевий корпус або тонкий шар металу, нанесений на внутрішню поверхню скляного корпусу лічильника. До металевої нитки і струмопровідного шару (катода) подається напруга. У газорозрядному лічильнику використовується принцип посилення газового розряду. При відсутності радіоактивного випромінювання вільних іонів в обсязі цього лічильника немає, а при його появі в робочому обсязі лічильника утворюються заряджені частки. Так як площа катода значно більше площі анода, то первинні іони здобувають таку велику енергію, що при зіткненні з нейтральними молекулами викликають їхню іонізацію. Виникає дуже швидко лавинна іонізація газу, і у ланцюзі виникає імпульс струму. Так як іонізаційний струм дуже малий, то він підсилюється за допомогою підсилювача-перетворювача (див. рис. 1.1) і викликає спрацьовування пристрою, що реєструє.

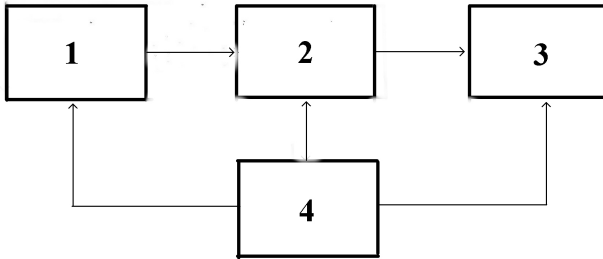


Рисунок 1.1 - Блок-схема дозиметричних приладів

1- сприймаючий устрій (іонізаційна камера, газорозрядний лічильник або сцинтиляційний датчик); 2- підсилювач-перетворювач; 3-реєструючий устрій (світловий, звуковий, стрілочний або рідинно-кристалічний індикатор) ; 4- джерела живлення.

1.2 Рентгенметр-радіометр-дозиметр МКС-07 «Пошук»

Прилад призначений для :

1. Вимірювання потужності еквівалентної дози γ - та рентгенівського випромінень.
2. Вимірювання еквівалентної дози γ - та рентгенівського випромінень.
3. Вимірювання поверхневої щільності потоку β -частинок.
4. Вимірювання поверхневої щільності потоку α -частинок за допомогою блоку детектування α -випромінення БДПА-07.

До особливостей приладу можна віднести:

1. Застосування лічильника Гейгера-Мюллера з відсутнім зворотнім ходом лічильної характеристики.
2. Можливість запису в енергонезалежну пам'ять з передачею в персональний комп'ютер через інфрачервоний порт до 4096 результатів вимірювань.
3. Можливість програмування порогових рівнів потужності еквівалентної дози γ -випромінення та щільності потоку β -частинок.
4. Звукова сигналізація зареєстрованих γ -квантів, β -частинок та перевищення порогових рівнів потужності еквівалентної дози чи щільності потоку β -частинок.

Зовнішній вигляд приладу МКС-07 «Пошук» та блоку детектування БДПА-07 наведені на рис.1.2 та рис.1.3, а основні технічні характеристики в табл.1.1 та табл.1.2.

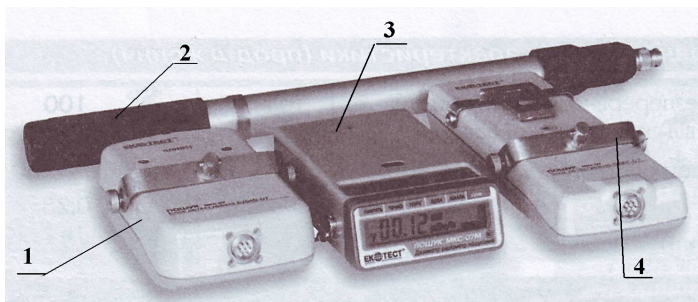


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд приладу МКС-07 «Пошук».

1- блок детектування β -випромінювання ; 2- штанга телескопічна; 3- пульт; 4- блок детектування γ -випромінювання.

Таблиця 1.1- Основні технічні характеристики приладу МКС-07 «Пошук»

Параметр	Діапазони вимірювань
Потужність еквівалентної дози γ - та рентгенівського випромінювань (^{137}Cs)	0,1мкЗв/год...2,0мкЗв/год
Еквівалентна доза γ - та рентгенівського випромінювань (^{137}Cs)	1,0мкЗв...9999 мЗв
Щільність потоку β -частинок ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$)	5...100000($\text{см}^2 \cdot \text{хв}$) ⁻¹

Блок детектування БДПА – 07 призначений для пошуку джерел α -випромінювання та вимірювання поверхневої щільності потоку α -частинок. Робота блока детектування ґрунтується на принципі перетворення α -випромінювання в послідовність імпульсів напруги на виході детектора. В якості детектора в блоці детектування застосовано три лічильника типу СИ9АМ, що працюють у режимі коронного розряду. Для запалювання коронного розряду на лічильник подається висока напруга 500 В, яка формується схемою на основі мультівібратора з діодно-ємнісним помножувачем напруги. Імпульси, отримані від α -частинок на виході лічильників, відсікаються від шумів, формуються за амплітудою та подаються на вихід блока детектування.

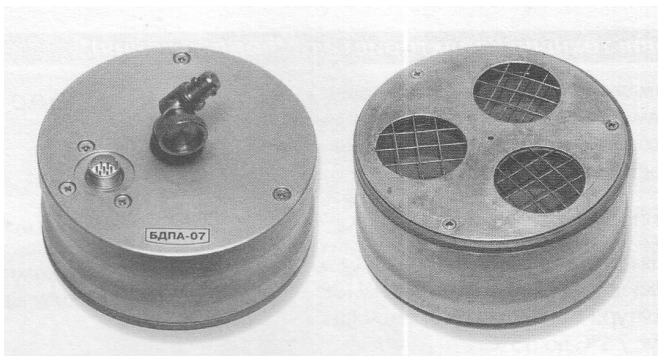


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд блоку детектування БДПА-07

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики блоку БДПА

Параметр	Одиниця вимірювання	Величина
Діапазон вимірів поверхневої щільності потоку α -частинок	$1/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.})$	$0,1 \dots 10^5$
Детектор	-	Лічильники в режимі коронного розряду
Максимальна потужність експозиційної дози γ -випромінювання, яка не вносить додаткової похибки при вимірюванні поверхневої щільності потоку α -випромінювання	мР/год	10,0

1.2.3 Радіометр-рентгенметр "Припять"

Прилад призначений для виявлення β - і γ -випромінювання, вимірювання рівня радіації на місцевості в мР/год, мкР/год і мкЗв/год, вимірювання ступеня радіоактивної зараженості різних поверхонь і продуктів харчування в Кі/кг і част/($\text{см}^2 \cdot \text{хв.}$). Зовнішній вигляд приладу "Припять" представлений на рис.1.4, а основні технічні характеристики - в табл. 1.3.

Показання визначаються за допомогою рідинно-кристалічного індикатора (передбачена можливість одночасної звукової індикації).

Джерело живлення – батарея "Корунд" ("Крона") напругою 9В або зовнішнє джерело живлення напругою до 14В.

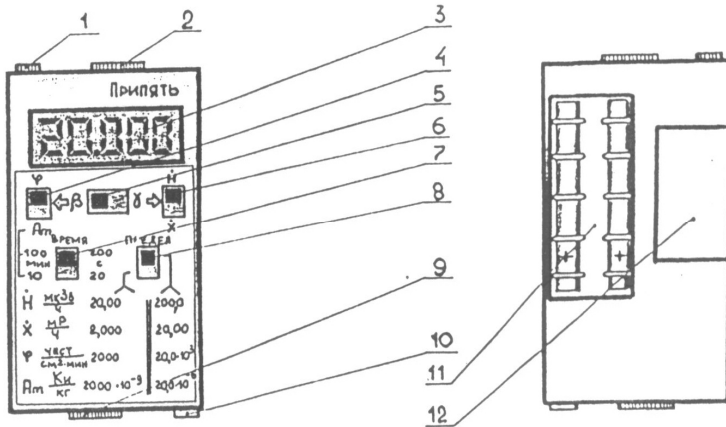


Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд приладу "Прип'ять":

1-кнопка контролю напруги джерела живлення; 2- кнопка включення звукової сигналізації; 3- рідинно-кристалічний індикатор; 4-перемикач "Забруднення поверхні (част./см²·хв.) - Питома активність (Кі/кг)"; 5- перемикач випромінення "γ - β"; 6 - перемикач "Рівень радіації (мкЗв/год) - Рівень радіації (мР/год)"; 7- перемикач інтервалу часу вимірювання «20с - 200с» і «10 хв.-100 хв.»; 8- перемикач границь вимірів; 9- кнопка включення приладу; 10- гніздо підключення зовнішнього джерела живлення; 11- відсік з газорозрядними лічильниками; 12- відсік для джерела живлення.

Таблиця 1.3 – Основні технічні характеристики приладу «Прип'ять»

Параметр	Одиниця вимірювання	Величина
Межі вимірів на першому піддіапазоні:	а) у мкЗв/год б) у мР/год в) у част./ (см ² ·хв.) г) у Кі	до 20,0 до 2,0 до 2000 до 20,00·10 ⁻⁹
Межі вимірів на другому піддіапазоні:	а) у мкЗв/год б) у мР/год в) у част./ (см ² ·хв.) г) у Кі	до 200,0 до 20,0 до 20,00·10 ³ до 20,00·10 ⁻⁶
Час вимірювання рівня радіації	с	20 і 200
Час вимірювання ступеня зараженості	хв.	10 і 100

Для підготовки приладу до роботи потрібно підключити, дотримуючись полярності, батарею "Корунд" ("Крона") або зовнішнє джерело живлення. Натиснувши кнопку **1**, проконтролювати напругу джерела живлення (6...14 В). Якщо вона менша за 6В або швидко знижується, замінити джерело живлення. Увімкнувши перемикач **5** у положення "**γ**", виміряти величину γ -фону (не раніше, ніж через 45с після включення приладу). У залежності від того, у яких одиницях вимірювання (мР/год або мкЗв/год) необхідно одержати результати, установити перемикач **6** у верхнє або нижнє положення. Величина рівня радіації визначається, як середнє значення між найменшою і найбільшою величиною рівня, зафіксованою за 20 або 200 с у залежності від положення перемикача **7**. Потім знімається металева кришка з відсіку **11** з тильної сторони приладу і на відстані 1см від контрольованої поверхні робиться повторне вимірювання. З другого результату віднімається перший, різниця дає величину рівня β -випромінювання. Для вимірювання питомої активності або ступеня забруднення радіонуклідами якої-небудь поверхні або продуктів харчування перемикач **5** установлюється в положення "**β**", а перемикач **4** -у залежності від необхідного режиму вимірювання - у верхнє або нижнє положення. Показання знімаються через 10 або 100 хв. у залежності від положення перемикача **7**.

1.2.4 Радіометр "Бета"

Радіометр "Бета" забезпечує вимірювання питомої активності β -випромінюючих нуклідів у рідких і сипучих речовинах у діапазоні від $5 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ Кі/кг (Кі/л). Радіометр забезпечує вимірювання поверхневого забруднення β -випромінюючими нуклідами в діапазоні від 10 до 1500 част./ $(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$. Час вимірювання установлюється оператором і може складати 1; 10; 100; 500; 1000 і 2000 с. По закінченні установленого часу спрацьовує таймер приладу і на рідинно-кристалічному індикаторі індичіюється вимірювана величина, а також подається звуковий сигнал.

Живлення приладу здійснюється від трьох елементів типу "Уран" загальною напругою 4,5В або від зовнішнього джерела напругою 5В (мережний блок живлення). Час установлення робочого режиму не перевищує 1хв.

Для захисту від впливу зовнішнього γ -фону місцевості контрольований матеріал (або продукти харчування) і газорозрядний лічильник містяться в захисний свинцевий будиночок. Необхідний режим

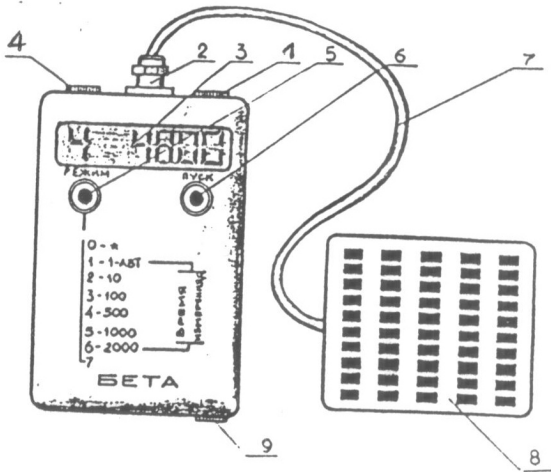


Рисунок 1.5 - Зовнішній вигляд приладу "Бета"

1- кнопка включення живлення приладу; 2- гніздо підключення блоку детектування; 3- рідинно-кристалічний індикатор; 4- кнопка включення звукового сигналізатора; 5- кнопка включення необхідного режиму роботи; 6- кнопка запуску радіометра на вимірювання; 7- сполучний кабель; 8- блок детектування (газорозрядні лічильники).

роботи приладу установлюється відповідною кількістю натискань на кнопку 5 (рис. 1.5). Кількість режимів, функціональне призначення кожного і його характеристики наведені в табл. А.3 дод. А.

Для підготовки приладу до роботи необхідно відповідно до полярності підключити елементи живлення типу "Уран" або мережний блок живлення з комплекту приладу. Потім підключити до гнізда 2 блок детект 8. Перевірити працездатність приладу, натиснувши кнопку 1. Відсутність світіння або мерехтіння індикатора радіометра при роботі від сухих елементів інформує про необхідність заміни останніх. Потім натиснути кнопку 5 для установлення режиму "7". Кнопка стробується секундними імпульсами, тому утримувати її в натиснутому стані потрібно не менш, ніж 1 с. Послідовна зміна цифр на індикаторі свідчить про нормальне функціонування приладу .

Вимірювання забруднення поверхні радіонуклідами, питомої й об'ємної активності починається з вимірювання кількості імпульсів. Для цього установлюється режим роботи 10 або 100 с. Послідовно натискаючи кнопку "Пуск", виконують три вимірювання швидкості рахунку фонових імпульсів і визначається середнє значення за фор-

мулою

$$\overline{N}_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\phi_i}}{n}, \quad (1.1)$$

де \overline{N}_{ϕ} - середнє значення фононих імпульсів, с^{-1} ;

N_{ϕ_i} - швидкість рахування фононих імпульсів, с^{-1} ;

n - кількість вимірів .

Потім з робочого вікна блоку детектора знімається захисна кришка зі сталеною пластиною, на її місце встановлюється захисна сітка з комплекту приладу і виконуються наступні вимірювання.

Увага: Категорично забороняється доторкатися руками або будь-якими предметами до слюдяної плівки блока детектора, тому що це виведе його з ладу і зробить неремонтопридатним.

1.2.5 Сцинтиляційний геологічний прилад СРП-88 Н

1.2.5.1 Устрій і характеристики приладу

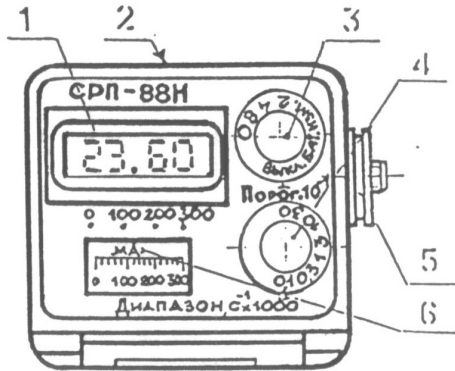
Сцинтиляційний геологічний прилад СРП-88Н призначений для радіометричних вимірювань по гамма-випромінюванню .

Конструктивно прилад складається з двох блоків: блоку детектування і пульту - універсального цифрового вимірювача середньої частоти імпульсів. Зовнішній вигляд пульта наведений на рис. 1.6. Виведення візуальної інформації здійснюється в пульті на чотирьох-розрядний рідкокристалічний цифровий індикатор 1 і на стрілочний індикатор аналогового інтенсиметра 6. Крім того, є звукові моніторинговий і граничний сигналізатори 2. На передню панель пульта виведені регулятори "Порог" (поз.3) і "Діапазон" (поз. 4), на бічну – гніздо 5 для підключення блоку детектування. Позаду знаходиться швидкозйомний блок живлення з чотирма елементами "343".

Прилад вимірює природне γ -випромінювання при початковому енергетичному порозі реєстрації не більше 50 KeV. Чутливість приладу для випромінювання 1 мг радію-226 на відстані 1 м складає 4700 $\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{мг}$. Діапазон вимірів потоку γ -випромінення складає від 10 до $3\cdot 10^4 \text{с}^{-1}$.

В якості детекторів використані кристали йодистого натрію ви-

сотою 40 мм і діаметром 25 мм.



1- рідинно-кристалічний індикатор; 2- звуковий сигналізатор; 3- регулятор "Порог"; 4- регулятор "Диапазон"; 5- гніздо підключення блоку детектування; 6- стрілочний індикатор.

Рисунок 1.6 - Зовнішній вигляд вимірювального пульту приладу SRP-88H

1.2.5.2 Підготовка приладу до роботи

1. Установити органи керування на пульті у вихідне положення: перемикач "Порог" - у положення "Выкл.", перемикач "Диапазон" - у положення "1".

2. Підключити до пульта блок детектування.

3. Увімкнути прилад, установити перемикач "Порог" у положення "Бат.", при цьому стрілочний індикатор покаже напругу батарей. Середня відмітка шкали індикатора відповідає напрузі 3,5 В. При величині напруги живлення понад 3,5 В елементи живлення придатні до роботи, а при напрузі менш 3,5 В їх необхідно замінити.

4. Установити перемикач "Порог" у положення "0" і наблизити блок детектування кристалом до місця розташування контрольного радіоактивного джерела на пульті. При цьому стрілка повинна відхилитися, на табло повинні індиціюватися показання і повинні прослухуватися клацання звукового сигналізатора, частота яких збільшується при наближенні кристала до місця розташування контрольного джерела.

5. Установити перемикачі "Порог" у положення "Изм." і "Диапазон" - у положення "0,3", через 1 хв. після включення приладу установити торець блоку детектування (без гумового ковпачка) впритул до місця

розташування контрольного джерела, сполучивши блок детектування з колом на пульті. Зафіксувати не менше трьох показань цифрового табло й обчислити середнє арифметичне значення $\bar{P}_{вим}$.

Відвести торець блока детектування від місця розташування контрольного джерела на відстань не менше 0,5м, зафіксувати не менше трьох показань цифрового табло й обчислити середнє арифметичне \bar{P}_{ϕ} .

Визначити дійсне значення показань $P_{д}$, $с^{-1}$, від контрольного джерела за формулою:

$$P_{д} = \frac{\bar{P}_{вим} - \bar{P}_{\phi}}{K}, \quad (1.2)$$

де $\bar{P}_{вим}$ - середнє вимірюване значення потужності дози впри- тул до приладу;

\bar{P}_{ϕ} - середнє вимірюване фонове значення потужності дози на відстані не менше 0,5 м від приладу;

K - коефіцієнт, що враховує зміну активності джерела з часом.

Якщо діюче значення показань приладу $P_{д}$ від контрольного джерела відповідає номінальному значенню показань від контрольного джерела $P_{н}=1990 \text{ с}^{-1} \pm 10 \%$, то прилад працездатний і після установки на торець блоку детектування гумового ковпачка готовий до роботи.

1.2.5.3 Робота з приладом

1. При роботі з приладом СРП-88Н у режимі пошуку зміну інтенсивності потоку γ - випромінювання необхідно відслідковувати по стрілочному індикатору, для чого перемикач "Диапазон" установлювати в положення, при якому стрілка індикатора коливається в межах від одної третини до кінцевого значення шкали.

2. Для більш точних вимірів у режимі пошуку і при радіометричній зйомці місцевості показання приладу зчитуються з цифрового табло (при температурі повітря не нижче мінус 10°C). Експозиція в положеннях перемикача "Диапазон" - "0,1" і "-0,3" дорівнює 10с, а в положеннях від "1" до "30" -1с. Для зниження статистичної похибки вимірювання потрібно, по можливості, використовувати експозицію 10с. При цьому максимально вимірювана величина потоку γ -

випромінювання при експозиції 10с повинна бути не більше 9000с^{-1} .

3. Необхідний поріг спрацьовування звукової сигналізації величиною "0,2", "0,4" або "0,8" максимального значення встановленого піддіапазону може бути встановлений перемикачем "Порог" (відповідно положення "2", "4" і "8" перемикача). У положенні "Изм." перемикача "Порог" звукова сигналізація відключена, а в положенні "0" здійснюється моніторинговий режим, тобто сигналізація працює в режимі звукової індикації інтенсивності реєстрованого випромінювання.

4. При вимірюванні інтенсивності випромінювання від радієвого джерела для представлення інформації в одиницях потужності експозиційної дози (мкР/год) показання цифрового табло потрібно розділити на значення чутливості блоку детектування і помножити отримане значення на 1000. Для переходу до одиниці вимірювання мкЗв/год (мікрозіверт за годину) додатково розділити отримане значення ще на 100.

1.2.6 Рентгенметр "Белла"

1.2.6.1 Устрій і призначення приладу

Побутовий рентгенметр "Белла" призначений для виявлення і оцінки за допомогою звукової сигналізації інтенсивності γ -випромінювання, а також для вимірювання потужності еквівалентної дози (ПЕД) γ -випромінювання (мікрозіверт за годину) по цифровому табло. Основні технічні характеристики приладу і режими його роботи наведені в табл. 1.4 і 1.5.

Таблица 1.4 – Основні технічні характеристики приладу «Белла»

Параметр	Одиниця вимірювання	Величина
Діапазон вимірювання потужності еквівалентної дози	мкЗв/год ($\mu\text{Sv/h}$)	0,20...99,99
Діапазон вимірювання потужності експозиційної дози	мкР/год ($\mu\text{R/h}$)	20...9999
Час встановлення робочого режиму	с, не більше	10
Час вимірювання	с, не більше	45

Таблиця 1.5 – Режими роботи радіометра «Бета»

Номер режиму	Час вимірювання, с	Функціональне призначення
1	2	3
0	-	Режим загального скидання свідчень і установаження радіометра у вихідне положення при вмиканні живлення.
1	1	Режим автоматичного запуску радіометра на повторне вимірювання. Час індикації результату вимірювання - 1с. Призначений для вимірювання поверхневої забрудненості і визначення очікуваної швидкості лічення при вимірюванні питомої активності.
2	10	Режим вимірювання питомої і об'ємної активності
3	100	Те ж саме
4	1000	Те ж саме
5	1000	- « -
6	2000	- « -
7	Безперервно	Режим функціонального контролю блока індикатора. На рідинно-кристалічному індикаторі спостерігається безперервний підрахунок імпульсів. Для зупинки лічення радіо-метр необхідно перевести на режим «0».

Органи керування і їх призначення представлені на рис.1.7.

Прилад має два режими роботи: "Поиск" і "МЭД". Режим пошуку "Поиск" призначений для грубої оцінки радіаційної обстановки за частотою проходження звукових сигналів. Режим "МЭД" призначений для вимірювання потужності еквівалентної дози по цифровому табло. Вимірювання потужності еквівалентної дози здійснюється автоматично з інтервалом часу близько 40с, або вручну, шляхом короткочасного натискання на кнопку "МЭД – контроль питания".

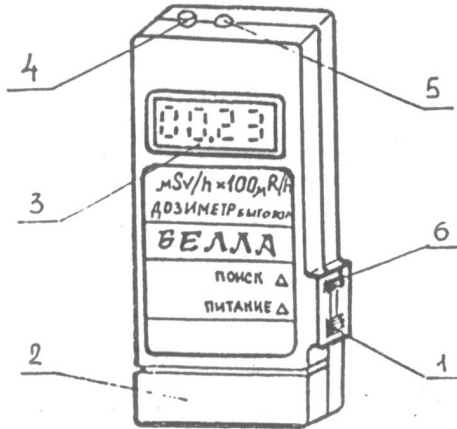
Час вимірювання дорівнює 40 секунд, при цьому на цифровому табло після кожного розряду (цифри) індіціюються крапки. Зникнення крапок після 1, 2, 4 розрядів сигналізує про закінчення процесу вимірювання .

Прилад забезпечує безперервну звукову і світлову сигналізацію

про перевищення верхньої межі діапазону вимірювання 99,99 мкЗв/год (переповнення цифрового табло) до значення потужності еквівалентної дози не більше 1,0мЗв/год.

1.2.6.2 Робота з приладом

1. Увімкнути прилад переміщенням повзунка **1** (рис. 1.7).



1 – вимикач живлення; 2- кришка відсіку батарейного живлення; 3- цифрове рідиннокристалічне табло; 4- кнопка "МЭД - контр. питания" для включення режиму визначення потужності еквівалентної дози і контролю напруги живлення; 5- індикатор напруги батареї живлення; 6- вимикач режиму пошуку "Поиск".

Рисунок 1.7 - Зовнішній вигляд приладу „Белла“

2. Увімкнути режим "Поиск" переміщенням повзунка **6**. При природному фоновому випромінненні дозиметр повинен подавати 10...60 звукових сигналів за хвилину. Зі збільшенням інтенсивності γ -випромінювання пропорційно зростає частота проходження звукових сигналів. Наявність крапок після кожного розряду (цифри) говорить про те, що відбувається вимірювання потужності еквівалентної дози, при цьому показання на цифровому табло будуть змінюватися.

3. Після зникнення крапок після 1,2,4 розрядів зняти показання з табло приладу.

4. Натисканням на кнопку 4 скинути показання.

5. Виконати кілька вимірів радіаційного фону (за вказівкою викладача) і визначити середнє значення.

Примітка: У зв'язку з тим, що прилад починає вимірювати потужність дози із заданою точністю через 10 секунд після включення, то перший результат вимірювання не враховується. Потрібно не раніше, ніж через 10 секунд після включення приладу короткочасно натиснути кнопку «МЕД-контр. питания», при цьому час вимірювання буде відраховуватися з моменту натискання кнопки.

1.2.7 Радіометр – рентгенметр – дозиметр "Терра – П"

1.2.7.1 Устрій і призначення приладу

Побутовий радіометр – рентгенметр – дозиметр "Терра – П" призначений для вимірювання еквівалентної дози (ЕД) та потужності еквівалентної дози γ – випромінювання (ПЕД), а також оцінки поверхневої забрудненості β – радіонуклідами. Додатково в приладі реалізовано функції годинника та будильника.

Прилад використовується в побутових цілях : для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, предметів побуту, одягу, поверхні ґрунту на садибних ділянках, транспортних засобів; для оцінки радіаційного забруднення лісових ягід та грибів, а також як наочне обладнання для закладів освіти. Основні технічні характеристики приладу наведені у табл.1.6. Зовнішній вигляд приладу "Терра – П" зображений на рис. 1.8.

На передній панелі приладу розташовані кнопки "Порог" та "Режим", звуковий і рідиннокристалічний індикатори. На задній панелі розташовані відсік для батареї живлення і кришка, під якою знаходиться газорозрядний лічильник.

В приладі програмуються значення порогових рівнів ПЕД γ -ви-

Таблиця 1.6 – Основні технічні характеристики приладу "Терра – П"

№ п/п	Параметр	Одиниця вимірювання	Величина
1	Діапазон вимірювань ПЕД γ -випромінювання	мкЗв/год	0,1...999,9
2	Діапазон вимірювань ЕД γ -випромінювання	мЗв	0,001...9999
3	Діапазон щільності потоку β -часток, в якому можлива оцінка поверхневої забрудненості β - радіонуклідами	част./($\text{см}^2 \cdot \text{хв}$)	10...10 ⁵



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд приладу "Терра – П".

промінення, при перевищенні яких спрацьовує сигналізація. Значення порогового рівня, який встановлюється автоматично при увімкненні приладу, складає 0,30 мкЗв/год, що відповідає максимально допустимому рівню γ -фону для приміщень відповідно до "Норм радіаційної безпеки України НРБУ-97". Прилад подає звукові сигнали різних періодичностей та різних тональностей при перевищенні запрограмованого рівня ПЕД, спрацьовуванні будильника та розрядженні батареї живлення нижче допустимого рівня.

1.2.6.2 Робота з приладом

Короткочасно натиснути кнопку "Режим". При цьому прилад повинен увімкнутись і відразу працювати в режимі вимірювання ПЕД γ -випромінення, про що свідчатимуть наявність на цифровому індикаторі одиниць вимірювання ПЕД – " $\mu\text{Sv/h}$ " та короткочасні звукові сигнали від зареєстрованих γ – квантів. До завершення інтервалу вимірювання буде спостерігатись мигання цифрових розрядів індикатора. Після завершення інтервалу вимірювання на цифровому індикаторі повинен висвітитись результат вимірювання γ – фону. Режим вимірювання ПЕД γ – випромінювання вмикається пріоритетно з моменту увімкнення приладу. Оскільки в приладі передбачено постійне усереднення результатів вимірювань, то з кожним наступним поновленням значення на цифровому індикаторі відбувається його уточнення. Для вимірювання ПЕД γ –

випромінення необхідно прилад орієнтувати метрологічною міткою "+" у напрямку до об'єкта, що обстежується. Результатом вимірювань ПЕД γ – випромінювання вважати середнє арифметичне з п'яти останніх вимірів через 10 секунд після початку вимірювання за умови незмінності розташування приладу по відношенню до об'єкта.

1.3 Порядок виконання роботи

1.3.1 Уважно вивчити методичні вказівки до роботи.

1.3.2 Увімкнути і настроїти дозиметричні прилади.

1.3.3. Визначити кожним приладом величину радіаційного фону

P_H в аудиторії за наступними формулами

а) для приладів МКС-07 «Пошук», "Припять", "Белла" і «Терра-П»:

$$P_H = (P_{H1} + P_{H2} \dots + P_{Hn}) / n, \text{ мкЗв/год}; \quad (1.3)$$

де $P_{H1} \dots P_{Hn}$ – потужності еквівалентної дози γ – фону, виміряні в аудиторії, мкЗв/год;

n – кількість вимірювань:

- для приладів МКС-07 "Пошук", "Припять", "Терра-П" $n = 20$;

- для приладу "Белла" $n = 10$;

б) для приладу СРП-88Н:

$$P_H = (P_{H1} + P_{H2} \dots + P_{Hn}) / (4,7 \cdot 100 n), \text{ мкЗв/год}; \quad (1.4)$$

$n = 20$;

в) для приладу "Бета":

$$P_H = (P_{H1} + P_{H2} \dots + P_{Hn}) \cdot 4,7 / (\cdot 100 n), \text{ мкЗв/год} \quad (1.5)$$

$n = 30$.

1.3.4 Порівняти свідчення приладів між собою і зробити висновки.

1.3.5 Порівняти отримане за свідченнями усіх приладів середнє значення P_H з величиною нормального радіаційного фону (не більше 0,3 мкЗв/год) і зробити висновки.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження іонізуючих випромінювань

Ціль роботи: отримати навички з проведення радіометричних вимірювань.

Прилади і обладнання: дозиметричні прилади "Припять", "Бета"; «СРП-88Н», установка для дослідження іонізуючих випромінювань; радіоактивний ізотоп "стронцій – ітрій – 90"; набір екранів із різних матеріалів.

2.1 Загальні положення

Радіометричні вимірювання, що проводяться з метою виявлення джерел іонізуючих випромінювань і визначення ступеня їхньої небезпеки для людини полягають у вимірюванні потужності експозиційної дози (рівня радіації), щільності радіоактивного забруднення (поверхневої активності), об'ємної та питомої активності проб продуктів харчування, води, будівельних матеріалів та ін.

Під час розпаду стронція-90, що використовується в даній лабораторній роботі, виникає електронний β -розпад, тобто перетворення нейтрона у протон. Заряд його ядра та його порядковий номер зростає на одиницю. Електронний розпад є характерним для ядер з надлишковим числом нейтронів:

Поверхні, що забруднені радіоактивними речовинами, є як β -випромінювачами, так і γ - випромінювачами. Тому контроль радіоактивного забруднення може бути здійснений як по γ – випромінюванню, так і по сумарному $\beta + \gamma$ - випромінюванню. Оскільки ізотоп «стронцій – ітрій – 90», що використовується у лабораторній роботі, випромінює тільки β – випромінювання, а дозиметричні прилади вимірюють тільки або γ – випромінювання, або $\beta + \gamma$ – випромінювання, то для проведення дослідження потрібно попередньо вимірити γ – фон. При цьому режим роботи приладу -" γ ". Потім переключити прилад у режим " β " (у приладу "Припять" – перемикачем 5 (рис. 1.4), попередньо знявши сталеву кришку з тильної сторони приладу і виміряти потужність дози сумарного $\beta + \gamma$ – випромінювання. З другого результату потрібно відняти перший результат і ця різниця буде дорівнювати потужності дози по β - випромінюванню. Сталева кришка приладу "Припять" призначена для відфільтрування сторонніх випромінень (наприклад β – випромінювання) з сумарного $\beta + \gamma$ – сиг-

налу з метою вимірювання γ – фону, оскільки β – випромінювання ефективно поглинається будь-якими матеріалами з високою щільністю. Збільшення показань приладу в режимі " β " в зрівнянні з режимом " γ " свідчить про наявність β - випромінювання.

2.2 Прилади і обладнання

2.2.1 Дозиметричні прилади

Дозиметричні прилади, що використовуються в даній лабораторній роботі, описані в лабораторній роботі №1.

2.2.2 Обладнання

В даній роботі використовується установка для дослідження іонізуючих випромінювань у вигляді каркасу **1** (див. рис. 2.1) із заксленими поверхнями, у нижній частині якого знаходиться лінійка **2**, проградуйована в сантиметрах.

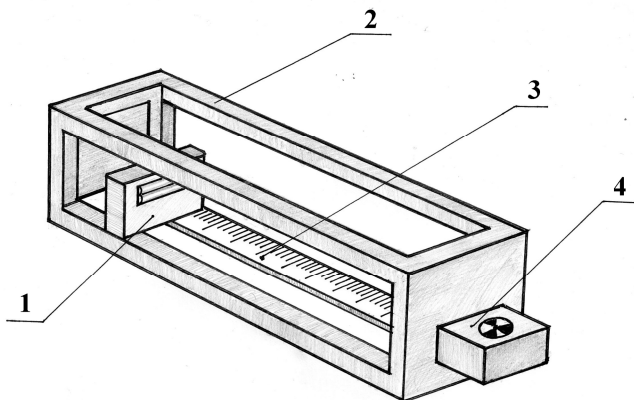


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд установки для дослідження іонізуючих випромінювань

1- дозиметричний прилад "Припять"; 2- каркас; 3 - лінійка; 4 – контейнер із радіоактивним ізотопом.

В одному з торців установки є вікно з кронштейном, на котрому установлюється контейнер **5** з радіоактивним ізотопом – джерелом β – випромінювання. З бокової сторони у каркас вставляється прилад "Припять" або блок детектування приладу МКС-07 «Пошук», який може переміщуватися уздовж лінійки.

2.3 Дослідження залежності потужності дози від відстані до джерела випромінювання

Дослідження залежності проводиться у наступній послідовності:

1. За допомогою приладу "Припять" виміряти рівень γ – фону в аудиторії і записати у табл. 2.1.

2. Установити контейнер із радіоактивним ізотопом на кронштейн установки, а прилад "Припять" розмістити в установці, поклавши його на позначці "85 см" лінійки. При цьому сталева кришка на тильній стороні приладу "Припять" або блоку детектування приладу мкс-07 «Пошук» повинна бути знята.

3. Витягти з контейнера із радіоактивним ізотопом захисний екран і виконати вимірювання потужності дози сумарного " $\beta + \gamma$ " – випромінювання на відстанях 85, 75, 65, ..., 5 см. Відняти з отриманих значень величину γ – фону, а отриману різницю, тобто потужність дози β – випромінювання, записати у табл. 2.1.

4. Побудувати графік залежності потужності дози від відстані до джерела випромінювання $P_n = f(l)$ і зробити висновок.

2.4. Дослідження залежності захисних властивостей матеріалів від їх щільності

Дослідження залежності проводиться у наступній послідовності:

1. По черзі установлюючи у контейнер екрани з різних матеріалів, провести вимірювання потужності дози на позначці "5 см" лінійки і записати результати у табл. 2.2, попередньо віднімаючи з них величину γ - фону.

2. Розрахувати коефіцієнт послаблення потужності дози різними матеріалами шляхом ділення величини потужності дози на позначці "5см" без екранування (з табл. 2.1) на потужність дози на тій же позначці при екрануванні відповідним матеріалом (з табл. 2.2) і записати результати у табл. 2.2.

3. Побудувати графік залежності коефіцієнта послаблення від щільності матеріалу $K_{\text{посл}} = f(\rho)$ і зробити висновок про характер залежності захисних якостей матеріалів від їх щільності.

Таблиця 2.1 – Потужності еквівалентної P_n та експозиційної P_x доз, вимярені на різних відстанях до ізотопу.

Параметр	Відстань до ізотопу, см								
	85	75	65	55	45	34	24	15	5
Потужність еквівалентної дози P_n , мкЗв/год									
Потужність експозиційної дози P_x , мкР/год									
Потужність доз в аудиторії на день проведення вимірювань (рівень радіації): еквівалентної P_n = мкЗв/год, експозиційної P_x = мкР/год									

Таблиця 2.2 – Оцінка радіозахисних властивостей різних матеріалів (вимірювання на позначці "5 см" з екранами).

Параметр	Матеріали							
	Свинець	Полістирол	Скло силікатне	Скло органічне	Склопластик	Дерево	Пінопласт	Тканина
Щільність матеріалу, г/см ³								
Потужність дози P_n , мкЗв/год								
Потужність дози P_x , мкР/год								
Коефіцієнт послаблення $K_{\text{посл}}$, раз								

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Визначення поверхневої активності поверхонь, заражених α - і β - випромінюючими радіонуклідами

Ціль роботи: отримати навички з оцінки забрудненості поверхонь радіонуклідами і визначення відповідності її нормам радіаційної безпеки.

Прилади і обладнання: дозиметричні прилади "Припять", "Бета"; МКС-07 "Пошук" з блоками детектування БДИБ-07 і БДПА-07, «СРП-88Н» з контрольним радіоактивним джерелом ^{60}Co , ДП-5Б з контрольним радіоактивним джерелом ^{90}Sr і ^{90}Y .

3.1 Визначення поверхневої активності (щільності радіоактивного β -забруднення) за допомогою приладу "Бета"

Визначення поверхневої активності проводиться у наступній послідовності:

1. Повільно переміщуючи на відстані 5...10 мм від досліджуваної поверхні прилад "Припять", виявити на даній поверхні джерела іонізуючих випромінювань, звертаючи увагу на змінення частоти звукових імпульсів приладів (режим роботи приладу – " β "). Рідкі звукові імпульси свідчать про нормальні фонові значення потужності дози. Різде збільшення частоти звукових імпульсів у будь-якій точці свідчить про наявність у даній точці джерела іонізуючого випромінювання. Найбільш чутливе місце у прилада "Припять" знаходиться посередині поміж газорозрядними лічильниками (на половині їхньої довжини).

2. Відповідно пункту 1.2.4. лабораторної роботи №1 увімкнути і підготувати до роботи радіометр "Бета".

3. Натисканням на кнопку 5 (рис. 1.5) установити на індикаторі приладу режим роботи "1" (блок детектування при цьому повинен бути закритий сталеву кришкою). Натисканням на кнопку "Пуск" включити прилад на вимірювання. Виконати декілька (за вказівкою викладача) вимірювань швидкості лічення кількості фонових імпульсів N_{ϕ} і визначити середнє значення за формулою

$$\bar{N}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\phi i}}{n} \quad (3.1)$$

де N_ϕ – середнє значення кількості фонових імпульсів, с^{-1} ;

$N_{\phi i}$ – швидкість лічення кількості фонових імпульсів, с^{-1} ;

n – кількість вимірювань.

4. Зняти з робочого вікна блока детектування захисну сталеву кришку і, утримуючи блок на відстані 1 см від досліджуваної поверхні робочим вікном до поверхні, виконати декілька вимірювань швидкості лічення кількості імпульсів з поверхні за формулою

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (3.2)$$

де N – середнє значення швидкості лічення кількості імпульсів з поверхні с^{-1} .

N_i – швидкість лічення кількості імпульсів з поверхні, с^{-1} ;

n – кількість вимірювань.

При цьому блок детектування розміщується над тими точками поверхні, де раніш (див. п.1) були знайдені джерела випромінювання.

Увага: Категорично забороняється доторкатися руками чи будь-якимись предметами до слюдяної плівки блока детектування, бо це виведе його з ладу і зробить неремонтопридатним.

5. Розрахувати поверхневу активність (щільність радіоактивного забруднення) за формулою

$$A_s = K_3 \cdot (\bar{N} - \bar{N}_\phi) \quad (3.1)$$

де A_s – поверхнева активність (щільність радіоактивного забруднення) об'єкта, част. / $\text{см}^2 \cdot \text{хв.}$;

K_3 – виправний множник, $K_3 = 3,5$ част. / $\text{см}^2 \cdot \text{хв.}$;

N – середнє значення швидкості лічення кількості імпульсів

з поверхні, с⁻¹;

N_{ϕ} – середнє значення кількості лічення фононих імпульсів, с⁻¹.

6. Порівняти результати з нормами радіаційної безпеки для β – випромінюючих радіонуклідів (див. табл.Ж-2 , дод.Ж) і зробити висновки:

а) про відповідність отриманих результатів нормам радіаційної безпеки;

б) про необхідність екранування (або дезактивації) поверхонь, що випромінюють, з метою послаблення впливу їх на людину.

3.2 Вимірювання поверхневої густини потоку α - частинок

1. Увімкнути пульт дозиметра і спостерігати на цифровому рідинно-кristалічному індикаторі пульта (далі ЦРІ) символ " α " та розмірність " $10/(\text{см}^2 \cdot \text{min})$ ", у випадку, якщо виміряна поверхнева густина потоку α -частинок сягає значень тисячі і більше частинок на квадратний сантиметр-хвилину та відсутність розмірності у випадку значень менших ніж тисяча частинок на квадратний сантиметр-хвилину.

2. Перевірити указані викладачем об'єкти. Зняти результати вимірень на пульті дозиметра. При необхідності отримання точних результатів, чи у випадку низьких рівнів вимірюваного α -забруднення, вимірювання необхідно здійснювати в режимах "**Старт-стоп**" або "**Точно**".

При цьому слід звернути увагу, що у випадку виміряних значень густини потоку у діапазоні від 0,1 до 999,9 част./($\text{см}^2 \cdot \text{хв}$), результати вимірювань поверхневої густини потоку α -частинок на індикаторі будуть індикуватись без символу розмірності " $10^3/(\text{см}^2 \cdot \text{min})$ " та будуть представлені на ньому у вигляді XXX,X, де X- десяткові розряди на ЦРІ, однак вага справа-наліво яких становитиме десяті долі частинки, одиниці та сотні частинки відповідно. У випадку виміряного значення поверхневої густини потоку α -частинок більшого ніж 999,9 част./($\text{см}^2 \cdot \text{хв}$), ЦРІ перейде в режим індикації з висвічуванням символу розмірності " $10^3/(\text{см}^2 \cdot \text{min})$ ", а результат буде представлений у вигляді X,XXX чи XX,XX, де X- десяткові розряди на ЦРІ. У такому випадку вага цифрових розрядів зліва від коми буде становити тисячі та десятки тисяч част./($\text{см}^2 \cdot \text{хв}$).

3. Порівняти отримані результати з нормативними (див. табл.Ж-2, дод.Ж) і зробити висновки.

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Захист робочих місць від іонізуючих випромінювань

Ціль роботи: Вивчити і засвоїти методику розрахунку захисту персоналу від іонізуючих випромінювань на робочих місцях.

4.1 Загальні положення

Радіоактивні речовини (джерела іонізуючих випромінювань) широко застосовуються в різних галузях промисловості, медицині та науково-дослідницьких роботах. Наприклад, для вивчення зносу деталей використовують радіоізотопи; іонізуючі випромінювання застосовуються в машино– та приладобудуванні, в гірнично-рудній та вугільній промисловості, металургії, будівництві та інших галузях господарської діяльності для автоматизації контролю технологічних операцій і управління ними, виявлення дефектів (γ – дефектоскопія) у відливках, поковках, зварних швах, для контролю якості виробів. Джерелами іонізуючих випромінювань окрім радіоактивних речовин, можуть бути електровакуумні прилади, що працюють під високою напругою (рентгенівські апарати). Широко застосовуються джерела іонізуючого випромінювання також в атомній енергетиці. При цьому можуть використовуватися як відкриті, так і закриті джерела випромінювання.

Відкрите джерело – радіоактивне джерело випромінювання, при використанні котрого можливе надходження радіоактивних речовин, що містяться в ньому, до навколишнього середовища.

Закрите джерело – радіоактивне джерело випромінювання, устрій якого виключає можливість надходження радіоактивних речовин, що містяться в ньому, до навколишнього середовища в умовах застосування і зносу, на які він розрахований.

Умови безпеки при використанні радіоактивних ізотопів у промисловості потребують застосування захисних заходів не тільки до людей, безпосередньо працюючих із радіоактивними речовинами, але і до тих, що знаходяться у суміжних приміщеннях, а також населення, що мешкає на близьких відстанях від даного підприємства.

Норми радіаційної безпеки України НРБУ - 97 включають у себе систему принципів, критеріїв, нормативів і правил, виконання яких є обов'язковою нормою в політиці держави з метою забезпечення протирадіаційного захисту людини і радіаційної безпеки. НРБУ – 97.

Вони побудовані на наступних головних принципах радіаційної безпеки: неперевищення установленної основної дозової межі, виключення усякого необґрунтованого опромінення, зниження дози до можливо низького рівня.

Нормами НРБУ – 97 регламентовані 3 категорії опромінюваних осіб:

а) **категорія А** (персонал) – особи, що постійно або тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань;

б) **категорія Б** (персонал) – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць у приміщеннях і на промислових майданчиках об'єктів із радіаційно-небезпечними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення;

в) **категорія В** – усе населення.

Ліміти доз опромінення (тобто дозові межі опромінення), складають:

а) **категорія А** – $L_{DE} = 20 \text{ мЗв/рік}$;

б) **категорія Б** – $L_{DE} = 2 \text{ мЗв/рік}$;

в) **категорія В** – $L_{DE} = 1 \text{ мЗв/рік}$.

4.2 Принципи захисту робочих місць від іонізуючих випромінювань

Захист від зовнішнього іонізуючого випромінювання здійснюють наступними способами:

а) скороченням часу опромінення;

б) збільшенням відстані від робочого місця до джерела опромінення;

в) зменшенням потужності джерела випромінювання до мінімуму;

г) екрануванням робочого місця (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Принципи захисту від зовнішнього опромінення.

№ п/п	Вид захисту	Принцип захисту	Розрахункова формула
1	2	3	4
1	Захист кількістю	Використання для роботи джерел із мінімально можливим виходом іонізуючих випромінювань	$m^* = \frac{120 \cdot R}{t}$
2	Захист часом	Проведення робіт, пов'язаних з опроміненням, за мінімально можливий час	$t^{**} = \frac{120 \cdot R^2}{m}$

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
3	Захист відстанню	Забезпечення під час робіт із джерелами іонізуючого випромінювання максимально можливої відстані від джерела до людини	$R = \sqrt{\frac{m \cdot t}{120}}$
4	Захист екранами	Зменшення інтенсивності випромінювань за допомогою екранів	$K = P_n / P_n^e$

Примітки до таблиці 4.1: m – активність джерела, мг-екв. радія;
 R – відстань від джерела до людини, м;
 t - тривалість роботи з джерелом на протязі тижня, год;
 K – коефіцієнт послаблення радіації екраном, разів;
 P_n – потужність еквівалентної дози радіації, вимірювана на робочому місці без екранування, мкЗв/год.;

P_n^e – максимально допустима потужність еквівалентної дози радіації, регламентована НРБУ-97 для даної категорії робітників (в тому числі з використанням екранування), мкЗв/год.

4.3 Проектування захисту робочих місць від іонізуючих випромінювань

Тривалість перебування робітника у небезпечній зоні не повинна перевищувати часу, протягом якого він отримує допустиму дозу. Інтенсивність випромінювання зворотно пропорційна квадрату відстані до його джерела. Захисні екрани мають різноманітну конструкцію і можуть бути стаціонарними, переносними, розбірними та настільними. Розраховуються розміри захисних екранів на основі законів послаблення випромінень у речовині екрану. Розрахувати товщину екрану, котра послабить дозу опромінення від джерела до гранично допустимого значення за даних умов можна за формулами (з використанням шарів половинного послаблення), за допомогою довідкових номограм (дод.Г) та таблиць (дод.Д), котрі дають можливість швидко і з достатньою точністю вирішувати питання захисту. Вихідними даними при використанні таблиць є енергія випромінювання і потрібна кратність послаблення γ -випромінювання обраним захисним матеріалом. Кратність послаблення указує, в скільки разів захист заданої товщини знижує рівень випромінювання.

За допомогою універсальних таблиць можна розв'язувати різноманітні задачі, що часто виникають в практиці розрахунку захисту від γ -випромінювання. Наприклад, якщо потрібно визначити товщину захисту за заданим зменшенням потужності дози, то кратність послаблення захисним екраном прирівнюється до потрібної кратності зменшення дози або потужності дози. За відомою товщиною захисного екрана по таблицях легко знайти кратність послаблення випромінювання джерел і, таким чином, визначити допустимий час роботи за екраном або допустиме значення активності джерела. Потрібну для забезпечення захисту кратність послаблення можна розрахувати за формулами

$$K = H/H_e \quad \text{або} \quad K = P_H/P_H^e, \quad (4.1)$$

$$K = D/D_e \quad \text{або} \quad K = P_D/P_D^e; \quad (4.2)$$

де H і P_H – відповідно еквівалентна доза і потужність еквівалентної дози, виміряні в даній точці за відсутності захисного екрана, мкЗв/год;

H_e P_H^e – теж, тільки після установаження захисного екрана;

D і P_D - відповідно поглинена доза і потужність поглиненої дози, виміряні в даній точці за відсутності захисного екрану, мГр та мГр/год;

D_e і P_D^e - теж, тільки після установаження захисного екрана.

Якщо для захисту використовуються екрани з інших, ніж свинець, матеріалів (бетон, залізо, цегла, чавун та ін.), то можна зробити перерозрахунок захисту за значеннями щільностей даних матеріалів (див. дод. Б, табл. Б.1), користуючись співвідношенням

$$d_1 * \rho_1 = d_2 * \rho_2, \quad (4.3)$$

де d_1 - товщина базового захисного матеріалу (свинцю), см;

ρ_1 - щільність базового захисного матеріалу (свинцю), г/см³;

d_2 - товщина заданого захисного матеріалу, см;

ρ_2 - щільність заданого захисного матеріалу, г/см³.

При проектуванні захисту від зовнішнього іонізуючого випромінювання в зв'язку з можливими похибками вихідних даних використовується коефіцієнт запасу по потужності еквівалентної дози, що дорівнює 2.

Для розрахунку захисту проектна потужність еквівалентної дози P_n на поверхні захисту визначається за формулою

$$P_n = LD_{A,B} / 2 \cdot t, \quad (4.4)$$

де $LD_{A,B}$ - ліміт дози зовнішнього опромінення для осіб категорій персоналу А і Б, мкЗв (табл.В.1 дод.В).

4.3.1 Приклади розрахунків захисту

Задача №1. Визначити за допомогою формул і таблиць потрібну товщину захисного екрана з свинцю для захисту персоналу категорії **A(1)** від іонізуючих випромінювань, якщо виміряна на робочому місці потужність дози без екрану складає $P_n = 408$ мкЗв/год, а середня енергія γ -випромінювання $E=0,4$ МеВ.

Рішення

1. Визначаємо проектну потужність еквівалентної дози опромінення (див. табл..В.1) $P_n^e = 6$ мкЗв/год.
2. Розраховуємо потрібну кратність послаблення

$$K = P_n / P_n^e = 408 / 6 = 68 \text{ разів.}$$

3. Визначаємо необхідну товщину екрана (див. табл.Д.3). Оскільки в таблиці немає потрібних значень, то проводимо інтерполяцію (див. дод.Е)

$$d_\gamma = C + (D - C) \cdot (E - A) / (B - A) = 2,05 + (2,15 - 2,05) x$$

$$x (68 - 60) / (80 - 60) = 2,09 \text{ м.}$$

Задача №2. Визначити за допомогою номограм безпечну відстань від джерела випромінювання – радіоізоотопу C_s-137 , якщо його активність $A = 1,11 \cdot 10^{12}$ Бк і використовується екран із свинцю товщиною **0,08 м**.

Рішення

1. Перераховуємо активність C_s-137 у беккерелях на активність A_k ,

у кюрі, щоб скористуватися номограмами

$$A_k = 1,11 \cdot 10^{12} \cdot 2,7 \cdot 10^{-11} = 30 \text{ Ки.}$$

2. Безпечна відстань буде дорівнювати **R = 1,3 м.**

Задача №3. Визначити за допомогою формул і таблиць, якою може бути максимальна потужність дози в робочому приміщенні до екрана з свинцю товщиною $d_\gamma = 0,02 \text{ м}$, якщо середня енергія γ -випромінювання дорівнює **E=0,4 МеВ**, а категорія персоналу, який потрібно захистити в приміщенні –**A(1)**.

Рішення

1. Визначаємо проектну потужність еквівалентної дози опромінення (див. табл.В.1) $P_H^e = 6 \text{ мкЗв/год}$.
2. Визначаємо кратність послаблення, яку може забезпечити даний екран. Із табл.Г.3 за допомогою інтерполяції визначаємо

$$K = C + (D - C) \cdot (E - A) / (B - A) = 50 + (60 - 50) \cdot (2 - 1,95) :$$

$$: (2,05 - 1,95) = 55 \text{ разів.}$$

3. Розраховуємо максимальну потужність дози

$$P_H = K \cdot P_H^e = 55 \cdot 6 = 330 \text{ мкЗв/год.}$$

5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Аналіз проб води, землі, продуктів харчування та будівельних матеріалів на вміст радіонуклідів (РН)

Ціль роботи: засвоїти методику аналізу проб на радіоактивність.

Прилади й устаткування: 1. Радіометр «Бета».
2. Радіометр-рентгенметр «Припять».
3. Контрольовані проби.

5.1 Порядок проведення роботи

1. Визначення радіаційного фону в свинцевому будиночку-контейнері.
2. Визначення об'ємної активності проби питної води.
3. Визначення питомої активності проби продуктів харчування.
4. Визначення питомої активності проби ґрунта.
5. Визначення питомої активності проб будівельних матеріалів.
6. Отримані результати занести до табл. Ж.1 (дод. Ж), порівняти отримані значення з нормативними і зробити висновки.

5.2 Опис дозиметричних приладів і обладнання, що використовуються в лабораторній роботі

Устрій і принцип роботи приладів «Бета» і «Припять» описані в методичних вказівках до лабораторної роботи № 1 «Дозиметричні прилади».

5.3 Проведення радіометричних вимірювань за аналізом контрольованих проб

Допустимі рівні вмісту РН у продуктах харчування і питній воді установлені державним нормативом ДР-97, який регламентує вміст радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування на території України, і тих, що ввозитимуться на територію України з метою реалізації.

Значення допустимих рівнів установлені виходячи з того, що вміст РН у продуктах харчування забезпечує неперевищення річної дози внутрішнього опромінення **1мЗв**. При цьому опромінення внаслідок надходження інших техногенних і природних РН не враховуються.

При розробці ДР-97 за критичні були прийняті групи дорослих

осіб (у розрахунках по ^{137}Cs), дітей і підлітків у віці 12...17 років (у розрахунках по ^{90}Sr). Допустимі рівні кожного з продуктів наведені з урахуванням його відносної частки в надходженні певного РН до організму на основі статистичного аналізу даних про вміст РН у продуктах харчування в різних місцевостях (див. табл.К-1,дод.К).

5.3.1 Визначення об'ємної (ОА) і питомої (ПА) активності бета-випромінюючих радіонуклідів в пробах за допомогою радіометра «Бета».

1. Підготувати проби до вимірювань.
2. Підготувати радіометр до роботи із свинцевим будиночком, для чого вставити блок детектування у верхній паз корпусу свинцевого будиночка і підключити його до блока індикатора.
3. Увімкнути живлення і установити режим роботи «3». У середній паз свинцевого будиночка помістити кювету з дистильованою водою, закрити дверці будиночка і провести n вимірювань швидкості лічення фонових імпульсів N_{Φ} . Розрахувати середнє значення швидкості лічення фонових імпульсів за формулою

$$N_{\Phi} = \sum N_{\Phi i} / n , \quad (5.1)$$

де N_{Φ} – середнє значення швидкості лічення фонових імпульсів, с^{-1} ;

$N_{\Phi i}$ – швидкість лічення фонових імпульсів, виміряна при i -му вимірюванні, с^{-1} ;

n – кількість вимірювань, $n=3,4,5$.

4. Протягом дня проводити вимірювання фону через кожні 1,5...2 години роботи. Якщо за результатами наступних вимірювань фону його значення збільшуються більш, ніж на 50%, то свинцевий будиночок, вимірювальна кювета і блок детектування підлягають дезактивації.

5. Помістити у свинцевий будиночок кювету з пробєю і провести n вимірювань швидкості лічення в одному з указаних викладачем режимів "3"..."6". Визначити середнє значення швидкості лічення від проби за формулою

$$N = \sum N_i / n , \quad (5.2)$$

де N – середнє значення швидкості лічення імпульсів від проби, с^{-1} ;

N_i – швидкість лічення фонових імпульсів, виміряна при

і-му вимірюванні, c^{-1} ;

n – кількість вимірювань, $n=3,4,5$.

Розрахунок об'ємної та питомої активності виконується за формулами

$$A_O = (N - N_{\Phi}) / S^P, \quad (5.3)$$

$$A_{\Pi} = (N - N_{\Phi}) / S^P, \quad (5.4)$$

де A_O - об'ємна активність проби, Бк/л або Кі/л;

A_{Π} - питома активність проби, Бк/кг або Кі/кг;

S^P – чутливість радіометра для даного виду радіоактивної речовини;

N – середнє значення швидкості лічення імпульсів від проби, c^{-1} ;

N_{Φ} – середнє значення швидкості лічення фонових імпульсів, c^{-1} .

Для ізотопів $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ чутливість радіометра визначена при аттестації приладу і дорівнює $4,3 \cdot 10^7$ $\text{кг(л)} \cdot c^{-1} \cdot \text{Кі}^{-1}$.

5.3.2 Визначення об'ємної (ОА) і питомої (ПА) активності бета-випромінюючих радіонуклідів в пробах за допомогою радіометра-рентгенметра "Припять"

1. Підготувати проби до вимірювань. Питома активність β – випромінюючих нуклідів у продуктах харчування та інших пробах зовнішнього середовища вимірюється в кюветах, що спеціально прикладаються до приладу, при знятій кришці-фільтру. Одиниця вимірювання при цьому – кюрі на кілограм.

2. Для вимірювання питомої активності потрібне дотримання наступних вимог:

а) рівень γ -фону не повинен перевищувати 0,25 мкЗв/год (25 мкР/год), для чого вимірювання бажано проводити в закритих чистих приміщеннях з мінімальним рівнем фону;

б) робоче місце повинно бути обладнаним покриттям, що легко миеється (наприклад, поліетиленова плівка), що дозволяє проводити багаторазову вологу обробку.

3. Досліджувані харчові продукти підготовлюються у тому вигляді, в котрому вони підлягають споживанню, тобто ретельно вичищеному, вимитому тощо. Пробу харчового продукту потрібно зм'якшити, наприклад, на терці або у м'ясорубці, або нарізати дрібними часточками.

4. Перемикачі на передній панелі приладу установити в наступні положення:

- «**Режим**» - «β»;
- «**φ – Ам**» - «Ам»;
- «**Предел**» - нижнє положення;
- «**Время**» - «100 мин» (верхнє положення);
- «**Н – Х**» - будь-яке положення.

5. Установити прилад зі знятою кришкою-фільтром на раніш підготовлену чисту кювету. Увімкнути і не раніш, ніж через 100 хв., провести зчитування послідовних значень фону (їх кількість укажується викладачем і визначити середнє значення.

6. Помістити у кювету підготовлену пробу таким чином, щоб проба знаходилася нижче країв кювети на 3...5 мм для запобігання забруднення приладу пробою.

7. Не раніш, ніж через 100 хв. провести зчитування трьох послідовних показів і визначити середнє значення. Для отримання величини питомої активності проби необхідно із отриманого значення відрахувати середнє значення фону. Отримана різниця є виміреним значенням питомої активності проби.

Наприклад, середнє значення показів приладу при вимірюванні проби склало 0450, а при вимірюванні фону 0320. Різниця складає: $0450 - 0320 = 130$. Отримане значення необхідно помножити на показник ступеня піддіапазону, на котрому проводилися вимірювання, тобто на $1 \cdot 10^{-9}$. Таким чином, активність проби складає $130 \cdot 10^{-9}$ Кі/кг або $1,3 \cdot 10^{-7}$ Кі/кг.

Для оперативного контролю питомої активності необхідно перемикач «**Время**» перевести у нижнє положення і вимірювання проводити через 10 хв., при цьому дещо збільшиться похибка вимірювання.

Для прискорення скидання показань між вимірюваннями рекомендується перемикач «**φ – Ам**» перевести у положення «φ», а перемикач «**Время**» - у нижнє положення. При цьому час скидання показань складатиме 30...40с.

8. Якщо на цифровому індикаторі з'явився сигнал переповнення – індичіюється одиниця старшого розряду, а решта цифр згаснуть, то перемикач "**Предел**" потрібно перевести у верхнє положення, перемикач "**Время**" – у нижнє положення. Через 1 хв. провести зчитування трьох послідовних свідчень і визначити середнє значення.

При тих же положеннях перемикачів потрібно провести вимірювання фону, відрахувати його з отриманих свідчень приладу при вимірюванні питомої активності проби і помножити на показник ступеня

піддіапазону, що дорівнює $1 \cdot 10^{-6}$. Наприклад, свідчення при вимірюванні проби 2,72, а при вимірюванні фону 0,47. Тоді активність проби складатиме $(2,72 - 0,47) \cdot 10^{-6} = 2,25 \cdot 10^{-6}$ Кі/кг.

ЛІТЕРАТУРА

- 1) Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
- 2) Егер Р. Дозиметрия и защита от излучений. – М.: Госатомиздат, 1961. – 212 с.
- 3) Кобевник В.Ф. Охрана труда. – К.: Вища школа, 1990. – 288 с.
- 4) Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Госатомиздат, 1991. – 352 с.
- 5) Константинов М.П, Журбенко О.А. Радиційна безпека: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2003. – 151 с.
- 6) Кутлахмедов Ю.О. Основи радіоекології. – К.: Вища школа, 2003. – 319 с.
- 7) Норми радіаційної безпеки України (НРБУ–97). Державні гігієнічні нормативи. – К.: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. – 121 с.

Додаток А
Основні довідкові таблиці

Таблиця А.1 – Множники і префікси створення кратних і дільних одиниць та їх найменування

Мно- жник	Прис- тавка	Позначення		Мно- жник	Прис- тавка	Позначення	
		між- народ- не	вітчи- зняне			між- народ- не	вітчи- зняне
10^{18}	Екса	Е	Е	10^{-1}	Деци	d	д
10^{15}	Пета	Р	П	10^{-2}	Сантис	с	с
10^{12}	Тера	Т	Т	10^{-3}	Мілі	m	м
10^9	Гіга	G	Г	10^{-6}	Мікро	μ	мк
10^6	Мега	М	М	10^{-9}	Нано	n	н
10^3	Кіло	К	к	10^{-12}	Піко	p	п
10^2	Гект	Н	г	10^{-15}	Фемто	f	ф
10^1	Дека	Da	да	10^{-18}	Атто	a	а

Таблиця А.2 – Основні дозиметричні величини та одиниці їх вимірювання

Фізичні величини	Одиниці вимірювання		Співвідношення між одиницями вимірювання
	в системі СІ	позасистем- ні	
1	2	3	4
Експозиційна доза, X	Кулон на кілограм (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Кл/кг = 3,88 10^3 Р; 1 Р = 2,58 10^{-4} Кл/кг; 1 Р = 0,877 рад (в повітрі); 1 Р = 0,93 рад (в біотканині).
Поглинена доза, D	Грей (Гр)	Рад (рад), мрад, мкрад	1 Гр = 1 Дж/кг = = 100 рад; 1 рад = 0,01 Гр.
Еквівалентна доза, H	Зіверт (Зв)	Бер (бер), мбер, мкбер	1 Зв = 100 бер; 1 бер = 0,01 Зв.
Потужність експозиційної дози, P_x	Кулон на кілограм за секунду (Кл/(кг·с))	Рентген за секунду (Р/с)	1 Кл/(кг·с) = 3,9· 10^3 Р/с; 1 Р/с = 2,58· 10^{-4} Кл/(кг·с), 1 Р/год = 7,17· 10^{-8} А/кг = = 10 мкКи/см ² .

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4
Потужність поглиненої дози, R_d	Грей за секунду (Гр/с)	Рад за секунду (рад/с)	1 Гр/с = 100 рад/с; 1 рад/с = 0,01 Гр/с.
Активність джерела, A	Бекерель (Бк)	Кюрі (Кі)	1 Бк = 1розп./с; 1 Кі = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк = = $3,7 \cdot 10^{10}$ розп./с; 1 Бк = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Кі.
Поверхнева активність (щільність забруднення), A_s	Бекерель на квадратний метр (Бк/м ²)	Кюрі на квадратний метр (Кі/м ²)	$1 \text{Бк/м}^2 = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{Кі/м}^2$; $1 \text{Кі/м}^2 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Бк/м}^2$; $1 \text{Кі/км}^2 =$ $= 2,2 \cdot 10^2 \text{част./}(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$.
Питома активність, A_m	Бекерель на кілограм (Бк/кг)	Кюрі на кілограм (Кі/кг)	1 Бк/кг = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Кі/кг; 1 Кі/кг = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг;
Об'ємна активність, A_v	Бекерель на кубічний метр (Бк/м ³)	Кюрі на кубічний метр (Кі/м ³)	$1 \text{Бк/м}^3 = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{Кі/м}^3$; $1 \text{Кі/м}^3 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Бк/м}^3$; $1 \text{Бк/м}^3 = 2,7 \cdot 10^{-14} \text{Кі/л}$; $1 \text{Кі/л} = 3,7 \cdot 10^{13} \text{Бк/м}^3$
Керма – еквівалент джерела, K_e	Грей на квадратний метр за секунду (Гр·м ² /с)	Міліграм-еквівалент радія (мг-екв. Ra)	$1 \text{нГр} \cdot \text{м}^2/\text{с} =$ 2 мг·екв. Ra; 1 мг·екв. Ra = = 0,5 нГр·м ² /с.

Таблиця А.3- Щільність деяких матеріалів, ρ , г/см³

Матеріал	Щільність	Матеріал	Щільність
Алюміній	2,7	Полістирол	1,3
Бетон	2,2-2,4	Поліетилен	0,92
Вода	1	Освинцьована гума	3,5
Вольфрам	19,3	Свинець	11,3
Гіпс	1,8	Свинцеве скло	3,5
Дерево (суха сосна)	0,75	Цегла жовта	1,6
Залізо	7,9	Цегла червона	1,9
Мідь	8,96	Чавун	7,92
Повітря	0,0013	Шлакоблок	1,7

Додаток Б

Довідкові дані до проектування захисту на робочих місцях

Таблиця Б.1 – Проектна потужність еквівалентної дози опромінення R_H^e на робочих місцях

Категорія опромінюваних осіб	Референтний час опромінювання, год/рік	Призначення приміщення	Проектна потужність дози, R_H^e , мкЗв/год (мбер/год)
Категорія А	1700	Постійне перебування персоналу	6(0,6)
	850	Перебування персоналу не більше половини робочого часу	12(1,2)
Категорія Б	2000	Різні приміщення, установи і територія санітарно-захисної зони, де знаходяться особи, що належать до категорії персоналу Б	0,5(0,05)
Категорія В	8800	Різні приміщення (в тому числі і житлові) і територія у зоні спостереження	0,06(0,006)

Примітка: В таблиці наведені максимальні допустимі значення потужності еквівалентної дози R_H^e , що використовуються при проектуванні захисту від зовнішнього іонізуючого випромінювання для стандартної тривалості перебування у приміщеннях і на території.

Додаток В

Номограми для визначення безпечної відстані до джерела випромінення

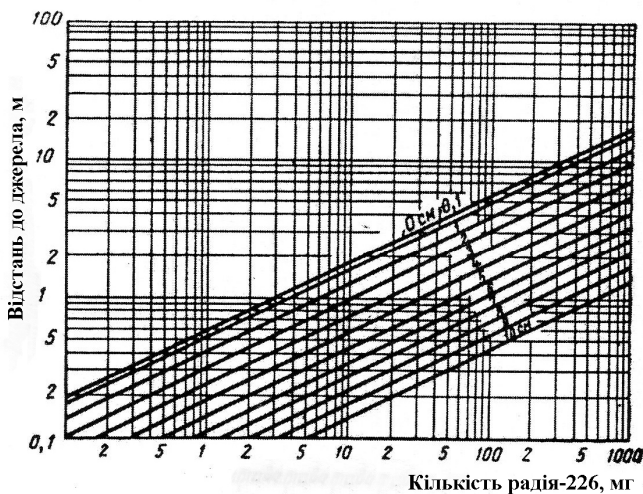


Рисунок В.1 – Товщина свинцевого екрана для захисту від γ -випромінення ^{226}Ra для різних відстаней від джерела*

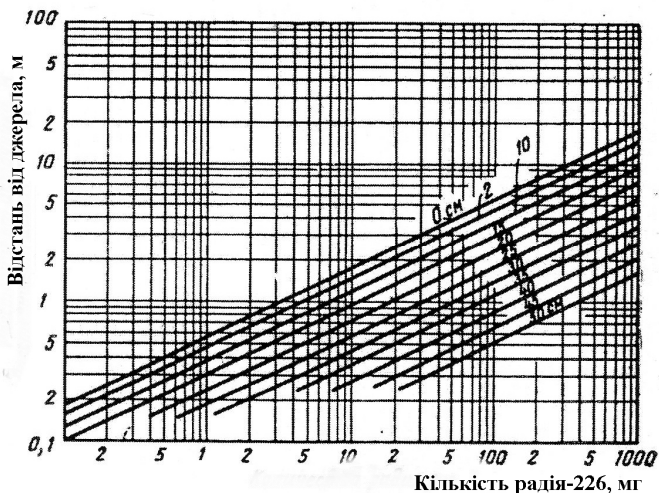


Рисунок В.2 – Товщина бетонного екрана для захисту від γ -випромінення ^{226}Ra для різних відстаней від джерела*

Примітка: * - 1 г ^{226}Ra створює активність 1 Кі.

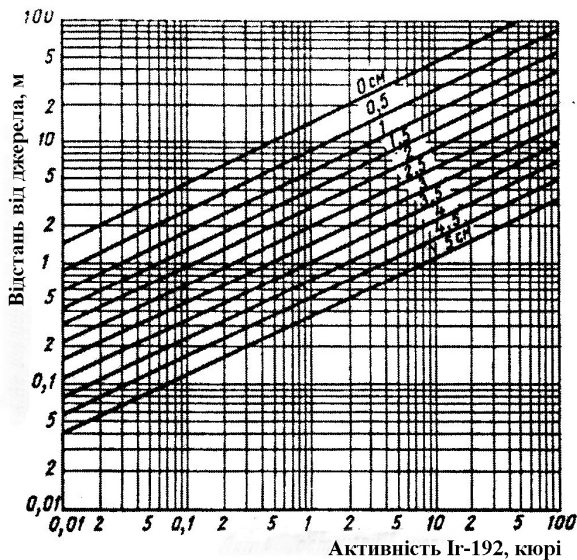


Рисунок В.3 – Товщина свинцевого екрана для захисту від γ -випромінення ^{192}Ir для різних відстаней від джерела

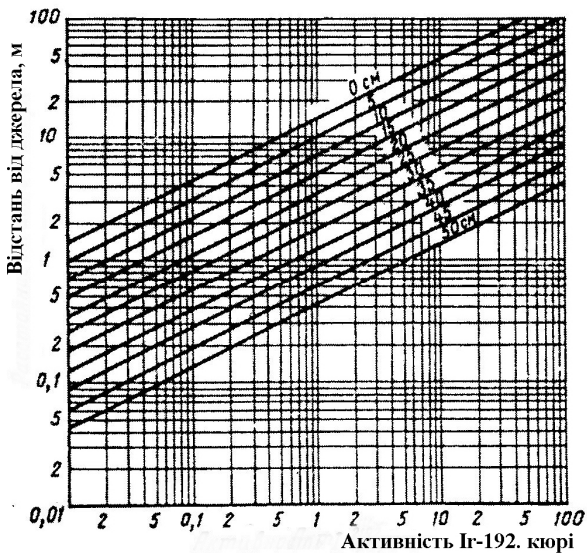


Рисунок В.4 – Товщина бетонного екрана для захисту від γ -випромінення ^{192}Ir для різних відстаней від джерела

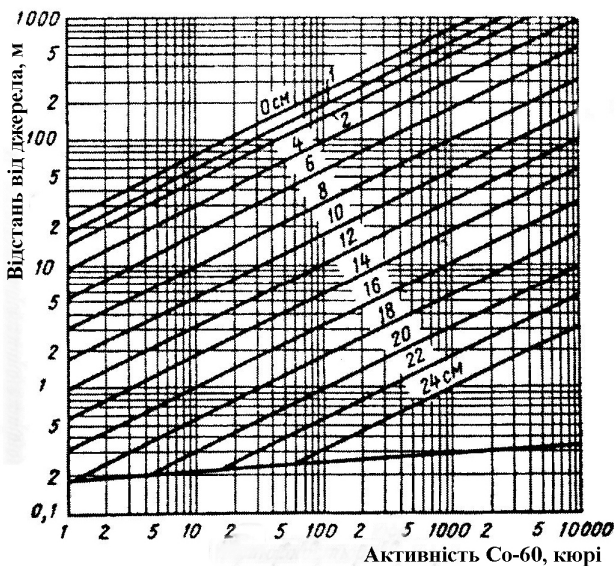


Рисунок В.5 – Товщина свинцевого екрана для захисту від γ -випромінення ^{60}Co для різних відстаней від джерела

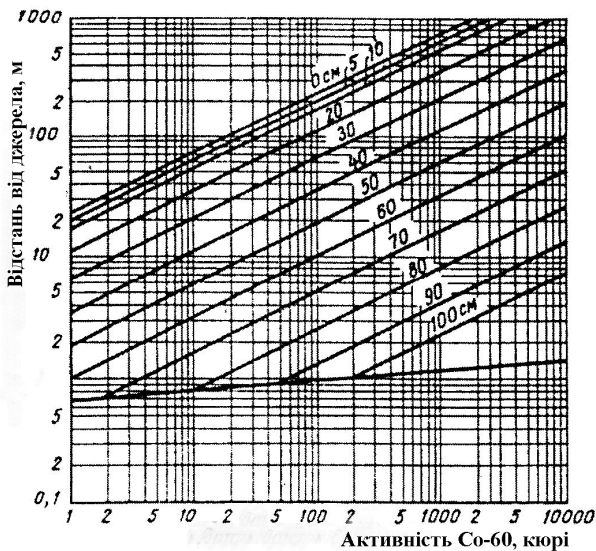


Рисунок В.6 – Товщина бетонного екрана для захисту від γ -випромінення ^{60}Co для різних відстаней від джерела

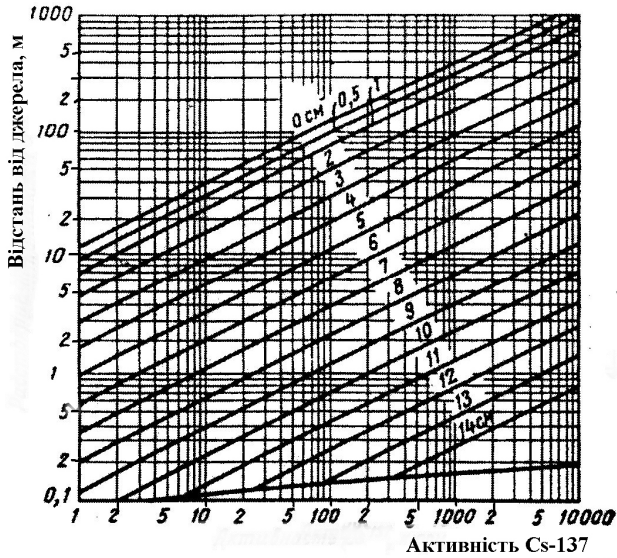


Рисунок В.7 – Товщина свинцевого екрана для захисту від γ -випромінення ^{137}Cs для різних відстаней від джерела

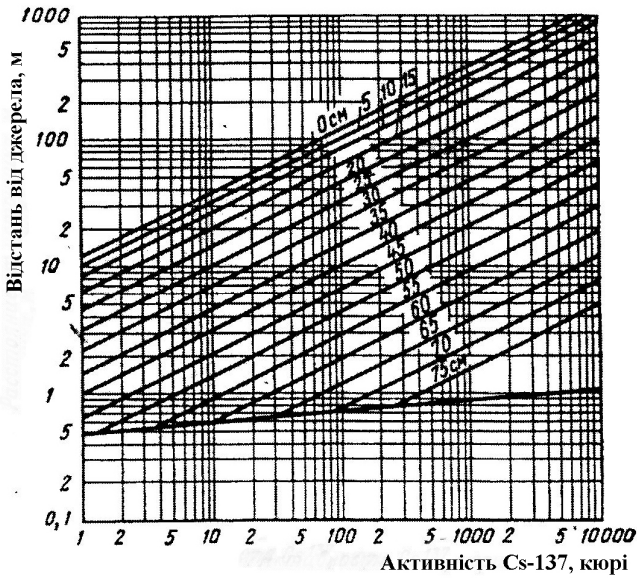


Рисунок В.8 – Товщина бетонного екрана для захисту від γ -випромінення ^{137}Cs для різних відстаней від джерела

Додаток Д
Приклад виконання розрахунку за допомогою методу інтерполяції

$$\boxed{A = 10} \longrightarrow \boxed{C = 2,3}$$

$$\boxed{E = 13} \longrightarrow \boxed{X = ?}$$

$$\boxed{B = 20} \longrightarrow \boxed{D = 6,7}$$

Рисунок Д.1 – Схема визначення величини методом інтерполяції при неспівпаданні її з табличними значеннями

Примітка: Наприклад, значенню А в таблиці відповідає значення С, значенню В відповідає значення Д. Тоді невідоме значення Х, що знаходиться в проміжку між С та Д і відповідає значенню Е, буде дорівнювати:

$$X = C + \frac{(D - C) \cdot (E - A)}{(B - A)} = 2,3 + \frac{(6,7 - 2,3) \cdot (13 - 10)}{20 - 10} = 3,62.$$

Додаток Е
Нормовані параметри вмісту радіонуклідів
і радіоактивної забрудненості об'єктів

Таблиця К1 – Значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в харчових продуктах і питній воді

№ п/п	Назва продукту	^{137}Cs		^{90}Sr	
		Бк/кг (Бк/л)	Ки/кг (Ки/л)	Бк/кг (Бк/л)	Ки/кг (Ки/л)
1.	Хліб, хлібопродукти	20	$5,4 \cdot 10^{-10}$	5	$1,35 \cdot 10^{-10}$
2.	Картопля	60	$1,62 \cdot 10^{-9}$	20	$5,4 \cdot 10^{-10}$
3.	Овочі (листяні, корене- плоди, столова зелень)	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$	20	$5,4 \cdot 10^{-10}$
4.	Фрукти	70	$1,89 \cdot 10^{-9}$	10	$2,7 \cdot 10^{-10}$
5.	М'ясо і м'ясні продукти	200	$5,4 \cdot 10^{-9}$	20	$5,4 \cdot 10^{-10}$
6.	Риба і рибні продукти	150	$4,05 \cdot 10^{-9}$	35	$9,45 \cdot 10^{-10}$
7.	Молоко і молочні про- дукти	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$	20	$5,4 \cdot 10^{-10}$
8.	Яйце (шт.)	6	$1,62 \cdot 10^{-9}$	2	$5,4 \cdot 10^{-11}$
9.	Вода	2	$5,4 \cdot 10^{-11}$	2	$5,4 \cdot 10^{-11}$
10.	Молоко згущене і кон- сервоване	300		60	$1,62 \cdot 10^{-9}$
11.	Молоко сухе	500	$1,4 \cdot 10^{-8}$	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
12.	Свіжі дикорослі ягоди і гриби	500	$1,4 \cdot 10^{-8}$	50	$1,35 \cdot 10^{-9}$
13.	Сушені дикорослі яго- ди і гриби	2500	$6,75 \cdot 10^{-8}$	250	$6,75 \cdot 10^{-9}$
14.	Лікарські рослини	600	$1,6 \cdot 10^{-8}$	200	$5,4 \cdot 10^{-9}$
15.	Інші продукти	600	$1,6 \cdot 10^{-8}$	200	$5,4 \cdot 10^{-9}$
16.	Спеціальні продукти дитячого харчування	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$	5	$1,35 \cdot 10^{-10}$

Примітка : При вимірюваннях необхідно враховувати, що окремі продукти харчування, наприклад, чай, сушені гриби тощо) і речовини (наприклад, калійні добрива) можуть мати підвищену радіоактивність.

Таблиця Е.2- Допустиме забруднення поверхні ДЗА, част./($\text{см}^2 \cdot \text{хв}$)

№ п/п	Об'єкт забруднення	α - активні радіонукліди		β - активні радіонукліди
		окремі	інші	
1	Непошкоджена шкіра, рушники, спецбілизна, внутрішня поверхня лицьових частин засобів індивідуального захисту	1	1	100
2	Основний спецодяг, внутрішня поверхня додаткових засобів індивідуального захисту	5	20	800
3	Інші індивідуальні засоби захисту: а) внутрішня поверхня б) зовнішня поверхня	5 50	20 200	800 8000
4	Поверхні приміщень постійного перебування персоналу та розміщеного в них обладнання, зовнішня поверхня спецвзуття і додаткових засобів індивідуального захисту, що використовуються в цих приміщеннях	5	20	2000
5	Поверхні приміщень періодичного перебування персоналу та розміщеного в них обладнання	50	200	8000
6	Зовнішня поверхня додаткових засобів індивідуального захисту, що знімаються в саншлюзах	50	200	10000

Примітки : 1. Для поверхонь робочих приміщень, обладнання, транспортних засобів, захисних контейнерів і охоронної тари, забруднених α -активними нуклідами, нормується нефіксоване (таке, що знімається) забруднення, для решти поверхонь-сумарне (фіксоване і нефіксоване забруднення). Забруднення, що знімається, визначається методом сухого мазка.

2. До окремих радіонуклідів належать α -випромінюючі радіонукліди, середньорічна допустима об'ємна активність яких у повітрі виробничих приміщень ДОО менша $0,3 \text{ Бк/м}^3$ ($1 \cdot 10^{-14} \text{ Ки/л}$).

3. За межами санітарно-захисної зони нефіксоване забруднення транспортних засобів і зовнішньої поверхні охоронної тари паку-

вальних комплектів не допускається.

4. Для ізоотопів ^{90}Sr і $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ допустиме забруднення β -активними нуклідами установлюється в 5 разів менше указаних величин.

5. Для радіонуклідів з максимальною енергією електронів (β -частинок) меншою 50 кеВ допустимі рівні та порядок радіаційного контролю забруднення робочих поверхонь встановлюються окремими документами стосовно конкретного виробництва.

Додаток Г-Таблиці для визначення товщини захисного екрана

Таблиця Г.1- Товщина захисного екрана з бетону, см, ($\rho=2,3 \text{ кг/м}^3$), для різної кратності послаблення γ -випромінювання (широкий пучок)

Кратність послаблен- ня	Енергія γ -випромінювання, МеВ									
	0,1	0,145	0,2	0,279	0,3	0,4	0,5	0,6	0,661	0,7
1,5	2,6	3,5	4,7	6,0	6,3	7,5	8,2	8,2	8,2	8,2
2	4,7	5,9	7,6	9,4	9,9	11,3	12,3	12,4	12,4	12,5
5	6,0	7,9	11,0	14,6	15,5	18,8	21,1	21,8	22,1	22,3
8	7,0	9,5	12,9	16,8	17,8	22,0	24,6	25,6	26,1	26,4
10	7,2	10,9	13,5	18,6	19,0	22,5	25,8	26,8	27,3	27,6
20	8,2	11,2	15,3	20,1	21,4	25,8	29,9	31,9	32,9	33,6
30	9,0	11,8	16,4	21,5	22,8	27,7	32,9	34,8	35,8	36,4
40	9,5	12,3	17,6	22,8	24,2	29,6	34,0	36,2	37,2	37,9
50	9,9	13,2	18,8	23,8	25,1	30,8	35,0	37,6	38,8	39,4
60	10,2	14,8	19,3	24,8	26,1	31,7	36,4	38,5	39,7	40,5
80	10,7	15,8	20,4	26,2	27,7	33,6	38,7	41,1	42,3	43,0
100	11,2	15,9	21,1	28,3	28,9	35,2	39,9	43,0	44,4	45,3
$2 \cdot 10^2$	12,7	17,1	23,5	30,5	32,4	39,2	44,6	47,9	49,5	50,5
$5 \cdot 10^2$	13,8	18,3	26,0	33,0	36,0	43,9	50,5	54,5	56,2	57,3
10^3	15,5	20,8	28,2	36,9	39,2	48,1	55,2	59,2	61,1	62,5
$2 \cdot 10^3$	17,0	23,0	30,5	39,8	42,3	51,5	59,9	64,1	66,1	67,4
$5 \cdot 10^3$	18,8	24,8	33,1	43,0	45,6	56,4	65,2	70,0	72,4	74,0
10^4	20,1	25,7	35,2	45,7	48,5	60,3	69,3	74,5	77,4	79,1

Продовження таблиці Г.1

Кратність послаблення	Енергія γ -випромінювання, MeV										
	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0
1,5	8,3	8,3	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,2	9,4	10,0
2	12,6	12,7	12,9	13,3	13,6	13,8	14,1	14,3	15,0	15,3	16,4
5	22,6	23,0	23,5	24,6	25,8	27,0	28,8	29,4	31,8	32,9	35,2
8	27,2	27,9	28,8	30,5	32,2	33,8	35,2	36,4	38,8	39,9	43,4
10	28,4	29,1	29,9	31,9	34,0	35,9	37,6	39,0	42,0	43,4	47,5
20	35,0	36,2	37,0	39,9	42,5	44,8	47,0	48,6	52,3	54,0	58,7
30	37,8	39,2	40,5	43,7	46,5	49,3	51,6	53,5	57,9	59,9	65,7
40	39,6	41,3	42,8	46,3	48,5	52,8	55,2	57,3	61,9	64,0	69,8
50	41,2	42,8	44,6	48,5	51,0	55,2	58,1	60,1	64,8	66,9	72,8
60	42,5	44,1	45,8	50,1	52,5	57,5	60,5	62,7	67,6	69,8	74,0
80	44,8	46,5	48,1	52,4	56,4	59,9	63,4	65,7	71,4	74,0	81,0
100	47,2	48,8	50,5	54,5	58,3	62,2	65,7	68,6	74,7	77,5	84,5
$2 \cdot 10^2$	52,6	54,6	56,4	60,8	65,3	69,7	74,0	77,2	84,6	88,0	95,7
$5 \cdot 10^2$	59,8	65,5	64,6	69,8	74,8	79,8	84,5	88,5	97,0	101,0	110,4
10^3	65,3	67,8	70,4	76,1	81,7	87,6	92,7	97,0	106	110,9	120,9
$2 \cdot 10^3$	70,4	73,2	75,7	82,2	88,5	94,6	100,4	104,0	115	120,9	132,1
$5 \cdot 10^3$	77,0	80,2	82,8	91,0	97,4	104,2	110,9	115,5	127	132,7	146,8
10^4	82,9	86,2	89,2	97,2	104,5	111,5	118,6	123,7	137	143,2	156,7

Таблиця Г.2- Товщина захисного екрана із заліза, см, ($\rho=7,8 \text{ кг/м}^3$), для різної кратності послаблення γ -випромінювання (широкий пучок)

Кратність послаблен- ня	Енергія γ -випромінювання, МеВ									
	0,1	0,145	0,2	0,279	0,3	0,4	0,5	0,6	0,661	0,7
1,5	0,3	0,7	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1
4	0,5	0,9	1,3	1,6	1,8	2,0	2,3	2,6	2,8	3,0
5	1,5	1,9	2,5	3,2	3,4	3,8	4,8	5,3	5,3	5,7
8	1,9	2,3	3,1	4,0	4,2	4,4	5,8	6,4	6,5	6,9
10	2,1	2,5	3,4	4,4	4,5	5,1	6,2	6,8	7,1	7,3
20	2,6	3,1	4,3	5,4	5,5	5,8	7,5	8,3	8,6	8,9
30	2,8	3,3	4,7	5,8	6,0	6,6	8,2	9,0	9,6	9,8
40	3,0	3,5	5,0	6,2	6,4	7,2	8,7	9,6	10,2	10,4
50	3,1	3,9	5,1	6,5	6,7	7,6	9,0	10,0	10,7	10,9
60	3,3	4,1	5,3	7,1	7,6	7,9	9,3	10,2	11,1	11,2
80	3,6	4,3	5,7	7,3	7,9	8,2	9,8	10,8	11,7	11,8
100	3,8	4,5	5,9	7,7	8,1	8,6	10,2	11,2	12,2	12,2
$2 \cdot 10^2$	4,1	5,4	6,5	8,7	8,4	9,0	11,6	12,7	13,6	13,8
$5 \cdot 10^2$	4,6	5,8	7,4	9,6	9,8	10,1	13,4	14,7	15,6	15,8
10^3	5,0	6,1	8,0	10,0	10,5	11,6	14,7	16,2	18,0	17,5
$2 \cdot 10^3$	5,3	6,6	8,6	10,7	11,4	12,7	16,0	17,7	18,5	19,0
$5 \cdot 10^3$	6,7	7,5	10,2	11,9	13,0	13,8	17,6	19,2	20,0	20,7
10^4	7,4	8,8	11,1	13,0	14,0	15,5	18,8	20,7	21,6	22,2

Продовження таблиці Г.2

Кратність послаблен ня	Енергія γ -випромінювання, МеВ										
	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0
1,5	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,9	2,5
4	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	3,9	4,0	4,0	4,3	4,4	4,2
5	6,0	6,3	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1	8,4	8,7	9,0	9,1
8	7,4	7,7	8,0	8,7	9,2	9,7	10,1	10,4	10,9	11,2	11,4
10	7,8	8,2	8,5	9,3	10,0	10,5	11,0	11,3	11,9	12,2	12,5
20	9,5	10,0	10,5	11,5	12,2	13,0	13,7	14,1	14,9	15,3	16,0
30	10,5	11,0	11,6	12,7	13,7	14,4	15,1	15,6	16,6	17,0	17,8
40	11,1	11,8	12,4	13,6	14,7	15,5	16,3	16,8	17,6	18,3	19,1
50	11,6	12,3	13,0	14,4	15,5	16,5	17,1	17,6	18,6	19,3	20,2
60	12,0	12,7	13,4	14,8	16,0	16,9	17,7	18,3	19,4	20,0	21,0
80	12,6	13,3	14,1	15,5	16,8	17,9	18,8	19,4	20,6	21,3	22,3
100	13,1	14,0	14,7	16,3	17,6	18,8	19,7	20,4	21,5	22,3	23,4
2*10 ²	14,7	15,6	16,4	18,2	19,7	21,0	22,2	23,0	24,3	25,2	26,6
5*10 ²	16,9	17,7	18,6	20,5	22,4	24,0	25,5	26,6	27,9	29,1	30,7
10 ³	18,6	19,5	20,4	22,5	24,6	26,4	28,0	29,1	30,7	31,9	33,7
2*10 ³	20,2	21,2	22,1	24,4	26,5	28,4	30,3	31,6	33,5	34,7	36,7
5*10 ³	22,1	23,3	24,4	27,5	29,4	31,5	33,4	36,9	38,2	40,3	43,2
10 ⁴	23,6	24,9	26,2	28,9	31,4	33,7	35,8	37,2	39,6	41,0	43,2

Таблиця Г.3- Товщина захисного екрана із свинцю, см, ($\rho=11,3 \text{ кг/м}^3$), для різної кратності послаблення γ - випромінювання (широкий пучок)

Кратність послаблен- ня	Енергія γ -випромінювання, МеВ									
	0,1	0,145	0,2	0,279	0,3	0,4	0,5	0,6	0,661	0,7
1,5	0,05	0,07	0,1	0,14	0,1	0,2	0,2	0,3	0,36	0,4
2	0,1	0,14	0,2	0,28	0,3	0,4	0,5	0,7	0,76	0,8
5	0,2	0,3	0,4	0,56	0,6	0,9	1,1	1,5	1,74	1,9
8	0,2	0,3	0,5	0,64	0,8	1,1	1,5	1,95	2,2	2,35
10	0,3	0,4	0,55	0,8	0,9	1,3	1,6	2,1	2,4	2,6
20	0,3	0,4	0,6	1,0	1,1	1,5	2,0	2,6	3,0	3,25
30	0,35	0,5	0,7	1,0	1,1	1,7	2,3	3,0	3,4	3,65
40	0,4	0,6	0,8	1,2	1,3	1,8	2,4	3,1	3,5	3,8
50	0,4	0,6	0,85	1,28	1,4	1,95	2,6	3,25	3,7	3,95
60	0,45	0,6	0,9	1,3	1,4	2,05	2,7	3,45	3,9	4,2
80	0,45	0,7	1,0	1,4	1,5	2,15	2,8	3,7	4,2	4,5
100	0,5	0,7	1,0	1,5	1,6	2,3	3,0	3,85	4,4	4,9
$2 \cdot 10^2$	0,6	0,8	1,25	1,8	1,9	2,6	3,4	4,4	4,9	5,3
$5 \cdot 10^2$	0,65	1,0	1,4	2,0	2,2	3,1	4,0	5,1	5,7	6,1
10^3	0,7	1,0	1,5	2,2	2,4	3,3	4,4	5,7	6,5	6,95
$2 \cdot 10^3$	0,85	1,2	1,7	2,5	2,7	3,8	5,0	6,3	7,1	7,6
$5 \cdot 10^3$	0,9	1,3	1,9	2,8	3,0	4,2	5,5	7,0	7,9	8,5
10^4	1,05	1,5	2,1	3,0	3,3	4,55	5,9	7,5	8,5	9,1

Продовження таблиці Г.3

Кратність послаблен- ня	Енергія γ -випромінювання, МеВ										
	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0
1,5	0,6	0,7	0,8	0,95	1,1	1,2	1,2	1,2	1,27	1,3	1,2
4	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	1,85	2,0	2,0	2,07	2,1	2,0
5	2,2	2,5	2,8	3,4	3,8	4,1	4,3	4,4	4,54	4,6	4,5
8	2,8	3,2	3,8	4,5	5,1	5,6	5,9	6,1	6,4	6,5	6,4
10	3,05	3,5	3,8	4,5	5,1	5,6	5,9	6,1	6,4	6,5	6,4
20	3,85	4,4	4,9	5,8	6,6	7,2	7,6	7,8	8,2	8,3	8,2
30	4,3	4,95	5,5	6,5	7,3	8,0	8,5	8,8	9,1	9,3	9,2
40	4,5	5,2	5,8	6,85	7,8	8,6	9,1	9,4	9,8	10,0	9,9
50	4,6	5,3	6,0	7,2	8,2	9,0	9,6	10,0	10,4	10,6	10,5
60	4,95	5,6	6,3	7,5	8,6	9,5	10,1	10,4	10,8	11,0	10,9
80	5,3	6,0	6,7	8,0	9,2	10,1	10,7	11,1	11,5	11,7	11,6
100	5,5	6,3	7,0	8,45	9,65	10,6	11,3	11,7	12,0	12,2	12,1
2*10 ²	6,3	7,2	8,0	9,65	11,1	12,2	12,9	13,4	13,8	14,0	13,8
5*10 ²	7,2	8,2	9,2	11,3	12,9	14,2	15,0	15,4	15,9	16,3	16,1
10 ³	8,1	9,2	10,2	12,3	14,1	15,5	16,5	17,0	17,7	18,0	17,8
2*10 ³	8,8	10,0	11,1	13,5	15,4	16,8	17,9	18,5	19,3	19,7	19,5
5*10 ³	9,9	11,2	12,4	14,9	17,0	18,6	19,8	20,5	21,5	21,9	21,7
10 ⁴	10,6	12,8	13,3	16,1	18,3	20,1	21,3	22,1	23,1	23,5	23,4

Додаток Ж-Зразок бланка результатів вимірювань
Таблиця Ж.1- Результати вимірювань

№ п/п	№ кювети	Найменування проби	Маса проби, m, кг	Виправний коефіцієнт на масу проби, K	Кількість імпульсів з проби, N_i, c^{-1}	Активність проби, A, кБк	Питома (об'ємна) активність проби, $A_m, (кБк/кг), A_v, (кБк/л)$	Нормоване значення $A_m, (кБк/кг), A_v, (кБк/л)$	Висновки про відповідність активності проб нормованим значенням
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
...									
12									