

Основи радіаційної безпеки.

3.4. Основи радіаційної безпеки.

Радіоактивні речовини широко застосовуються в різних галузях промисловості, а також в науково-дослідних роботах. Тому важливого значення набувають знання характеру впливу іонізуючих випромінювань на організм людини та правил поводження з радіоактивними речовинами.

Іонізуючі випромінювання, проникаючи в організм людини, можуть стати причиною важких захворювань. Можливі такі захворювання, як променева хвороба, лейкемія, злоякісні пухлини, захворювання шкіри. Можуть виникнути і генетичні наслідки, що приводять до захворювань в послідовних поколіннях. Небезпека полягає в тому, що дія радіоактивних випромінювань не спостерігається до того часу, поки не з'явиться явне ушкодження або захворювання.

Радіаційна безпека - один із розділів техніки безпеки.

Система радіаційної безпеки вирішує дві функціональні задачі: 1). зниження рівня опромінення персоналу і населення до допустимих норм; 2). створення ефективної системи радіаційного контролю

3.4.1. Іонізуючі випромінювання, їх визначення та основні характеристики.

Будь-яке випромінювання, взаємодія якого із середовищем приводить до виникнення зарядів різних знаків, називають іонізуючим. І

При цьому розрізняють корпускулярне і фотонне іонізуюче випромінювання.

Корпускулярне іонізуюче випромінювання - це потік елементарних І частинок з масою спокою, відмінною від нуля, які виникають при радіоактивному розпаді, ядерних перетвореннях або генеруються на прискорювачах. До нього відносять α - і β і - частинки, нейтрони, протони та ін.

α - випромінювання - це потік частинок, які є ядрами атому гелія і мають дві одиниці заряду. Енергія α - частинок, випромінюваних різними радіонуклідами, становить 2 ... 8 Мев.

β - випромінювання - це потік електронів або позитронів. Максимальна І енергія β - частинок становить 3 ... 3,5 Мев.

Нейтрони (нейтронне випромінювання) ~ це нейтральні елементарні частинки. Оскільки вони не мають заряду, то при проходженні через середовище вони взаємодіють тільки з ядрами атомів. В результаті виникають заряджені частинки або γ — випромінювання. По рівню енергії нейтрони умовно поділяються на 4 групи.

1. Теплові нейтрони - 0..., 0,5 кеВ; 2. Проміжкові - 0.5...200 кеВ; 3, Швидкі - 200 кеВ...20 МеВ. 4. Релятивістські - більше 20 МеВ.

Фотонне випромінювання - це потік електромагнітних коливань, які

поширюються в вакуумі зі швидкістю 300000 км/с . До нього відносять γ -випромінювання, характеристичне, гальмівне і рентгенівське випромінювання. Маючи одну природу, ці види випромінювання відрізняються умовами виникнення, а також властивостями: довжиною хвилі і енергією.

γ - випромінювання виникає при ядерних перетвореннях або при аннігіляції частинок.

Характеристичне випромінювання -- це фотонне випромінювання із дискретним спектром, яке випромінюється при зміні енергетичного стану атома.

Гальмівне випромінювання пов'язане із зміною кінетичної енергії заряджених частинок, має неперервний спектр і виникає в рентгенівських трубках, прискорювачах електронів тощо.

Рентгенівське випромінювання - це сукупність гальмівного і характеристичного випромінювання, діапазон енергій фотонів яких становить $1\text{ кеВ} \dots 1\text{ МеВ}$.

Випромінювання характеризується по його іонізуючій та проникаючій здатності.

Іонізуюча здатність визначається питомою іонізацією, тобто числом пар іонів, що створює частинка в одиниці об'єму- або на одиниці довжини шляху. Випромінювання різних видів мають різну іонізуючу здатність.

Проникаюча здатність випромінювання визначається величиною пробігу. Пробігом називається шлях, який проходить частинка у речовині до її повної зупинки.

α -частинки мають найбільшу іонізуючу здатність і найменшу проникаючу здатність. Їх питома іонізація складає 25 ... 60 тис. пар іонів на 1 см шляху в повітрі. Довжина пробігу складає декілька см в повітрі, а в м'якій біологічній тканині - декілька десятків мікрон.

β - випромінювання має значно меншу іонізуючу здатність і велику проникну здатність. Питома іонізація дорівнює 100 пар іонів на 1 см шляху, а максимальний пробіг дорівнює декілька метрів при великих енергіях.

Найменшу іонізуючу здатність і найбільшу проникаючу здатність має фотонне випромінювання.

3.4.2 Біологічна дія іонізуючого випромінювання.

Під впливом іонізуючого випромінювання в тканинах відбуваються складні фізичні та біологічні процеси. В результаті іонізації живої тканини відбувається розрив молекулярних зв'язків і зміна хімічної структури різних сполук, що, в свою чергу, приводить до загибелі клітин,

Ще більш суттєву роль у формуванні біологічних наслідків відіграють

продукти радіолізу води, яка складає 60...70% маси біологічної тканини. Продукти радіолізу вступають в хімічні реакції з молекулами тканини і створюють небезпечні для організму сполуки. Це приводить до порушення окремих функцій або систем, а також життєдіяльності організму в цілому.

Порушення біологічних процесів можуть бути оберненими, коли нормальна робота клітин, які піддались опроміненню, повністю відтворюється, або необерненими, які приводять до поразки окремих органів або всього організму і виникнення променевої хвороби.

Розрізняють дві форми променевої хвороби - гостру і хронічну.

Гостра форма виникає в результаті опромінювання великими дозами за малий проміжок часу. При дозах порядку тисяч рад поразка організму може бути миттєвою ("смерть під променем"). Гостра променева хвороба може виникнути також при попаданні всередину організму великої кількості радіонуклідів.

Хронічні хвороби розвиваються внаслідок систематичного Опромінення дозами, які перевищують гранично допустимі. Зміни в стані здоров'я називають соматичними, якщо вони проявляються безпосередньо в опроміненій людині, і спадковими, якщо вони проявляються у її нащадків.

В нормах радіаційної безпеки за одиницю часу прийнятий рік і, як наслідок цього, поняття річної дози опромінення. Ефект визначається, насамперед, сумарною накопиченою дозою незалежно від того, отримана вона за день, за 1 с або за 50 років. Таким чином, оцінюючи ефекти хронічного опромінення, слід мати на увазі, що ці ефекти накопичуються в організмі на протязі тривалого часу.

3.4.3. Дозиметричні величини та одиниці їх вимірювання.

Дія іонізуючого випромінювання на речовину проявляється в іонізації і збудженні атомів і молекул, які входять до складу речовини. Кількісною мірою іонізуючого випромінювання є поглинута доза D - середня енергія, яка передається випромінюванням одиниці маси речовини. Одиницею поглинутої дози є грей (Гй) : $1 \text{ Гй} \sim 1 \text{ Дж/кг}$. На практиці застосовується також позасистемна одиниця: $1 \text{ рад} = 100 \text{ ерг/с} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гй}$.

Поглинута доза залежить від властивостей випромінювання та поглинаючого середовища.

Для характеристики рентгенівського та γ - випромінювання застосовують так звану експозиційну дозу. Експозиційна доза - це енергія фотонного випромінювання, яка перетворюється в кінетичну енергію вторинних електронів, що приводять до іонізації одиниці маси атмосферного повітря. За одиницю експозиційної дози рентгенівського та γ - випромінювання приймають кулон на кг (Кл/кг). Це така доза випромінювання, під впливом якої на 1 кг сухого атмосферного повітря при нормальних умовах утворюються іони, що несуть 1 Кл

електричних зарядів кожного знаку.

На практиці широко застосовується позасистемна одиниця експозиційної дози - рентген. 1 рентген (P) - експозиційна доза рентгенівського γ -випромінювання, при якій в 0.001293г (1см повітря при нормальних умовах) утворюються іони, які несуть заряд в одну електростатичну одиницю електрики кожного знаку або $1P = 2.58 \cdot 10^{18} \text{ Кл/кг}$.

Дослідження показали, що пошкодження тканин пов'язано не тільки з кількістю поглинутої енергії, але і з її просторовим розподілом, який характеризується лінійною густиною іонізації. Чим більша лінійна густина іонізації, або, інакше, лінійна передача енергії частинок в середовищі на одиницю довжини шляху (ЛПЕ), тим більший ступінь біологічного пошкодження. Щоб врахувати цей ефект введено поняття еквівалентної дози H , яка визначається як

$$H = D \cdot Q$$

де D - поглинена доза, Q - безрозмірний коефіцієнт якості, який характеризує залежність біологічних небезпечних наслідків опромінення людини в малих дозах від повної ЛПЕ опромінення.

Еквівалентна доза являє собою ступінь біологічного впливу на дану конкретну людину, тобто вона є індивідуальним критерієм небезпеки, зумовленим іонізуючим випромінюванням.

За одиницю випромінювання еквівалентної дози прийнятий *зіверт* ($Зв$).

$$1Зв = 1\text{Гй}/Q = 1Q\text{Дж/кг}$$

Зіверт дорівнює еквівалентній дозі випромінювання, при якій поглинена доза дорівнює 1Гй при коефіцієнті якості $Q = 1$

Застосовується також спеціальна одиниця еквівалентної дози - *бер* (біологічний еквівалент рада): $1бер = 0.01Зв$.

Бером називається така кількість енергії, поглинута γ біологічної тканини, при якій спостерігається той же біологічний ефект, що і при γ рад рентгенівського γ - випромінювання, які мають $Q = 1$.

Для характеристики швидкості радіоактивного розпаду користуються поняттям періоду напіврозпаду T , тобто часом, на протязі якого розпадається половина початкового числа ядер даного радіонукліда.

Активність препарату - це міра кількості радіоактивної речовини. Вона визначається числом атомів, що розпадаються за одиницю часу, тобто швидкістю розпаду ядер радіонукліда. Одиницею вимірювання активності є одне ядерне перетворення за 1с. В системі СІ вона отримала назву беккерель ($Бк$).

За позасистемну одиницю активності прийнятий кюрі (Ki) — активність такої кількості радіонуклідів, в якій відбувається $3.7 \cdot 10^{10}$ актів розпаду за 1 с. На практиці широко користуються похідними Ki : мілікюрі - $1мKi = 10^{-3}Ki$, мікрокюрі - $1мкKi = 10^{-6}Ki$.

3.4.4. Границі опромінення.

Для забезпечення радіаційної безпеки необхідно створювати такі умови використання атомної енергії, при яких доза опромінення буде мінімальною і безпечною для здоров'я. Інакше кажучи, повинні бути прийняті всі міри для обмеження рівня опромінення персоналу і населення, але разом з тим забезпечені умови розвитку енергетики.

Діючі "Норми радіаційної безпеки" (НРБ-76), розроблені Національною комісією по радіаційному захисту із врахуванням рекомендацій Міжнародної комісії по радіаційному захисту, передбачають такі основні принципи радіаційної безпеки:

1. неперевиконання встановленої основної дозової границі;
2. зниження дози опромінення до можливого більш низького рівня;
3. виключення будь-якого необґрунтованого опромінення.

При встановленні основних дозових границь НРБ-76 виділяють такі наступні категорії опромінених осіб: категорія А - персонал (професійні працівники) - особи, які постійно або тимчасово працюють безпосередньо із джерелами іонізуючих випромінювань; категорія Б - особи, які не працюють безпосередньо з джерелами випромінювання, але розташування робочих місць може попадати під вплив радіоактивних речовин та інших джерел випромінювання, які застосовуються на підприємствах і установах; категорія В - населення області, краю, республіки, держави.

Для кожної категорії осіб встановлено три класи нормативів: 1. Основні дозові границі (ОДГ); 2. Допустимі рівні (ДР); 3. Контрольні рівні (КР).

Для категорії А в якості основної дозової границі встановлюється гранична допустима еквівалентна доза за рік (ГДД), а для категорії Б - границя еквівалентної дози за рік (ГД). Гранично допустима доза (ГДД) - найбільше значення індивідуальної еквівалентної дози за рік, яке при рівномірному впливі на протязі 50 років не викликає в стані здоров'я персоналу (категорія А) небажаних змін, що виявляються сучасними методами. Гранична доза (ГД) - гранична еквівалентна доза за рік для обмеженої частини населення (категорія Б); гранична доза встановлюється меншою ніж ГДД.

Таким чином, для осіб категорії А індивідуальна доза за рік не повинна перевищувати значення ГДД:

5 *бер/рік* - для всього тіла та кісткового мозку; 150 *бер/рік* - для м'язів, печінки, нирок, кишково-шлункового тракту, легень, очей; 300 *бер/рік* - для шкіряного покриву, рук, ніг,

а для осіб категорії Б значення ГД: 0.5, 1.5, 30 *бер/рік* відповідно.

Сумарна доза, накопичена людиною до 30 років у всякому разі не повинна

перевищувати 60 бер.

В зв'язку з тим, що при хронічному опроміненні в малих дозах (на рівні ГДД) біологічний ефект зумовлений тільки сумарною дозою опромінення, отриманого за багато років, норми регламентують тільки річну І ДД, тобто не накладають обмежень на рівень опромінення за робочий день, тиждень, квартал. Це означає, що дозволяється в необхідних випадках одноразове опромінення в дозі, яка рівна ГДД. Безумовно, що в подальшому необхідно організувати роботу цих осіб таким чином, щоб сумарна доза за рік не перевищувала ГДД.

Дозові норми, встановлені НРБ-76, не враховують дозу, яку отримує пацієнт при медичному обстеженні, а також дозу, обумовлену природнім радіаційним фоном.

Природній радіаційний фон випромінювання - це іонізуюче випромінювання, яке складається з космічного випромінювання та випромінювання природніх радіоактивних речовин (на поверхні Землі, в атмосфері, в продуктах харчування, у воді, в організмі людини). Природній фон зовнішнього випромінювання складає 40...200мР/рік. Відзначимо, що індивідуальні дози опромінення персоналу підприємств та об'єктів атомної промисловості і ядерної енергетики в Україні всюди нижче встановленої ГДД. У персоналу АЕС середня річна доза не перевищує 1бер. В працівників, які мають справу з джерелами іонізуючих випромінювань, середня доза утримується на рівні 0.1 ГДД, тобто 0,5 бер.

3.4.5. Організація роботи з радіоактивними речовинами та джерелами випромінювання.

При роботі з радіоактивними речовинами і джерелами іонізуючих випромінювань першочергове значення має правильна організація праці, яка забезпечує безпеку обслуговуючого персоналу та всього населення в цілому. Правильно організувати роботу з радіоактивними речовинами - це означає передбачити комплекс заходів, що забезпечують радіаційну безпеку. До таких заходів відносяться: захист від зовнішніх потоків випромінювання, відповідне планування і обробка приміщень, організація відповідного радіаційного контролю та санітарно-пропускного режиму, забезпечення необхідних умов транспортування радіоактивних речовин, збору та захоронення радіоактивних відходів, застосування засобів індивідуального захисту, тощо.

В залежності від річного споживання радіоактивних речовин підприємства поділяються на три категорії:

- 1) - з річним споживанням більше 100 Кі;
- 2)- з річним споживанням від 10 до 100Кі,
- 3)- з річним споживанням до 10Кі.

На обладнанні, контейнерах, транспортних засобах, приладах та апаратах,

приміщеннях, призначених для роботи з радіоактивними речовинами і джерелами іонізуючих випромінювань повинні бути знаки радіаційної небезпеки.

Адміністрація підприємства повинна розробити детальні інструкції щодо порядку проведення робіт, обліку, зберігання та видачі джерел випромінювання, збору та знищенню радіоактивних відходів, організації та проведенню радіаційного (дозиметричного) контролю. Всі працюючі повинні бути ознайомлені з цими інструкціями, навчені безпечним методам праці і зобов'язані скласти відповідний технімум. Всі особи, які поступають на роботу, повинні проходити попередній, а потім періодичні медичні обстеження.

3.4.6. Заходи по захисту від іонізуючого випромінювання.

Захист від зовнішніх потоків випромінювання.

При роботі із закритими джерелами, тобто радіоактивними джерелами випромінювання, устрій яких виключає попадання радіоактивних речовин в оточуюче середовище, персонал може бути опромінений тільки зовнішніми потоками випромінювання.

В залежності від умов випромінювання, характеру та місцезнаходження джерела застосовуються різні заходи та методи захисту від опромінення:

- а) захист за часом ;
- б) захист відстанню;
- в) екранування джерел випромінювання;
- г) індивідуальні засоби захисту;
- д) радіопротектори.

Допустимий час перебування персоналу в зоні іонізуючого випромінювання в годинах за тиждень визначається із співвідношення:

$$T_{\text{доп}} = \frac{100}{P}, \text{ де } 100 - \text{допустима потужність дози, мбер (або мР/год), } P -$$

розрахункова потужність дози, мбер або мР/год.

Віддалення персоналу від джерела випромінювання особливо корисно, оскільки доза та її потужність обернено пропорційні квадрату відстані. Відстань на якій можна працювати з джерелами іонізуючого випромінювання на протязі певного часу, визначається по формулам з урахуванням допустимої потужності дози або дози опромінення, або по довжині пробігу випромінювання в повітрі. Для збільшення відстані між працюючим і джерелом випромінювання в лабораторній практиці широко застосовується дистанційне управління операціями з радіоактивними речовинами.

Безпеку робіт з іонізуючим випромінюванням забезпечують також захисні екрани, товщина яких розраховується на основі законів послаблення випромінювання у речовині екрану. Товщину захисного екрану можна визначити

по довільним таблицям та номограмам.

При екрануванні α - джерел опромінення товщина матеріалу повинна бути не менша за довжину пробігу α - частинок в даному середовищі. Оскільки довжина пробігу навіть високоенергетичних α - частинок не перевищує 55 мкм, поглинати α - випромінювання можна склом, плексиглазом, фольгою товщиною в соті долі мм.

Товщину екрану для поглинання β - випромінювання визначають виходячи з величини максимального пробігу β - частинок в речовині екрану і густини речовини екрану.

Для захисту від рентгенівського і γ - випромінювання застосовують екрани з матеріалів з великим атомним номером і великою густиною: свинець, вольфрам, залізо. Можуть бути використані і метали середньої густини: нержавіюча сталь, чавун, мідні сплави.

До стаціонарних захисних огорожень відносяться: захисні стіни, перекриття підлоги та стелі, двері тощо. До пересувних захисних пристроїв відносяться: різного типу ширми і екрани; діафрагми установок та приладів, які обмежують потік променів; контейнери для транспортування радіоактивних речовин. Широко застосовуються в лабораторній практиці розбірні пристрої із свинцевих блоків. Надійність захисних екранів контролюється відповідними дозиметричними приладами. Екрануванням можна зменшити інтенсивність опромінення на робочому місці до будь-якого заданого рівня.

Захист від нейтронів полягає в уповільненні швидких нейтронів із послідовним їхнім поглинанням. Добрим захисним матеріалом від швидких нейтронів є вода і матеріали, які містять воду, парафін, а також графіт, берилій та інші. Нейтрони малої енергії добре поглинаються бором, тому бор вводиться в бетон, свинець, гуму та інші матеріали.

Хімічні речовини, які підвищують стійкість організму до дії випромінювання, називають радіопротекторами. На даний час наука володіє ефективними радіопротекторами, такими як ціанід натрію, азиди, речовини, які містять сульфідні групи та інші. Розроблені хімічні засоби, які ефективно очищують шкіру від радіоактивного забруднення.

Захист від внутрішнього опромінення.

Під внутрішнім опроміненням розуміють вплив на організм іонізуючого випромінювання від джерела, що знаходиться всередині тіла. Найбільшу небезпеку при цьому представляють відкриті джерела радіоактивного випромінювання. Відкритим джерелом називається радіоактивне джерело випромінювання, при користуванні яким можливе попадання радіоактивних речовин, що містяться в ньому, в оточуюче середовище.

Захист від внутрішнього опромінення вимагає виключення контакту із радіоактивними речовинами у відкритому вигляді, попередження попадання їх в

середину організму, в повітря робочої зони, а також попередження радіоактивного забруднення рук, одягу, поверхонь, приміщень і обладнання.

3.4.7. Засоби індивідуального захисту.

Засоби індивідуального захисту є додатковими до основних засобів захисту. Вони запобігають попаданню радіоактивного забруднення на шкіру і всередину організму. Засоби індивідуального захисту при роботі з іонізуючим випромінюванням умовно можна поділити на засоби повсякденного призначення та засоби короткочасного використання. До засобів повсякденного призначення належать халати, комбінезони, | спецвзуття та деякі типи протипилових респіраторів. До засобів короткочасного використання належать ізолюючі костюми.

По конструктивним і експлуатаційним особливостям засоби індивідуального захисту поділяються на:

- а) ізолюючі костюми;
- б) засоби захисту органів дихання -респіратори, протигази;
- в) спецодяг - халати, шапки, гумові рукавиці;
- г) спецвзуття - тапочки, черевики;
- д) додаткові пристрої - окуляри, захисні щитки із органічного скла.