

**Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Національний університет цивільного захисту України
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник кафедри АСБтаІТ
Роман ШЕВЧЕНКО

Навчальна дисципліна

АВТОМАТИКА РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Лекція 14

Загальні відомості та принципи побудови засобів для радіаційного та хімічного
спостереження

Лекцію розробив:
Доцент кафедри АСБтаІТ



Вячеслав ДУРЕСОВ

ХАРКІВ 2024

ВСТУП

Актуальність теми лекції

Чорнобильська катастрофа



2krota.ru

Чорнобильська катастрофа

26 квітня 1986 року сталося руйнування четвертого енергоблока Чорнобильської атомної електростанції, розташованої на території Української РСР.

Руйнування носило вибуховий характер, реактор був повністю зруйнований, і в довкілля було викинуто велику кількість радіоактивних речовин.

Чорнобильська катастрофа розцінюється як найбільша у своєму роді за всю історію атомної енергетики, як по передбачуваній кількості загиблих і постраждалих від її наслідків людей, так і по економічному збитку.

Особливе значення контролю хімічного та радіаційного стану об'єктів в умовах воєнного стану є для критичної інфраструктури.

Атомні станції на території України



Ровенська АЕС

Початок будівництва— 1973 г.

Введення в експлуатацію — 1980 г.

Атомні станції на території України



Південно-українська АЕС (Миколаївська обл.)

Початок будівництва— 1975 г.

Введення в експлуатацію — 1982 г.

Атомні станції на території України



Запорізька АЕС

Початок будівництва— 1979 г.

Введення в експлуатацію — 1984 г.

Атомні станції на території України

Хмельницька АЕС

Початок будівництва – 1977 г.

Введення в експлуатацію – 1987 г.





Чорнобильська АЕС
Початок будівництва— 1970 г.
Введення в експлуатацію — 1977 г.

15.1 Основні поняття радіометрії

Радіація - це природне явище мимовільного розпаду ядер атомів, при якому виникають радіоактивні випромінювання.

Радіоактивні випромінювання надають іонізуючу дію на молекули речовини.

Іонізація речовини супроводиться зміною його основних фізико-хімічних властивостей, а для біологічної тканини — порушенням її життєдіяльності.

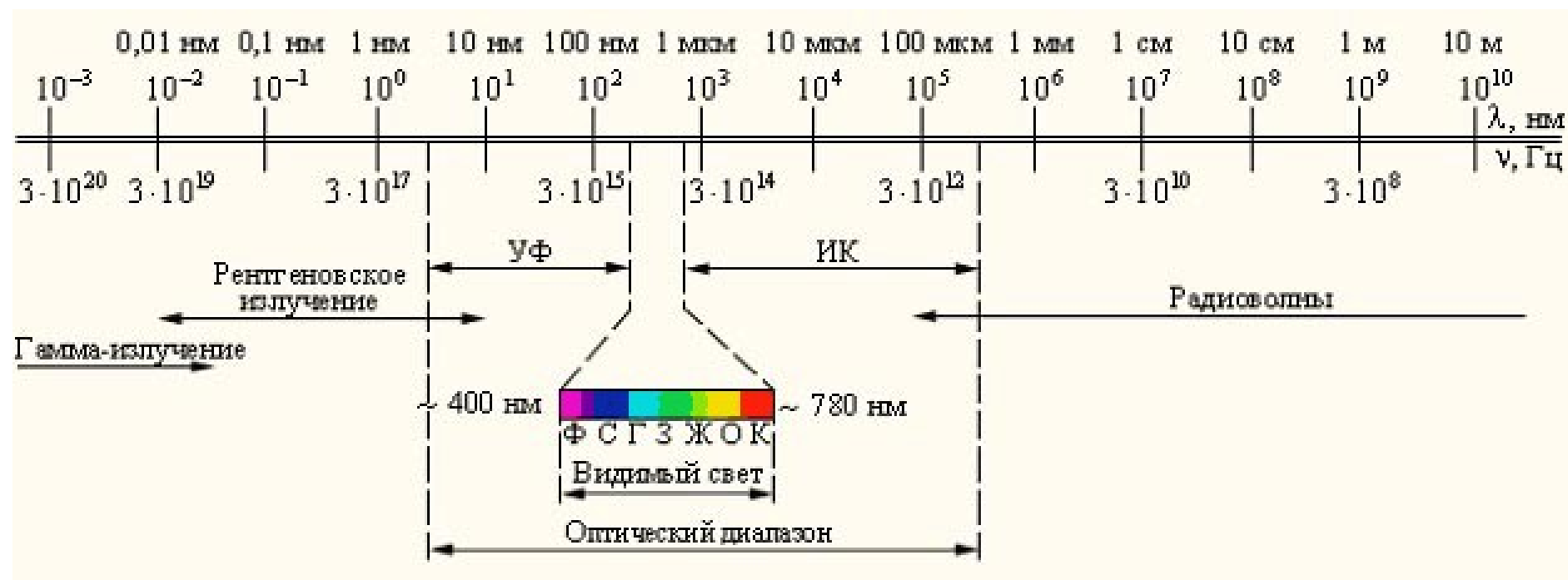
Типи випромінювань:

Корпускулярні випромінювання (частки):

- альфа;
- бета;
- нейтронні випромінювання.

Хвилеві випромінювання - електромагнітні хвилі в надкороткохвильовому діапазоні:

- гамма випромінювання;
- рентгенівське випромінювання.



Альфа випромінювання - потік альфа-частинок ($V = 20$ тис. км/с).

Іонізуюча здатність альфа частинок величезна, проте їх проникаюча здатність незначна: довжина пробігу в повітрі складає 3-11 см, а в рідких і твердих середовищах — соті долі міліметра.

Аркуш щільного паперу повністю затримує їх. Надійним захистом від альфа-частинок є одяг людини. Зовнішнє опромінення альфа-частками практично нешкідливо, але попадання їх всередину організму дуже небезпечно.

Бета випромінювання — потік бета-частинок (позитрон плюс електрон) ($V = 300$ тис. км/с). Заряд і маса бета-частинок менші, а швидкість більша, ніж в альфа-частинок, тому вони мають меншу іонізуючу, але велику проникаючу здатність.

На практиці бета-частинки майже повністю поглинають віконні або автомобільні стекла і металеві екрани завтовшки в декілька міліметрів. Одяг поглинає до 50 % бета-частинок.

Тому зовнішнє **бета-опромінення** представляє серйозну небезпеку лише при попаданні радіоактивних речовин безпосередньо на шкіру (особливо на очі) або ж всередину організму.

Нейтронне випромінювання - потік нейтронів
($V = 20$ тис. км/с).

Оскільки нейтрони не мають електричного заряду, вони легко проникають в живу тканину і захоплюються ядрами її атомів.

Тому нейтронне випромінювання надає сильна приголомшуюча дія при зовнішньому опроміненні. Кращими захисними матеріалами від них є легкі воденьовмісні матеріали: поліетилен, парафін, вода і ін.

Гамма-випромінювання — це електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі $<10^{-10}$ м., що випускається ядрами атомів при радіоактивних перетвореннях. Воно, як правило, супроводжує бета-розпад, рідше альфа-розпад. Іонізуюча здатність його значно менше, ніж в бета-часток і тим більше в альфа-часток, але має найбільшу проникаючу здатність.

В повітрі може поширюватися на сотні метрів. Для ослабіння його енергії в два рази необхідний шар речовини (шар половинного ослабіння) товщиною: води — 23 см, сталі — близько 3, бетону — 10, дерева — 30 см.

Через найбільшої проникаючої здатності, **гамма-випромінювання** є найважливішим чинником приголомшуючої дії радіоактивних випромінювань при зовнішньому опроміненні.

Якісним захистом від гамма-випромінювань є важкі метали, наприклад свинець, який для цих цілей використовується найчастіше.

15.2 Одиниці вимірювання у радіометрії

Мірою радіоактивності служить активність. Вимірюється в **Беккерелях** (Бк), що відповідає 1 розпаду в секунду.

Вміст активності в речовині часто оцінюють на одиницю ваги речовини (Бк/кг) або об'єму (Бк/куб.м).

Також зустрічається ще така одиниця активності, як Кюрі (Ки).

Це - величезна величина:

$$1 \text{ Ки} = 37\,000\,000\,000 \text{ Бк.}$$

Результатом дії радіоактивного випромінювання є іонізація.

Кількісною мірою випромінювання є експозиційна доза, яка характеризує іонізуючу здатність випромінювання і є характеристикою самого поля.

Експозиційна доза — це відношення сумарного заряду всіх іонів одного знаку в елементарному об'ємі повітря до маси повітря в цьому об'ємі. У системі СІ одиницею виміру експозиційної дози є кулон, що ділиться на кілограм (Кл/кг).

Позасистемна одиниця — рентген (Р):

$$1 \text{ Кл/кг} = 3880 \text{ Р.}$$

ПОГЛИНЕНА ДОЗА

Не вся енергія випромінювання передається тілу і приводить до іонізації. Тому важливим поняттям є поглинена доза.

За одиницю виміру поглиненої дози в системі СІ прийнятий **грей** (Гр). 1 Гр — це така доза, при якій масі 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання 1 Дж.

Позасистемною одиницею поглиненої дози є рад.
 $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад.}$

В разі фотонного випромінювання:
 $1 \text{ рад} = 1,136 \text{ Р}$

ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗА

При одній і тій же поглиненій дозі радіобіологічний руйнівний ефект випромінювання різний.

Щоб врахувати цей ефект, введено поняття еквівалентної дози.

Одиницею виміру еквівалентної дози в СІ є **зиверт** (Зв).

Величина 1 Зв дорівнює еквівалентній дозі будь-якого вигляду випромінювання, поглиненій в 1 кг біологічній тканині і що створює такий же біологічний ефект, як і поглинена доза в 1 Гр фотонного випромінювання.

Позасистемною одиницею виміру еквівалентної дози є **бер** (до 1963 року - біологічний еквівалент рентгена, після 1963 року - біологічний еквівалент рада - Енциклопедичний словник).

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер} = 100 \text{ рад} = 113,6 \text{ Р};$$

$$1 \text{ мЗв} = 0,1 \text{ бер} = 0,1136 \text{ Р}$$

Еквівалентна доза розраховується шляхом множення значення поглиненої дози на коефіцієнт відносної біологічної ефективності (ВБЕ).

Вид випромінювання	Коеф-т ВБЕ
Рентгенівське та γ - випромінювання	1
β - випромінювання (електрони, позитрони)	1
Нейтрони з енергією менше 20 кеВ	3
Нейтрони з енергією 0,1-10 МеВ	10
Протони з енергією < 10 МеВ	10
α - випромінювання з енергією <10 МеВ	20
Важкі ядра віддачі	20

ЕФЕКТИВНА ДОЗА

Органи людини по різному сприймають дію радіації. Тому дози опромінення органів і тканин враховують з різним коефіцієнтом, який називається коефіцієнтом радіаційного ризику.

Помноживши значення еквівалентної дози на відповідний коефіцієнт радіаційного ризику отримаємо ефективну дозу опромінення для окремих органів і тканин.

Зважені коефіцієнти радіаційного ризику встановлюються емпірично і розраховують так, щоб їх сума для всього організму складала одиницю.

Коефіцієнти радіаційного ризику

Органи, тканини	Коеф. радіац. ризику
Гонади (полові залози)	0,2
червоний кістний мозг	0,12
Товстий кишечник	0,12
шлунок	0,12
Легкі	0,12
Мочовий пузир	0,05
Печія	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидна залоза	0,05
шкіра	0,01
Клітини кісток	0,01
Головний мозг	0,025
інші тканини	0,075

АМБІЄНТНА ДОЗА

Амбієнтний еквівалент дози $H^*(d)$ - це доза, яку отримала б людина, якби вона знаходилася у місці, де проводиться вимір.

Наприклад: при дистанційному вимірі випромінювання, людина отримує лише інформацію про величину дози, якщо вона виявиться в точці виміру.

АБО при вимірі альфа випромінювання прилад показує велику потужність дози, але всі частки затримуються одягом, і виміряну дозу людина отримає, лише при попаданні джерела випромінювання всередину або на шкіру.

Одиниця амбієнтного еквіваленту дози - **зиверт** (Зв).

Потужність випромінювання (інтенсивність опромінення) — приріст відповідної дози під впливом даного випромінювання за одиницю часу.

Має розмірність відповідної дози (поглиненою, експозиційною і т. п.), що ділиться на одиницю часу.

Допускається використання різних спеціальних одиниць:

- Зв/год;
- бер/хвил;
- Р/год та ін.

15.3 Біологічна дія випромінювання

Променева хвороба I ступеню (легка форма): розвивається при загальній дозі однократного опромінення 1—2 Зв (100—200 бер).

Прихований період її тривалий, досягає 4 тижнів і більш. Симптоми хвороби виражені нерізно

Променева хвороба II ступеню (середня форма):
виникає при загальній дозі опромінення 2—4 Зв
(200—400 бер).

Реакція на опромінення зазвичай виражена і
продовжується 1—2 діб.

Прихований період досягає 2—3 тижнів.

Період виражених клінічних проявів розвивається
не різко. Відновлення порушених функцій організму
затягується на 2—2,5 міс.

Променева хвороба III ступеню (важка форма):
виникає при загальній дозі опромінення 4—6 Зв (400—600 бер).

Різко порушена діяльність центральної нервової системи, блювота виникає повторно і інколи набуває характеру неприборканої.

Прихований період найчастіше продовжується 7—10 днів. Перебіг захворювання в період розпалу (триває 2—3 тижнів).

Виразно виявляються симптоми, що свідчать про поразку центральної нервової системи. В разі сприятливого результату, зникнення симптомів хвороби відбувається поступово, одужання вельми сповільнено (3—5 міс).

Променева хвороба IV міри (українська важка форма): виникає при опроміненні більше 6 Зв (600 бер).

Вона характеризується ранньою бурхливою появою в перші хвилини та години важкої первинної реакції, неприборканою блювотою, що супроводиться, адинамією, колапсом. Початковий період хвороби без чіткого кордону переходить в період розпалу.

Допустимі дози опромінення (бер)

Період опромінення	Мирний час	Військовий час
До 4 днів	0,1	50
За час 1 міс.	-	100
За час 3 міс.	-	200
За час 1 року.	-	300
За час 70 років	7	-

Звичайна плівкова флюорографія
забезпечує дозу близько 0,5-0,8 мілізіверта -
0,05-0,08 бер.

Основні джерела радіоактивного забруднення довкілля

Уранова промисловість: видобуток, переробка, збагачення і приготування ядерного палива.

Радіохімічна промисловість: переробка відпрацьованого ядерного палива.

Ядерні реактори різних типів: в активній зоні реакторів зосереджені великі кількості радіоактивних речовин.

Використання радіонуклідів в народному господарстві у вигляді закритих радіоактивних джерел в промисловості, медицині, геології, транспорті, сільському господарстві і інших галузях.

При нормальному зберіганні і використанні цих джерел забруднення довкілля маловірогідне. Проте при аваріях можливе істотне забруднення довкілля.

Так, при катастрофі космічного апарату багаторазового використання Челенджер (США) згоріли ядерні джерела струму, що працюють на стронції-90. У атмосферу попали радіонукліди з активністю 17 тис. кюрі.

Радіоізотопні лабораторії (які є в дуже багатьох країнах світу), що займаються використанням радіонуклідів у відкритому вигляді для наукових і виробничих цілей. Скидання радіоактивних відходів в стічні води навіть при концентраціях, менше допустимих, з часом приведуть до поступового накопичення радіонуклідів в довкіллі.

Ядерні вибухи і радіоактивне забруднення місцевості, що виникає після вибуху. Можуть бути як локальні, так і глобальні випадання радіоактивних осадів.

Методи виявлення радіоактивних випромінювань

Для виявлення і виміру радіоактивних випромінювань використовують наступні методи:

- фотографічний;
- хімічний;
- калориметричний;
- сцинтиляційний;
- іонізаційний.

Фотографічний (авторадіографічний)

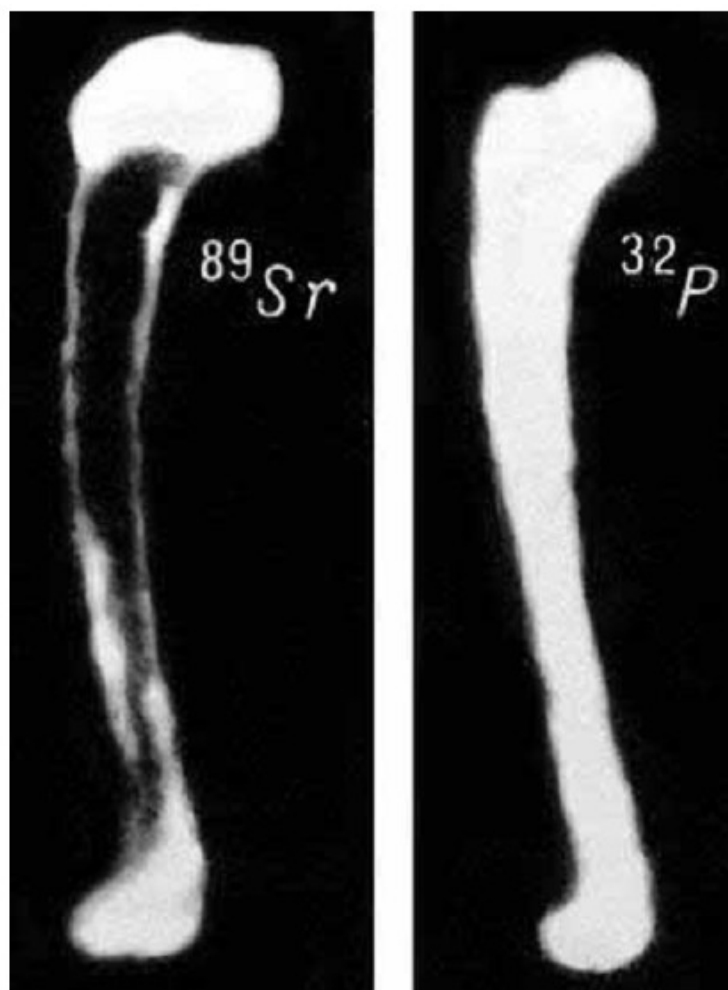
Цей метод дозиметрії заснований на властивості іонізуючих випромінювань впливати на чутливий шар фотоматеріалів. **По мірі почорніння** (щільність) можна судити про інтенсивність іонізуючого випромінювання, що впливає на фотоплівку.

Фотографічне зображення розподілу радіоактивних речовин в досліджуваному об'єкті, методом авторадіографії, називається **авторадіограмою**.



Авторадіограма рослини

Світлі ділянки відповідають підвищеним концентраціям радіоактивного ізотопу



Відкладення радіоактивних ізотопів стронцію і фосфору в кістках людини

Хімічний метод: заснований на визначенні **зміни кольору** деяких хімічних речовин під впливом радіоактивних випромінювань.

Приклад: хлороформ при опроміненні розпадається з утворенням соляної кислоти, яка впливає на індикатор, доданий до хлороформу. Інтенсивність фарбування індикатора пропорційна дозі радіоактивного опромінення. Порівнюючи забарвлення розчину з еталоном, можна визначити дозу радіоактивного випромінювання, що впливає на препарат.

Даний метод використовують при реєстрації **значних доз** радіації

Калориметричний метод: вимір кількості теплоти, що виділяється речовиною при поглинанні енергії іонізуючих випромінювань.

Основною умовою методу є те, що поглинаюча речовина має бути **хімічно інертною** до випромінювання. Калориметричні методи незамінні при вивченні дози складного по складу випромінювання потужних ядерних реакторів.

Калориметричні методи детектування іонізуючої радіації характеризуються **низькою чутливістю**. Тому їх застосовують для виміру **високих активностей** і доз випромінювання.

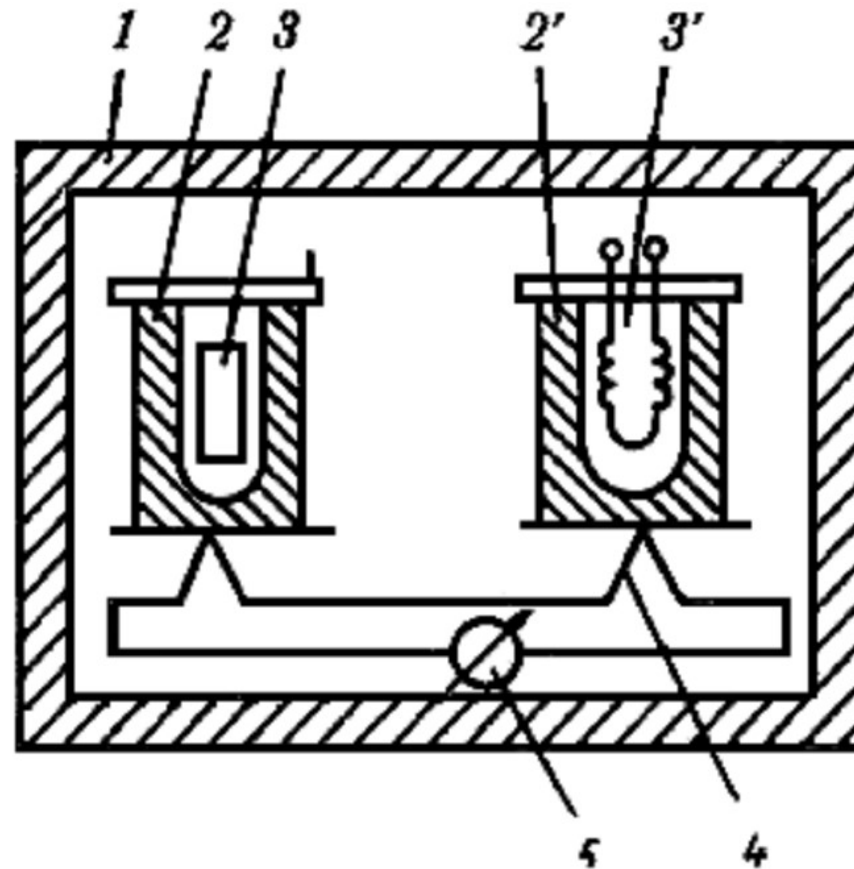
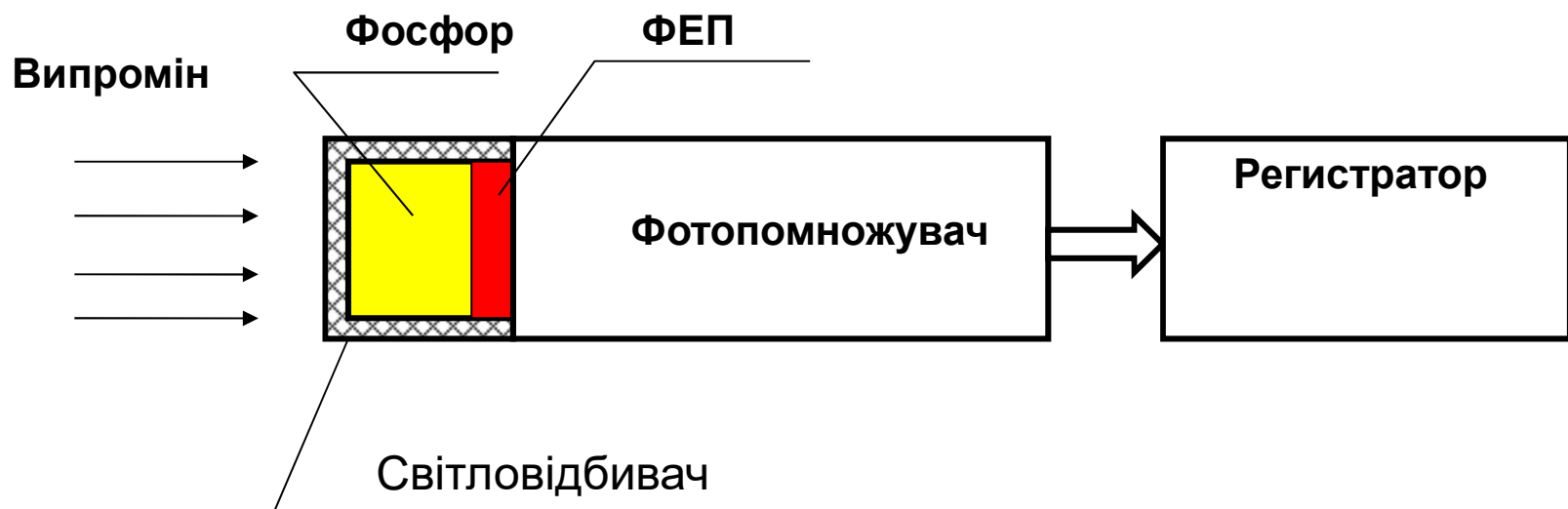


Схема калориметра:

1 - корпус; 2 – робочий калориметричний циліндр, 2" – тарирований калориметричний циліндр; 3 - джерело випромінювання; 3" - нагрівальна катушка; 4 -термопара; 5 — гальванометр.

Сцинтиляційний метод: під впливом радіоактивних випромінювань деякі речовини (фосфор) випускають фотони видимого світла.

Спалахи світла (сцинтиляції) виникають в сцинтиляторі (детекторі) та перетворюються у фотоелектронному перетворювачі (ФЕП) в електричний струм. Вимірюваний струм ФЕП пропорційний радіаційній активності речовини.



Достоїнства сцинтиляційного лічильника

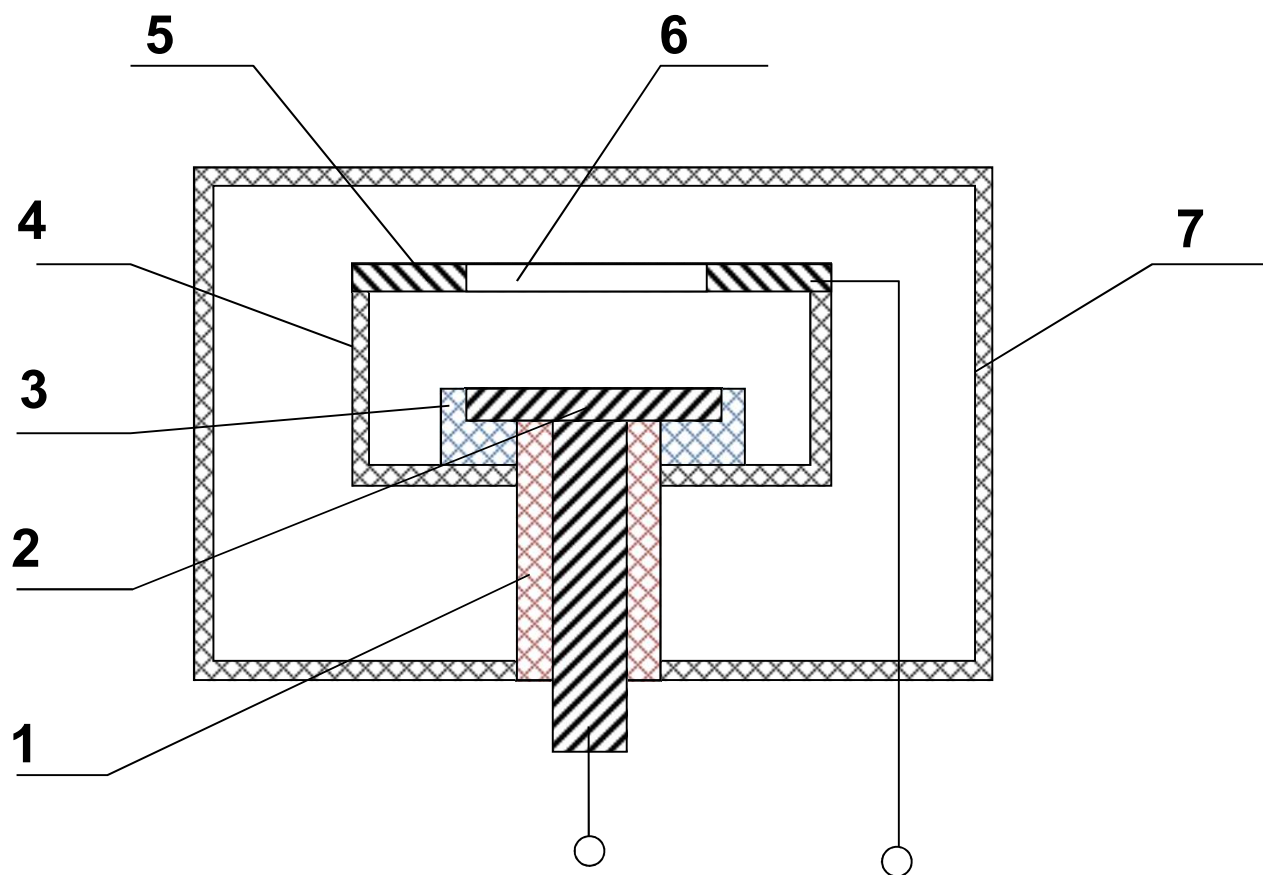
- висока ефективність реєстрації різних часток;
- швидкодія;
- можливість виготовлення сцинтиляторів різних розмірів і конфігурацій;
- висока надійність і відносно невисока вартість.

Іонізаційний метод: під впливом радіоактивних випромінювань в ізольованому об'ємі відбувається іонізація газів.

Якщо в опромінюваному об'ємі створити електричне поле, то під його дією з'являється іонізаційний струм.

Вимірюючи іонізаційний струм, отримують уявлення про **інтенсивність** радіоактивних випромінювань

Пристрій іонізаційного детектора



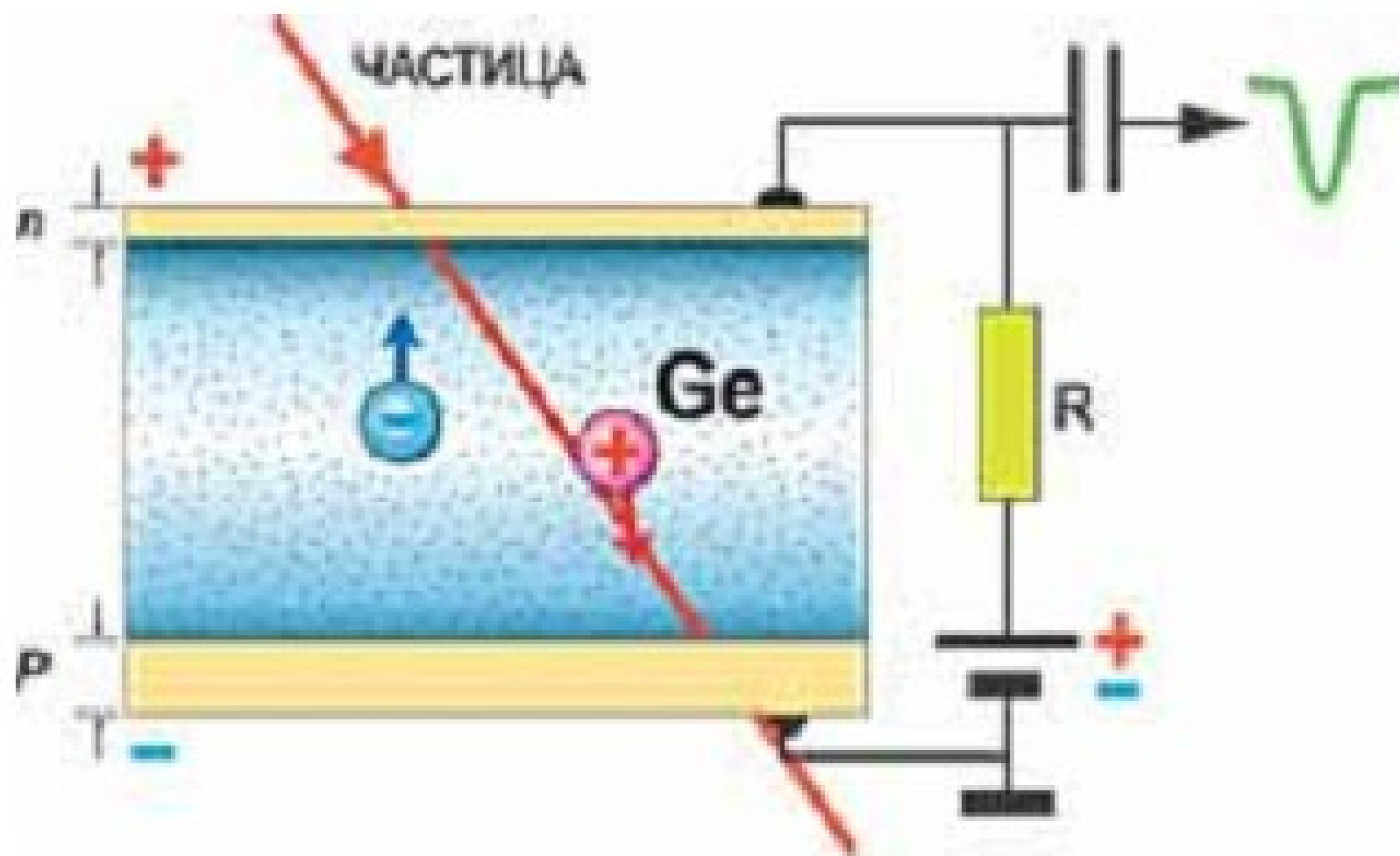
1 – ізолятор; 2 – збираючий електрод; 3 – ізолятор;
4 – охоронне кільце; 5 – високовольтний електрод;
6 – вікно для препарату; 7 –прозрачний екран (корпус камери).

НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ДЕТЕКТОР

Напівпровідниковий детектор працює подібно до іонізаційної камери з тією відмінністю, що іонізація відбувається не в газовому проміжку, а в товщі кристала.

Заряджена частка, проникаючи в детектор, створює додаткові (нерівноважні) електронно-диркові пари, які під дією електричного поля переміщуються до електродів приладу.

В результаті в зовнішньому ланцюзі напівпровідникового детектора виникає електричний імпульс, який далі посилюється і реєструється.



Біологічні методи дозиметрії.

Використовується здатність випромінювань змінювати біологічні об'єкти.

Величину дози оцінюють по рівню летальності тварин, зміні забарвлення і гіперемії шкіри, випаданню волосся, і ін.

Біологічні методи не дуже точні і менш чутливі в порівнянні з фізичними, але дозволяють встановити вплив різних видів випромінювань на живий організм.

Прилади радіометричного і дозиметричного контролю

Прилади, що використовуються для проведення радіаційного моніторингу, можна розділити на наступні групи:

- індивідуальні;
- переносні, портативні;
- стаціонарні.

Індивідуальні дозиметри

Вимірник дози ІД-1



Комплект індивідуальних дозиметрів ІД-1 складається з 10 індивідуальних дозиметрів ІД-1 і зарядного пристрою ЗД-6

Діапазон виміру поглиненої дози гамма- і нейтронного випромінювання 20-500 Рад.

При дії іонізуючих випромінювань в об'ємі зарядженої іонізаційної камери, виникає струм, що зменшує потенціал камери і пов'язаного з нею конденсатора. При цьому нитка електроскопу, на яку подається потенціал конденсатора, відхиляється і її відхилення вимірюється за допомогою мікроскопа за шкалою, отградуїрованою в радах.

При заряді дозиметра нитка електроскопу встановлюється за шкалою на нуль.

Дозиметр рентгенівського і гамма-випромінювання РМ1610

призначений для виміру фотонного іонізуючого випромінювання:

- потужності дози безперервного і імпульсного рентгенівського випромінювання;
- потужності дози гамма-випромінювання;
- еквівалент дози $H^*(10)$.



Вартість: 5535 грн

Прилади безперервного контролю радіаційної обстановки

Прилади **безперервного** контролю радіаційної обстановки застосовуються для виміру амбієнтного еквіваленту дози і потужності амбієнтного еквіваленту дози в місцях установки блоків детектування.

Залежно від типа блоків детектування **контролюється** випромінювання:

- альфа;
- бета;
- нейтронне;
- і гамма- забрудненості.

Дозиметр-радіометр ДКГ-07БС



Прилад для безперервного дозиметричного контролю радіаційної обстановки може розміщуватися на об'єктах контролю як настінний стаціонарний прилад і на рухливому складі (в т.ч. і на автомобілях) як бортовий.

Вимірник-сигналізатор гамма-випромінювання СРПС-05Д



Стационарний прилад для контролю радіаційної обстановки в приміщеннях, де проводяться роботи з радіоактивними джерелами.

При перевищенні заданого порогового значення потужності дози, прилад подає звуковий і світловий сигнали, управляє зовнішніми пристроями (наприклад, блокування дверей).

Багатоканальна станція радіаційного контролю УМКС-99 «Атлант-К»

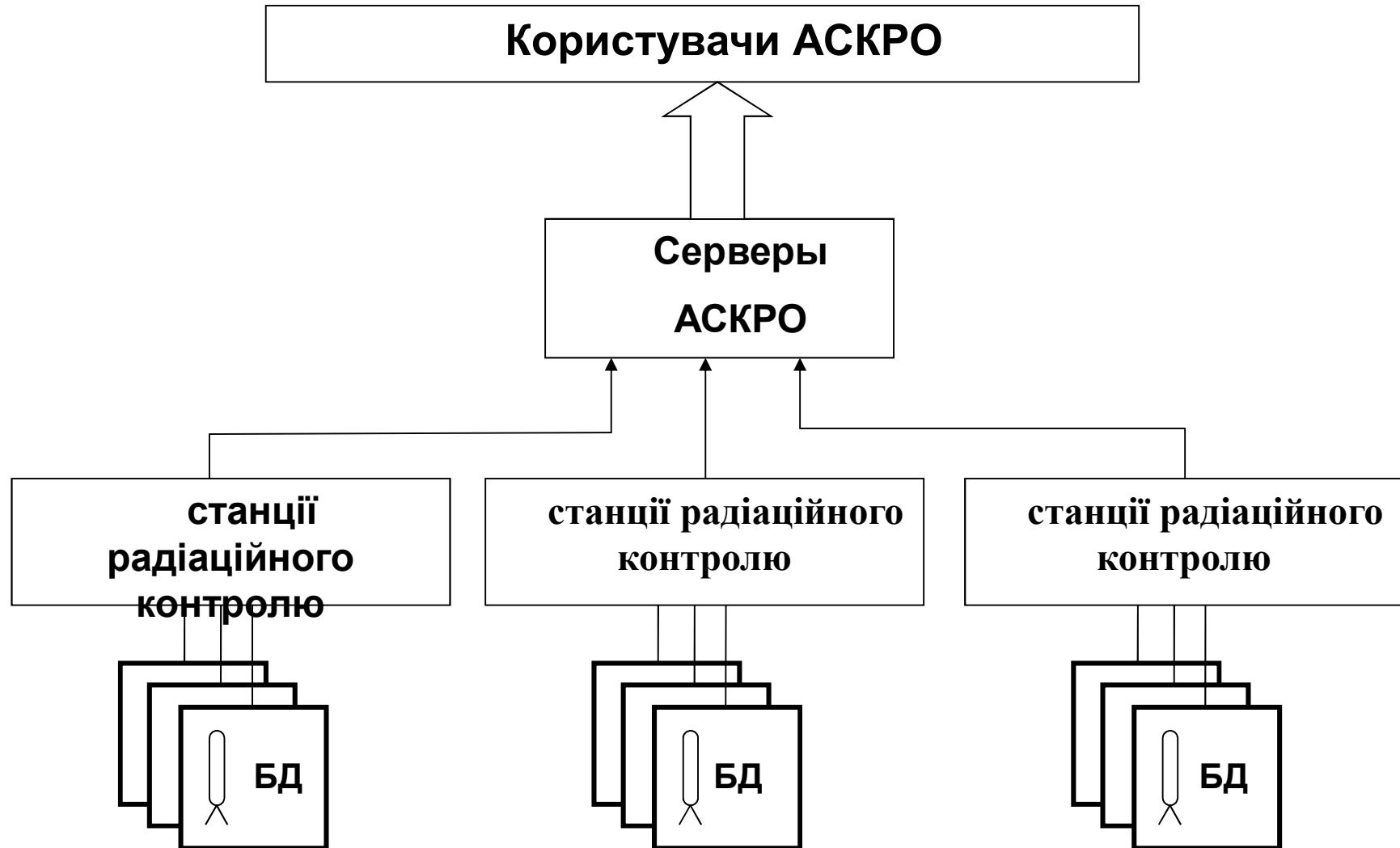


Вимір потужностей амбієнтного еквіваленту
доз в місцях установки блоків детектування.

Автоматизовані системи контролю радіаційної обстановки АСКРО

АСКРО – це комплекс технічних засобів, що забезпечують безперервний контроль радіаційної обстановки на об'єкті, формування і передачу інформації про радіаційну обстановку користувачам різного рівня.

Структура АСКРО



АСКРО включає чотири рівні:

Нижній рівень ПТК

Будується з первинних вимірювальних пристроїв (блоків детектування БД), датчиків, засобів сигналізації, пультів управління нижнього рівня.

Середній рівень

Забезпечує:

- опит пристроїв нижнього рівня;
- відображення інформації і повідомлення про стан пристроїв;
- передачу оперативної інформації на сервер баз даних.

Середній рівень будується на базі спеціалізованого або персонального комп'ютера.

Верхній рівень

Верхній рівень установки утворюють сервери баз даних і забезпечують контрольований доступ зареєстрованих користувачів до інформації.

Призначений для користувача рівень

Призначений для користувача рівень включає безліч користувачів окремих робочих станцій і що мають доступ до сервера баз даних по локальній мережі, або мережі Internet.

ВИСНОВКИ

Таким чином, на лекції були розглянуті актуальні та важливі питання, що характеризують роботу засобів радіаційного спостереження.

Розглянуті методи виявлення радіоактивних випромінювань.

Показані сучасні прилади контролю радіаційної обстановки.

Завдання на самопідготовку

1. Моніторинг надзвичайних ситуацій : Підручник / Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін та ін.- Х: АЦЗУ, 2005.- 530 с. С. 204-260.
2. Клименко, М.О. Моніторинг довкілля : Підручник / М.О. Клименко, А.М. Прищеп, Н.М. Вознюк . — К. : Видав. центр "Академія", 2006 .- 360 с. С. 265-289.

Висновки, урахування впливу воєнного стану.

Ситуація на Запорізькій атомній електростанції

Запорізька атомна електростанція — атомна електростанція в Україні, біля колишнього берегу Каховського водосховища Запорізькій області, поруч із містом Енергодар. Найбільша в Європі й третя у світі за сукупною потужністю атомна електростанція.

Після початку агресії РФ проти України, Енергоатом з 24 лютого 2022 року зупинив 5 і 6 енергоблоки, залишивши в роботі з 1 по 4.

Вже 3 березня 2022 року, о 23:28 за місцевим часом, до електростанції під'їхала колона з 10 одиниць російської бронетехніки та двох танків. Бій розпочався о 12:48 4 березня, коли українські сили випустили протитанкові ракети. російські сили відповіли різноманітною зброєю, включно з реактивними гранатометами.

Протягом бою в навчально-тренувальному центрі за межами головного комплексу спалахнула пожежа, яку було ліквідовано о 6:20 ранку. Також пошкоджень зазнали інші будівлі та приміщення. Пожежа та пошкодження не вплинули на безпеку реактора та основного обладнання, проте станція втратила 1,3 ГВт потужності.

Запорізька АЕС продовжує працювати та надавати дані системам віддаленого моніторингу та до МАГАТЕ. Нею продовжує оперувати український персонал, але під контролем РФ.