

НОВІТНІ ОСНОВОПОЛОЖНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ
ЗАСТОСУВАННЯ ЗАХИСНИХ ЗАХОДІВ У РАЗІ ЯДЕРНИХ ТА
РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ

ЗМІСТ

1 Системи підтримки прийняття рішень.....	4
2 Значні викиди радіонуклідів в навколишнє середовище.....	6
2.1 Шляхи опромінення.....	7
2.2 Репрезентативна особа.....	8
3 Радіологічний захист людини в умовах надзвичайних ситуацій.....	9
3.1 Вплив опромінення на здоров'я людини.....	9
3.1.1 Стохастичні ефекти.....	11
3.1.2 Реакції тканин.....	11
3.2 Принципи радіологічного захисту та ситуації опромінення.....	13
3.3 Радіологічні оцінки впливу на навколишнє середовище.....	14
3.4 Критерії застосування захисних заходів.....	15
3.5 Фази реагування на надзвичайні ситуації.....	17
3.6 Зони та дистанції надзвичайних ситуацій.....	19
3.6.1 Зона попереджувальних заходів.....	20
3.6.2 Зона планування невідкладних захисних заходів.....	22
3.6.3 Дистанція розширеного планування.....	23
3.6.4 Дистанція планування щодо перорального надходження та товарів.....	23
3.7 Операційні рівні втручання.....	23
Перелік джерел посилання.....	27

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

ЧАЕС – Чорнобильська атомна електрична станція;

АЕС – Атомна електрична станція;

ЗВ – Зона відчуження ЧАЕС;

ЗБ(О)В - Зона безумовного (обов'язкового) відселення;

^{137}Cs – радіоактивний ізотоп цезію-137;

^{90}Sr – радіоактивний ізотоп стронцію-90;

Бк – одиниця активності радіонукліду, 1 Бк = 1 розпад/с;

Питома активність – активність радіонукліду в одиниці маси проби, Бк/кг;

Щільність забруднення території – активність радіонукліду у верхньому шарі ґрунту на одиниці площі, Бк/м², кБк/м², Кі/км²;

кБк/м² - кілоБекерель на квадратний метр;

Бк/кг, л - Бекерель на кілограм, літр;

Кі/км² - Кюрі на квадратний кілометр;

Гр – (Грей) одиниця вимірювання поглинутої дози іонізуючого випромінювання в системі СІ;

Кп - Коефіцієнт переходу;

Кн - Коефіцієнт накопичення;

RF – Reduction factor (коефіцієнт зниження);

ДР-2006 - Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (2006 року);

НРБУ-97/2000 - Норми радіаційної безпеки України (1997 року);

МАГАТЕ - Міжнародна агенція з атомної енергії;

СППР - Системи підтримки прийняття рішень;

EURANOS - European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies;

OILs - Умови на місці, рівні надзвичайних дій та операційні рівні втручання;

ReSCA - Remediation Strategies after the Chernobyl Accident (Стратегія ліквідації наслідків після аварії на Чорнобильській АЕС);

GSR - міжнародні основні стандарти безпеки;

ATSDR - Агентство з токсичних речовин та реєстрації захворювань США;

PAZ - Зона попереджувальних заходів;

UPZ - Зона планування невідкладних захисних заходів;

EPD - Дистанція розширеного планування;

ICPD - Дистанція планування щодо перорального надходження та товарів;

МКРЗ - Міжнародна комісія з радіологічного захисту;

ICRP - International commission on radiological protection;

UNSCEAR - The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic;

Radiation (Науковий комітет Організації Об'єднаних Націй по впливу атомної радіації);

ARS - Гострий променевої синдром;

МДА - мінімально детектіруема активність

НОВІТНІ ОСНОВОПОЛОЖНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАХИСНИХ ЗАХОДІВ У РАЗІ ЯДЕРНИХ ТА РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ

1 Системи підтримки прийняття рішень

*Ядерні об'єкти*¹ можуть містити великий обсяг радіоактивних матеріалів. Безпека цих об'єктів ґрунтується на принципі “глибокешелонованої оборони” та ієрархічних системах безпеки, які спрямовані на запобігання відхилення від нормальної експлуатації та збереженні ефективності фізичних бар'єрів між радіоактивними матеріалами та навколишнім середовищем. Однак, *надзвичайна ситуація*², що може бути спричинена *аварією*³, стихійним лихом або злочинним діянням, може призвести до неконтрольованих *викидів*⁴ у навколишнє середовище.

Тяжкі аварії стались на Чорнобильській АЕС (1986) та на АЕС Фукусіма (2011). Надзвичайні ситуації також можуть виникнути на інших типах об'єктів, які містять значні обсяги радіоактивних матеріалів, викид яких може призвести до великомасштабного *забруднення*⁵ навколишнього середовища та вимагає захисних заходів та радіаційного моніторингу.

¹ У відповідності до Міжнародних стандартів безпеки GSR Part 3 [1] цей термін об'єднує ядерні енергетичні реактори, дослідницькі реактори (також підкритичні та критичні збірки), будь-яке інше обладнання, що використовується для виробництва радіоактивних ізотопів, сховища відпрацьованого ядерного палива, обладнання для збагачення урану, установки з виробництва ядерного палива, обладнання для переробки відпрацьованого ядерного палива, обладнання для поводження з радіоактивними відходами, що виникають на об'єктах ядерного паливного циклу, а також обладнання для розробок та досліджень ядерного паливного циклу.

² У відповідності до Міжнародних стандартів безпеки GSR Part 3 [1] це ситуація, яка вимагає негайних дій, в першу чергу - для зменшення небезпеки або несприятливих наслідків для здоров'я людей, якості життя, власності чи навколишнього середовища.

³ У відповідності до Міжнародних стандартів безпеки GSR Part 3 [1] це будь-яка непередбачена подія, операційні помилки, збої у роботі обладнання, наслідки або можливі наслідки яких не є незначними з точки зору захисту та безпеки.

⁴ Термін "викид" використовується в цьому звіті для посилання на процес викиду радіоактивних матеріалів у повітря та/або водні об'єкти навколишнього середовища, або для посилання на радіоактивні матеріали викиду.

⁵ У цьому звіті термін *забруднення* використовується для позначення активності радіоактивних матеріалів на поверхні або в твердих тілах, рідинах або газах (в тому числі і в тілі людини), де їхня присутність або процес, що викликає їх присутність є неумисними або небажаними. Цей термін стосується лише будь-якої присутності радіоактивних матеріалів, але не вказує на наявність або ступень небезпеки, що може бути пов'язана з їх присутністю.

Прикладом таких подій є аварії з ядерною зброєю біля селища Паломарес (Іспанія, 1966 р.) та біля бази ПВС США Туле на острові Гренландія (Данія, 1968 р.), а також надзвичайна ситуація в м. Гоянья з медичним джерелом (Бразилія, 1987 р.).

Надзвичайні ситуації на ядерних об'єктах трапляються рідко, але коли є загроза викиду, чи він вже відбувся, необхідні швидкі заходи для запобігання та пом'якшення його наслідків для здоров'я людей, навколишнього середовища, майна, економіки в цілому, та, зокрема, для сільського господарства. Міжнародні стандарти безпеки GSR Part 3[1] та GSR Part 7[2] вимагають, щоб оператори ядерних установок та уряди країн, в яких розташовані ядерні установки та уряди сусідніх країн, на які може вплинути надзвичайна ситуація на ядерній установці, мали адекватні сили та ресурси для готовності та реагування на надзвичайні ситуації. Важливим елементом таких сил та ресурсів є *системи підтримки прийняття рішень* (СППР) при ядерних і радіаційних аваріях, які забезпечують надійний збір та аналіз даних радіаційного моніторингу для прогнозування рівнів забруднення навколишнього середовища, продуктів харчування, товарів, та доз опромінення населення. Основне призначення таких систем - інформування осіб, що приймають рішення про застосування захисних заходів. Такі системи вкрай необхідні як протягом перших тижнів, місяців, так і, можливо, років після закінчення надзвичайної ситуації.

Досвід, який був накопичений при ліквідації наслідків ядерних і радіаційних аварій, містить наступні уроки:

- Інформація, зібрані в межах програм передпроектних досліджень та моніторингу, відіграє важливу роль для адекватної оцінки потенційної небезпеки, готовності та реагування на надзвичайні ситуації;
- Поточний радіаційний моніторинг та моніторинг раннього попередження є важливими для виявлення викидів у навколишнє середовище та їх радіологічних оцінок;

- Спеціально розроблена програма надзвичайного моніторингу повинна розпочинатись без затримки на ранніх етапах надзвичайних ситуацій та повинна бути орієнтована на забезпечення систем підтримки прийняття рішень усією необхідною інформацією. Програма надзвичайного моніторингу повинна коректуватись на всіх етапах розвитку надзвичайної ситуації;
- СППР повинні дозволяти ітераційну переоцінку радіологічного впливу на населення та впровадження захисних дій, інших заходів реагування та інформування широкої громадськості;
- СППР повинні використовувати дані щодо вмісту радіонуклідів в тілі людини для оцінки ефективності захисних заходів, підвищення точності інформування населення та осіб, що приймають рішення, а також для ідентифікації груп населення для яких необхідні медичні обстеження;
- Відсутність надійних СППР, а також погано організований або сповільнений радіаційний моніторинг можуть призвести до неадекватного захисту здоров'я населення та довгострокових економічних та соціальних наслідків.

2 Значні викиди радіонуклідів в навколишнє середовище

Значний викид радіоактивних матеріалів до навколишнього середовища створює загрозу здоров'ю населення та може мати психологічні, соціальні та економічні наслідки. Характер впливу на здоров'я, ступінь його тяжкості та тривалість часу до настання ефектів визначаються сумарною отриманою дозою опромінення, типом, інтенсивністю у часі і загальним часом опромінення, нерівномірністю опроміненням органів або тканин тіла, станом здоров'я та індивідуальною сприйнятливістю людини. Наслідки для здоров'я, а також соціальні та економічні наслідки надзвичайної ситуації можуть бути суттєво пом'якшені шляхом застосування ретельно спланованих за допомогою СППР захисних заходів. СППР використовують данні

радіаційного моніторингу навколишнього середовища та населення, та забезпечувати осіб, що приймають рішення інформацію для управління надзвичайними ситуаціями та захисту населення.

Радіоактивні матеріали викидів розповсюджуються в навколишньому середовищі та спричиняють забруднення повітряних, наземних та водних екологічних систем, сільськогосподарських продуктів, питної води, споживчих товарів та, в кінцевому рахунку, зовнішнє та внутрішнє опромінення людей.

2.1 Шляхи опромінення

Опромінення населення може виникнути через (а) радіонукліди поза тілом людини (зовнішнє опромінення), і (б) радіонукліди всередині тіла людини (внутрішнє опромінення). Під шляхом опромінення мається на увазі шлях, через який радіонукліди можуть впливати на людину. Ключовими шляхами опромінення від викидів зазвичай є: (а) зовнішнє опромінення від радіонуклідів у повітряному шлейфі або від радіонуклідів, осаджених на поверхні; б) внутрішнє опромінення при вдиханні радіонуклідів з повітря та надходження забруднених продуктів харчування або води. На рисунку 1 наведено графічні презентації екологічних процесів та шляхів опромінення, розглянутих у цьому звіті.

Агентство з токсичних речовин та реєстрації захворювань США [3] розглядає п'ять ключових елементів у вирішенні питання про вплив викиду на населення:

Елемент 1: Джерело викиду.

Елемент 2: Розповсюдження у навколишньому середовищі.

Елемент 3: Місце опромінення людини.

Елемент 4: Шлях опромінення (наприклад, зовнішнє опромінення, інгаляція, пероральне надходження або контакту з шкірою).

Елемент 5: Характеристики населення, такі як щільність населення, вікова структура, особливості життєдіяльності, та ін.

Ретельна оцінка перших чотирьох елементів у контексті сценарію викиду дає корисну інформацію для планування радіаційного моніторингу та використання цієї інформації в СППР. Аналіз шляхів опромінення дозволяє зробити моніторинг та СППР ефективнішими, допомагаючи концентрувати зусилля на тих територіях та середовищах довкілля, які, найімовірніше, будуть значно забруднені та можуть спричинити опромінення населення.

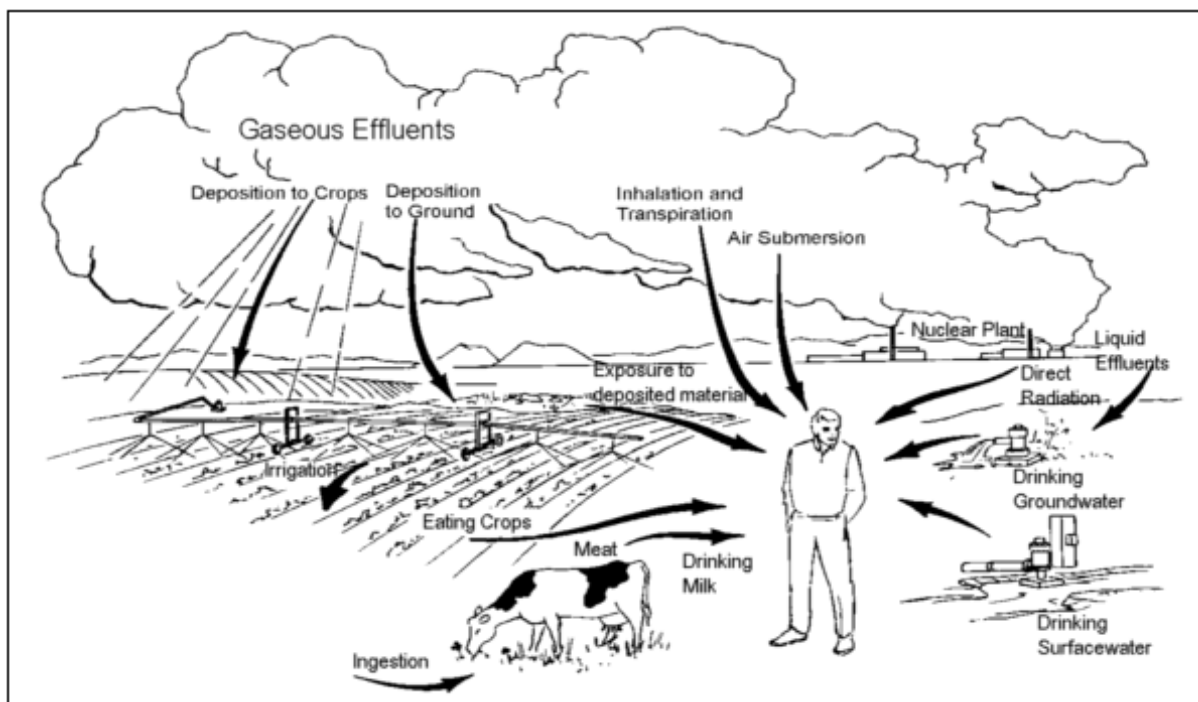


Рисунок 1– Шляхи опромінення населення [3].

2.2 Репрезентативна особа

МКРЗ (2007) визначає репрезентативну особу, як особу, яка отримує дозу, яка є репрезентативною для найбільш опромінених осіб. Як зазначено в [4],

"важливо, щоб звички (наприклад, споживання продуктів харчування ... місця що відвідуються, використання місцевих ресурсів), що характеризують репрезентативну особу, були типовими звичками невеликої кількості осіб, які представляють тих, хто отримує найбільші дози опромінення, а не специфічними звичками однієї людини. Можна зважати на екстремальні або незвичайні звички, але це не повинно диктувати визначення характеристик репрезентативної особи".

МКРЗ [4] рекомендує враховувати наступне в розрахунках доз опромінення репрезентативної особи:

Розрахунки мають враховувати всі шляхи опромінення;

Розрахунки повинні враховувати просторовий розподіл забруднення, щоб гарантувати, що найбільш опромінені особи включені в оцінки доз; і

Дані о звичках населення повинні бути реалістичними та репрезентативними для населення, що опромінюється.

В прогнозах розрахунках, дані про звички слід вибирати з усвідомленням можливих змін у часі. Наприклад, рівень споживання конкретного продукту може змінитися протягом декількох років. Більш того, у місцевостях, де середні показники споживання звичайних місцевих продуктів харчування (таких як молоко, м'ясо, риба та свіжі овочі) не відповідають мінімальним рівням здорового харчування, слід застосовувати принаймні такі мінімальні рівні.

Вибір характеристик репрезентативної особи для заданих умов опромінення повинен бути ретельним. Поширені життєві звички щодо споживання їжі та води, що можуть призводити до підвищених рівнів опромінення, повинні бути включені в розрахунки доз, як важливі параметри моделі. Належну увагу слід приділяти звичкам етнічних і культурних меншин, а також тим звичкам, до яких схильне корінне населення (наприклад – збір грибів).

3 Радіологічний захист людини в умовах надзвичайних ситуацій

3.1 Вплив опромінення на здоров'я людини

Опромінення призводить до з численних випадкових мікро-подій поглинання енергії іонізуючого випромінювання в клітинах тіла людини. Навіть при дуже низькій поглиненій дозі в органі або тканині тіла, енергія, що поглинається в клітині, може спричинити суттєві пошкодження ДНК та інших клітинних структур. Такі пошкодження можуть бути усунені

(репаровані) клітиною, або вони можуть спричинити загибель клітини, стійке ушкодження клітини, або генетичні зміни.

Для цілей радіологічного захисту ефекти впливу на здоров'я людини згруповані за двома категоріями: стохастичні ефекти та детерміністичні ефекти [5]:

Стохастичний ефект - це викликаний іонізуючим випромінюванням вплив на здоров'я людини, вірогідність виникнення якого збільшується з величиною дози опромінення, а тяжкість якого (якщо ефект виникає) не залежить від дози. Стохастичні ефекти включають рак, що розвивається після мутації соматичної клітини та спадкові захворювання потомків опроміненої особи, які викликаються мутаціями первинних полових клітин (гоноцитів) опроміненої особи.

Шкідлива реакція тканин, також відома як *детерміністичний ефект*, - це викликаний іонізуючим випромінюванням вплив на здоров'я людини, для якого в цілому існує поріг рівня дози, вище якого тяжкість ефекту більша для більшої дози. Ефект називається "*важким детерміністичним ефектом*", якщо він є фатальним або загрожує життю, або призводить до постійної травми, яка знижує якість життя людини. Тканинні реакції викликаються загибеллю або ураженням значної кількості клітин тканини чи органу людини після високих доз опромінення.

При плануванні захисних заходів також слід враховувати вплив на ембріон та плід, катаракту кришталика ока, та інші хвороби, відмінні від раку. Детальна інформація про вплив іонізуючого випромінювання на здоров'я людини дана в докладах Наукового комітету з ефектів атомної радіації при Організації об'єднаних націй [6,7] та Міжнародної комісії з радіологічного захисту [5].

3.1.1 Стохастичні ефекти

Загибель невеликої кількості клітин, що викликана опроміненням, може не мати ніяких наслідків для здоров'я людини. Однак, генетичні зміни, навіть в одній клітині, призвести до серйозні наслідки. Малі дози або помірно-великі дози, отримані при низьких рівнях потужності дози (наприклад, довготривале опромінення внаслідок споживання забруднених продуктів харчування), можуть спричинити такі захворювання, як рак, що не спостерігаються безпосередньо після опромінення, але з'являються пізніше за часом.

Співвідношення між отриманою дозою та ризиком смертності від раку при низьких дозах можуть бути описані лінійною або криволінійною функцією. Статистично достовірні підвищення ризику спостерігаються при дозах від 100 до 200 мГр і вище [7].

Для цілей радіаційного захисту, ризик раку приймається пропорційним дозі, незалежно від того, наскільки вона мала. Ця лінійна безпорогова (LNT) гіпотеза є фундаментальною основою принципів та стратегій радіаційного захисту. Проте, прогнози абсолютної кількості ефектів серед великих груп населення, які отримали низькі дози, зроблені за допомогою гіпотези LNT, можуть бути хибними, як це відображено в доповіді [8]: *"Комітет вирішив не використовувати моделі для прогнозування абсолютної кількості ефектів у популяціях, що зазнали низьких доз опромінення від аварії на Чорнобильській АЕС, через неприйнятну невизначеність у прогнозах"*. Це твердження особливо важливе, коли викид радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище зачіпає значні території і велика частка формально оціненої колективної дози може бути результатом дуже малих доз нижче природного фону.

3.1.2 Реакції тканин

Значна доза опромінення, яка була отримана протягом короткого періоду, може бути пов'язана, як з реакціями тканин, так і зі стохастичними ефектами. Як зазначено вище, реакції тканин спостерігаються при загибелі

значної кількості клітин тканини чи органу людини. Якщо рівні опромінення помірні, завдяки інтенсивним реparatorним процесам на рівні клітин та тканин, погіршення функціональності тканини, не відбувається. Як наслідок, реакції тканин мають порогові значення дози, і їх неможливо клінічно виявити доти, доки отримана доза не перевищить порогову дозу. Якщо порогова доза перевищена, частка опроміненої популяції клітин, в якій спостерігається фатальні зміни, швидко зростає зі збільшенням дози (Рисунок 2). Доза, при якій вказаний ефект спостерігається у половини опроміненої групи, називається дозою D_{50} або LD_{50} , якщо доза летальна.

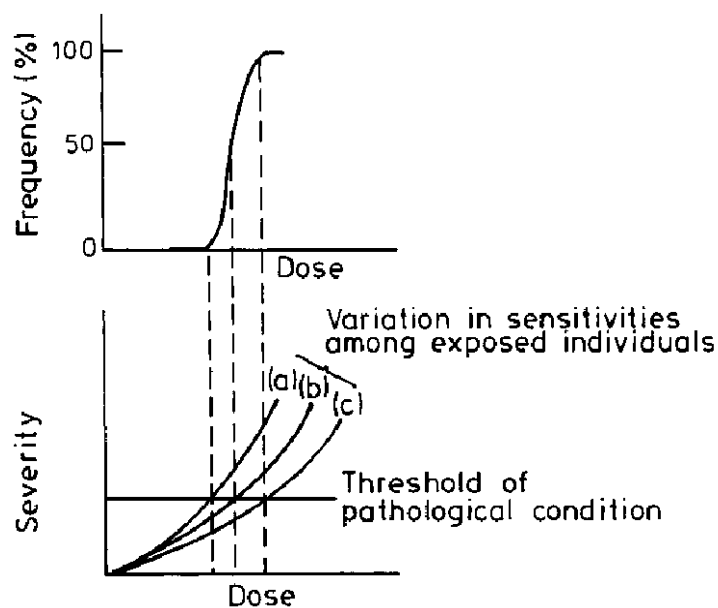


Рисунок 2 – Співвідношення між дозою та частотою та тяжкістю реакції тканини (детерміністичний ефект опромінення). Верхня панель: очікуване сигмоподібне збільшення частоти прояву в популяції. Нижня панель: очікуване співвідношення доза-ефект у осіб з різною чутливістю [8].

Тканини відрізняються в залежності від їх радіочутливості та відгуку на опромінення у часі. Реакція тканини може виникати протягом декількох тижнів (рання) або з часом: від декількох місяців до року (пізні реакції тканин). Одними з найбільш радіочутливих органів та тканин є яєчники та яєчка, кістковий мозок та кришталик ока. Таблиця 1 дає приклади порогових рівнів дози для реакцій тканин у різних умовах опромінення.

Якщо здатність великої кількості клітин ділитися і нормально функціонувати порушено, то променева хвороба або смерть можуть настати протягом кількох днів або місяців. Комплекс ранніх реакцій тканин, які зазвичай спостерігаються протягом перших 24 годин після опромінення, називається *гострим променевим синдромом (ARS)*. Симптоми гострого променевого синдрому поділяються на три основні групи: гемопоетичні, шлунково-кишкові та неврологічні / судинні. Симптоми включають нудоту, блювоту, головний біль, втому, підвищення температури і почервоніння шкіри. Такі симптоми можуть передувати початковій стадії ARS при дозах понад 0,35 Гр [9].

Таблиця 1 – Приклади порогових рівнів дози реакцій тканин [9].

Орган або тканина	Ефект	Поглинута доза в органі чи тканині, Гр (гостре опромінення)	Щорічна поглинута доза в органі або тканині, Гр (хронічне опромінення або опромінення багатьма фракціями)
Яєчники	Стерильність	2.5 від 6	вище 0.2
Яєчка	Тимчасове безпліддя	0.15	0.4
Кістковий мозок	Пригнічення кровотворення	0.5	вище 0.4
Кришталік ока	Виявляється непрозорість	0.5 - 2	вище 0.1

3.2 Принципи радіологічного захисту та ситуації опромінення

Міжнародні стандарти безпеки [1], встановлюють принципи безпеки (SF-1), які вимагають наступне:

Об'єкти та діяльність, що пов'язані з радіаційними ризиками, повинні приносити загальну користь (*принцип виправданості об'єктів та діяльності*). В надзвичайних ситуаціях опромінення цей принцип означає необхідність виправданості застосування тих чи інших захисних заходів та аналіз співвідношення користі, що принесуть захисні заходи (наприклад – зниження вірогідності виникнення стохастичних ефектів) та

пов'язаної з ними шкоди (наприклад – збільшення вірогідності погіршення стану чи смерті хворих старих людей чи немовлят при евакуації або внаслідок нестачі основних харчових продуктів, споживання яких заборонене);

Радіологічний захист повинен бути оптимізованим таки чином, щоб забезпечити найвищий рівень безпеки, який можна реально досягти. Це означає, що величина індивідуальних доз опромінення, кількість осіб, що опромінюються, та ймовірність їх опромінення мають бути такими низькими, наскільки це можливо, враховуючи економічні та соціальні фактори (*принцип оптимізації захисту та безпеки*);

- Заходи з управління радіологічними ризиками повинні гарантувати, що жодна особа не отримає неприйнятної ризику (*принцип обмеження індивідуальних ризиків*);
- Необхідно передбачити належні заходи готовності до надзвичайних ситуацій та реагування на них (*принцип готовності та реагування*); і

Захисні заходи для зменшення існуючих або нерегульованих радіаційних ризиків повинні бути виправдані та оптимізовані (*принцип захисних заходів*).

СППР та радіаційний моніторинг є важливими інструментом для реалізації зазначених принципів.

Для встановлення практичних вимог до радіологічного захисту[5,1] було визначено три типи *ситуацій опромінення* - *планові ситуації опромінення*, *надзвичайні ситуації опромінення* та *планові ситуації опромінення*.

3.3 Радіологічні оцінки впливу на навколишнє середовище

Радіологічні оцінки це інструмент через який данні моніторингу використовуються для прийняття рішень. Результати радіологічних оцінок мають вирішальне значення для прийняття науково обґрунтованих рішень щодо захисних заходів. Слід розрізняти два види оцінок:

- Прогнозні радіологічні оцінки впливу на навколишнє середовище зосереджуються на визначенні потенційного впливу викидів

радіоактивних матеріалів на навколишнє середовище та встановленні похідних критеріїв в термінах величин, які можуть бути виміряні для використання у процесі прийняття рішень в разі надзвичайної ситуації. Прогнозні радіологічні оцінки впливу на навколишнє середовище звичайно базуються на результатах перед-проектних досліджень та постульованих у проектній документації функції джерела викиду. Останні є результатом аналізу безпеки ядерної установки;

- Пост-аварійні радіологічні оцінки впливу на навколишнє середовище ґрунтуються на інформації, що була зібрана в ході надзвичайної ситуації.
- Основним джерелом інформації для СППР є дані радіаційного моніторингу.

3.4 Критерії застосування захисних заходів

Міжнародні стандарти безпеки МАГАТЕ [1,2] містять *«Загальні критерії для захисних заходів та інших заходів реагування на надзвичайні ситуації для зменшення ризику стохастичних ефектів»* в термінах прогнозованої⁶ ефективної дози та прогнозованих поглинутих / ОБЕ-зважених доз для окремих органів, тканин і плоду. Якщо прогнозована доза перевищує загальні критерії, необхідно вживати термінових чи ранніх захисних заходів та інші дії. Крім того, щоб оптимізувати набір захисних заходів в надзвичайних ситуаціях опромінення, залишкова доза⁷ також повинна оцінюватися шляхом моделювання, щоб визначити ефективність захисних заходів. Таблиця 2 містить огляд узагальнених критеріїв застосування захисних заходів та інших заходів реагування у надзвичайних ситуаціях опромінення для зменшення ризику виникнення стохастичних ефектів серед

⁶ Доза, яка була б отримана, якщо плановані захисні заходи не були вжиті.

⁷ Доза, яка, як очікується, буде отримана після того, як захисні заходи будуть припинені (або після прийняття рішення не застосовувати захисні заходи). Залишкова доза застосовується в надзвичайних ситуаціях опромінення.

населення. Таблиця сформована для цілей на основі рекомендацій, що містяться в [1].

Таблиця 2 – Узагальнені критерії застосування захисних заходів та інших заходів реагування у надзвичайних ситуаціях опромінення для зменшення ризику виникнення стохастичних ефектів серед населення.

Узагальнений критерій	Значення узагальненого критерію	Приклади захисних заходів та інших заходів реагування
Невідкладні захисні заходи та інші заходи реагування повинні бути застосовані, якщо сумарна прогнозована доза, що буде сформована зовнішнім опроміненням протягом перших 7 діб та внутрішнім опроміненням внаслідок надходження радіонуклідів протягом цього ж періоду перевищує значення узагальненого критерію.		
Dthyroid Сумарна поглинена доза щитоподібній залози за 7 діб, в тому числі - доза щитоподібній залози плоду при зовнішньому опроміненні і надходженні радіонуклідів до тіла матері.	50 мГр	Блокування щитоподібній залози з застосуванням препаратів стабільного йоду.
E Сумарна очікувана ефективна доза людини, зокрема – дітей і немовлят що годуються грудним молоком; Efetus Сумарна очікувана ефективна доза плоду при зовнішньому опроміненні і надходженні радіонуклідів до тіла матері.	100 мЗв 100 мЗв	Укриття, евакуація, дезактивація, обмеження на споживання продуктів харчування, молока, питної води, контрзаходи у сільському господарстві, заходи щодо контролю та обмеження розповсюдження забруднення, інформація населення.
Ранні захисні заходи та інші заходи реагування повинні бути застосовані, якщо сумарна прогнозована доза, що буде сформована зовнішнім опроміненням протягом першого року та внутрішнім опроміненням внаслідок надходження радіонуклідів протягом цього ж періоду (для плоду - протягом усього періоду внутрішньо-утробного розвитку) перевищує значення узагальненого критерію.		
E Сумарна очікувана ефективна доза людини, зокрема – дітей і немовлят, що годуються грудним молоком; Efetus Сумарна очікувана ефективна доза плоду внаслідок зовнішнього опромінення і надходження радіонуклідів до тіла матері.	100 мЗв 100 мЗв	Тимчасове переселення, дезактивація, обмеження на споживання продуктів харчування, молока, питної води, контрзаходи у сільському господарстві, інформація населення.
Довгострокові медичні заходи для виявлення та лікування проявів негативного впливу опромінення на здоров'я, якщо сумарна фактично отримана доза зовнішнього		

опромінення протягом першого місяця та доза внутрішнього опромінення внаслідок надходження радіонуклідів протягом цього ж періоду (для плоду - протягом усього періоду внутрішньо-утробного розвитку) перевищує значення узагальненого критерію.		
Е Сумарна очікувана ефективна доза людини, зокрема – дітей і немовлят, що годуються грудним молоком;	100 мЗв	Медичний скринінг на основі результатів розрахунків поглинених доз найбільш радіочутливих органів та тканин, довгострокові медичні спостереження та індивідуальні консультації.
Efetus Сумарна очікувана ефективна доза плоду внаслідок зовнішнього опромінення і надходження радіонуклідів до тіла матері.	100 мЗв	Медичні консультації, що дозволяють матері приймати інформовані рішення з оглядом на індивідуальні обставини.

3.5 Фази реагування на надзвичайні ситуації

Готовність до надзвичайних ситуацій - це здатність вжити заходи, які ефективно пом'якшать наслідки надзвичайної ситуації для життя та здоров'я людини, власності та навколишнього середовища.

Реагування на надзвичайні ситуації поза межами промайданчика може бути описано трьома загальними фазами: *Рання фаза* і *Проміжна фаза* - обидві є фазами надзвичайної ситуації опромінення і *Пізня фаза*, що розглядається в рамках існуючої ситуації опромінення, яка виникла внаслідок надзвичайної ситуації. Визначення зазначених фаз ґрунтуються на умовах, що спостерігаються на аварійному об'єкті та в навколишньому середовищі. Фази реагування не мають визначених заздалегідь меж часу та можуть частково співпадати у часі.

Рання фаза - період до та під час викиду, коли потрібні негайні рішення щодо застосування захисних заходів. Ці рішення повинні базуватися, насамперед, на умовах, що спостерігаються на аварійному об'єкті та прогнозі їх змін. За наявності можуть бути використані математичні прогнози щодо радіологічної ситуації, виходячи із стану джерела або даних радіаційного моніторингу. Запобіжні заходи можуть передувати запобіжні заходи протягом періоду. Цей етап може тривати від годин до днів.

Проміжна фаза - період, що починається після того, як джерело та викиди були піддані контролю, а також надійні екологічні виміри доступні для використання в якості основи для прийняття рішень про захисні дії. Цей етап, як правило, існує, поки ці додаткові захисні дії більше не потрібні або їх можна розслабити. Цей етап може перекривати фазу ранньої аварійної експозиції та ситуацію, що склалася, і може тривати від декількох тижнів до місяців.

Пізня фаза - період, що починається, коли виправні дії, спрямовані на зменшення впливу на навколишнє середовище та впливу радіації в навколишнє середовище до прийняттого рівня починаються і закінчуються після завершення всіх заходів по відновленню та виправлення. Цей етап може тривати роки чи навіть століття.

Прикладом транскордонної координації готовності та реагування на надзвичайні ситуації є підхід, узгоджений керівниками національних регуляторів ядерної та радіаційної безпеки (HERCA-WENRA)[12] в Європі. Цей підхід базується на трьох етапах HERCA-WENRA: *Етапі готовності*, *Ранній фазі* та *Пізній фазі*. Метою *Етапу готовності* є досягнення та підтримання спільного підходу до надзвичайних ситуацій в Європейських країнах шляхом розробки або вдосконалення вже існуючих багатосторонніх домовленостей, перевірки цих заходів та їх вдосконалення. На початку *Ранньої фази* підхід HERCA-WENRA передбачає швидкий обмін інформацією, включаючи дані радіаційного моніторингу, на основі існуючих двосторонніх та міжнародних домовленостей. Якщо національні заходи реагування, що вживає країна, на території якої відбувається надзвичайна ситуація, вважається сусідніми країнами як оптимальні, сусідні країни можуть рекомендувати своїм урядам в перші години аварії дотримуватися принципу "ми робимо те ж саме, що і країна, що зазнала аварії". На *Пізній фазі* підхід HERCA-WENRA передбачає підготовку сумісного доповіді про надзвичайну ситуацію та плану дій, які повинні буди, прийнятими усіма країнами, що зазнали впливу, включаючи країну, що зазнала аварії. Такі

докладу про надзвичайну ситуацію та плану дій дозволять реалізацію скоординованих захисних заходів [12].

Рисунок 3 дає огляд шляхів опромінення, фаз реагування на надзвичайні ситуації та захисних заходів.

Potential Exposure Pathways	Incident Phases	Potential Protective Actions
1. External radiation from facility	Early	Sheltering Evacuation Control of access
2. External radiation from plume		Sheltering Evacuation Control of access
3. Inhalation of activity in plume		Sheltering Use of potassium iodide Evacuation Ad hoc respiratory protection Control of access
4. Contamination of skin and clothes	Intermediate	Sheltering Evacuation Decontamination of persons
5. External radiation from ground deposition		Evacuation Relocation Decontamination of land and property
6. Ingestion of contaminated food and water	Late	Food and water controls
7. Inhalation of resuspended activity		Relocation Decontamination of land and property

Рисунок 3 – Шляхи опромінення, фази реагування на надзвичайні ситуації та захисні заходи.

3.6 Зони та дистанції надзвичайних ситуацій

Важливим елементом підготовки до надзвичайних ситуацій є встановлення зон та дистанцій надзвичайної ситуації, для яких передбачається планування та реалізація певних наборів захисних заходів та інших заходів відповідно до Стандартів безпеки МАГАТЕ [2] або аналогічних документів національного рівня. Таблиця 3 містить перелік та характеристики зон та дистанцій надзвичайних ситуацій, які вимагаються Міжнародними стандартами безпеки [2]. Зони та дистанції надзвичайних

ситуацій не повинні обмежуватись національними кордонами та повинні продовжуватись на територію сусідніх країн (див. Рисунок 4) де це доцільно.

Таблиця-3. Характеристики та призначення зон та дистанцій надзвичайних ситуацій [2]

Зона або дистанція	Типовий рекомендований радіус (км)	Примітки
Зона попереджувальних заходів (PAZ)	Від 3 до 5	Невідкладні захисні заходи для уникнення або зведення до мінімуму важких детерміністичних ефектів.
Зона планування невідкладних захисних заходів (UPZ)	30	Невідкладні захисні заходи спрямовані на запобігання високих доз опромінення населення (поза межами промайданчика) – див. Таблицю 3.2.
Дистанція розширеного планування (EPD)	Від 50 до 100	Дистанція на якій проводяться заходи для проведення моніторингу та визначення районів, що вимагають захисних заходів для зменшення ризику стохастичних ефектів.
Дистанція планування щодо перорального надходження та товарів (ICPD)	Від 100 до 300	Відстань, в межах якої застосовуються захисні заходи після оголошення генеральної надзвичайної ситуації – з метою зменшення ризику стохастичних ефектів серед населення та пом'якшення нерадіологічних наслідків.

3.6.1 Зона попереджувальних заходів

Зона попереджувальних дій (PAZ) - це територія навколо об'єкта, в межах якої застосовуються *невідкладні захисні заходи*, для уникнення або зведення до мінімуму важких детерміністичних ефектів. Захисні заходи в цій зоні повинні застосовуватись до або негайно після викиду, в першу чергу - на основі превалюючих умов на ядерному об'єкті. Дані радіаційного моніторингу навколишнього середовища в цей момент, як правило, відсутні.

З огляду на високий рівень ризику для здоров'я на території РАЗ, оптимальний захист буде досягнутий шляхом впровадження попереджувальних захисних заходів до початку викидів в навколишнє середовище. Тим не менше, дані моніторингу довкілля, отримані в межах РАЗ, дозволять визначити момент початку викидів, характеризувати параметри джерела та отримати перші уточнення попередніх оцінок радіологічного впливу на населення.

У країнах, які користуються нормативними документами США чи колишнього СРСР, поблизу ядерних об'єктів, як правило, визначають "зону відчуження"⁸ або "санітарно-захисну зону"⁹ на етапі проектування об'єкта. Підчас аварії на ЧАЕС санітарно-захисна зона забезпечила важливу затримку приходу радіоактивного шлейфа до населених пунктів та забезпечила його додаткове ослаблення в атмосфері.

⁸ У американському регулюванні (10 CFR part 100.3) зона відчуження визначається при проектуванні об'єкту і являє собою територію, що оточує ядерний реактор, де ліцензіат має повноваження визначати всі види діяльності. Цю ділянку можуть перетинати шосе, залізниця або водний шлях, за умови, що вони не настільки близькі до об'єкту, що перешкоджають нормальному функціонуванню об'єкта, і забезпечуються належні та ефективні заходи щодо контролю руху в разі надзвичайних ситуацій для захисту здоров'я та безпеки людини. Проживання в межах зони відчуження, як правило, забороняється. Мешканці підлягають відселенню, якщо це необхідно. Діяльність, яка не пов'язана з експлуатацією реактора, може бути дозволена в зоні відчуження за відповідних обмежень і за умови, що вона не призведе до значної небезпеки для здоров'я та безпеки людей.

⁹ У нормативно-правових актах колишнього СРСР (Санітарні правила проектування та експлуатації ядерних енергетичних реакторів, 1988 р.) проживання в санітарно-захисній зоні безумовно забороняється, та ліцензіат має повноваження визначати всі види діяльності.

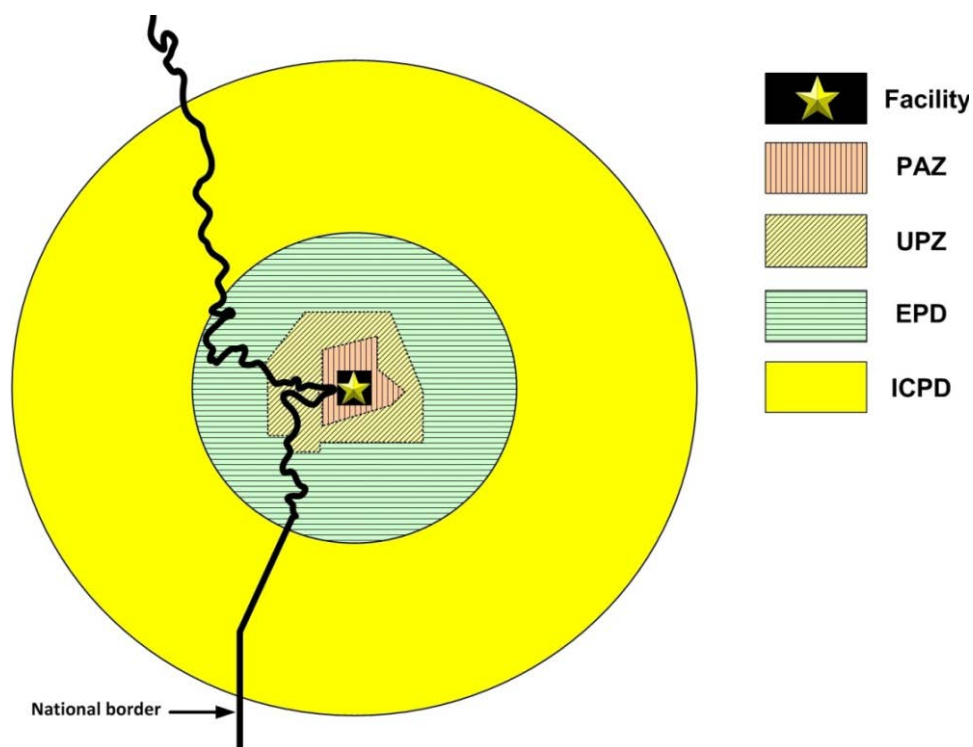


Рисунок 4 – Приклад зон та дистанцій надзвичайних ситуацій для об'єкта, який розташованого поблизу національного кордону.

3.6.2 Зона планування невідкладних захисних заходів

Зона планування невідкладних захисних заходів (UPZ) - це територія навколо об'єкта, в межах якої застосовуються заходи для запобігання доз населення вище за критеріїв, що рекомендовані міжнародними стандартами безпеки (Таблиця 3). Захисні дії у цій області повинні бути прийняті на основі моніторингу навколишнього середовища або діючих умов на об'єкті, у відповідних випадках.

Захисні дії, такі як евакуація, можуть бути надзвичайно дорогими та травматичними для населення. Захисні заходи також можуть бути пов'язані з додатковими ризиками для здоров'я, такими як стрес, дорожньо-транспортні пригоди, порушення нормальної діяльності медичних закладів та швидкої медичної допомоги. Отже, якщо прогнозований ризик впливу на здоров'я є низьким або помірним, запобіжний підхід, прийнятий для PAZ, може бути не виправданим поза межами PAZ.

3.6.3 Дистанція розширеного планування

Дистанція розширеного планування (EPD) – це відстань від об'єкта, на якій здійснюються заходи після оголошення загальної надзвичайної ситуації для проведення моніторингу та визначення місцевостей, що вимагають додаткових захисних заходів для зменшення ризику стохастичних ефектів у населення. Розмір EPD визначається для цілей планування. Як запобіжний захід, деякі невідкладні заходи можуть бути обґрунтовані в рамках EPD, щоб зменшити ризик стохастичних ефектів у населення.

3.6.4 Дистанція планування щодо перорального надходження та товарів

Дистанція планування щодо перорального надходження та товарів (ICPD) визначає відстані, від об'єкта, де здійснюються заходи щодо реагування після оголошення загальної надзвичайної ситуації для зменшення ризику стохастичних ефектів у населення та пом'якшення не радіологічних наслідків від розповсюдження, продажу та споживання продуктів харчування, молока та питної води. Також буде включено товари, крім продуктів харчування, які можуть бути забрудненими від значного викиду.

Як і EPD, ICPD також призначена для планування з метою підготовки до реалізації заходів щодо відстеження та контролю за товарами, включаючи сільського господарства для внутрішнього використання чи міжнародної торгівлі. Фактична площа, на якій будуть застосовуватися відповідні дії, буде визначена під час надзвичайної ситуації. Деякі невідкладні заходи можуть бути обґрунтовані в рамках ICPD для запобігання споживання продуктів харчування, молока чи питної води та запобігання використанню товарів, які, можливо, були забруднені після значного викиду.

3.7. Операційні рівні втручання

Обговорення вищезазначених зон та дистанцій надзвичайної ситуації підкреслює необхідність планування реагування на надзвичайні ситуації та розгляду можливих захисних заходів. СППР призначені для швидкого та ефективного збирання даних, щоб інформувати осіб, які приймають рішення щодо необхідних дій, а також місця та населення, до яких застосовуються

такі дії. Іншим інструментом, який може бути корисним особам, що приймають рішення, є встановлення системи заздалегідь визначених оперативних критеріїв у термінах величин, що можуть бути вимірні. Така система похідних операційних критеріїв/рівнів застосування захисних заходів може бути частиною загальної стратегії захисту при ядерних та радіологічних надзвичайних ситуаціях. Стандарти безпеки МАГАТЕ [2] (параграф 4.28 (4)) передбачають, що: *"Після того, як стратегія захисту була обґрунтована та оптимізована, і був розроблений ряд загальних критеріїв, попередньо встановлені операційних критерії (умови на місці, рівні надзвичайних дій та операційні рівні втручання (OILs)) для ініціювання різних частин плану на випадок надзвичайних ситуацій, а також для прийняття захисних заходів та інших заходів реагування повинні бути виведені з загальних критеріїв"*.

Для полегшення застосування OILs, МАГАТЕ пропонує узагальнені значення OILs (Рисунок 1.5). Ці значення OILs можуть бути використані при надзвичайній ситуації, якщо більш специфічні для країни чи місцевості критерії або національні СППР не доступні [10,11]. Узагальнені значення OILs дозволяють провести швидку оцінку даних моніторингу стосовно впливу надзвичайної ситуації на населення та необхідності застосування захисних заходів.

Встановлення місце- та сценарно-специфічних OILs може бути доцільним для багатьох ядерних установок, і це може бути здійснено в рамках підготовки до надзвичайних ситуацій на основі результатів передпроектних досліджень та радіологічних оцінок у рамках національної Стратегічної оцінки впливу на навколишнє середовище, або звичайної Оцінки впливу на навколишнє середовище об'єкта, що розглядається. При встановленні та застосуванні OILs слід враховувати наступні фактори:

- Швидкі зміни атмосферних умов та шляхів опромінення у часі та просторі;

- Просторовий розподіл радіоактивного забруднення в атмосфері та на поверхні;
- Неоднорідне забруднення навколишнього середовища, продуктів харчування, питної води, споживчих товарів, тощо;
- Щільність населення, землекористування, поведінкові фактори (такі як рівні споживання продуктів харчування, час, що проведений на вулиці, рекреаційні звички), місцеві²⁴ та адміністративні обмеження;
- Роль короткоживучих радіонуклідів;
- Можливість подальших викидів радіоактивних матеріалів;
- Процедури попередньої обробки та процедури усереднення даних моніторингу, які будуть порівнюватись з OILs;
- Репрезентативність даних моніторингу, використаних для порівняння з OILs;
- Соціально-економічні та матеріально-технічні фактори, які можуть вплинути на доцільність застосування конкретної захисної дії у визначений час.

²⁴ Наприклад, перевищення певного OILs на одній частині вулиці, чи населеного пункту не повинно призводити до часткового застосування захисних заходів у цій частині вулиці чи населеного пункту. Слід застосовувати усередненя вимірювань у часі та просторі, оскільки опромінення людини буде результатом такого усереднення.

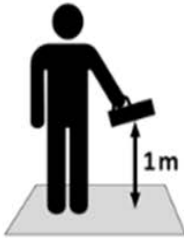


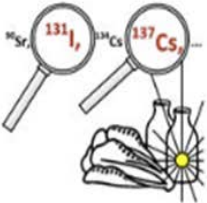

OIL	Default OIL value	Monitoring type
OIL1 _γ	1000 μSv/h	
OIL2 _γ	100 μSv/h (for the first 10 days after reactor shutdown ^a) 25 μSv/h (later than 10 days after reactor shutdown ^a or for spent fuel)	 <p>GROUND MONITORING Ambient dose equivalent rate at 1 m above ground level</p>
OIL3 _γ	1 μSv/h	
OIL4 _γ	1 μSv/h	 <p>SKIN MONITORING Ambient dose equivalent rate at 10 cm from the bare skin of the hand and face</p>
OIL4 _β	1000 cps	 <p>SKIN MONITORING Beta count rate at 2 cm from the bare skin of the hand and face (The use of OIL4_γ is preferable over OIL4_β)</p>
OIL7	1000 Bq/kg of I-131 and 200 Bq/kg of Cs-137	 <p>MONITORING OF FOOD, MILK AND DRINKING WATER SAMPLES Activity concentration of I-131 and Cs-137 in food, milk and drinking water samples</p>
OIL8 _γ	0.5 μSv/h	 <p>THYROID MONITORING Ambient dose equivalent rate in front of the thyroid in contact with the skin</p>

Рисунок 5 – Узагальнені OILs [11].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. IAEA, 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements No. GSR Part 3. Vienna: IAEA.
2. IAEA, 2015. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency: General Safety Requirements GSR Part 7. Vienna: IAEA.
3. ATSDR, 2005. Public Health Assessment Guidance Manual (2005 Update). Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
4. ICRP, 101a. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process. ICRP Publication 101, Part 1. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103. Oxford and New York: Pergamon Press.
5. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103. Oxford and New York: Pergamon Press.
6. UNSCEAR, 2006. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2006. New York: United Nations.
7. UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2010. Fifty-seventh Session, Includes Scientific Report: Summary of Low-dose Radiation Effects on Health. New York: United Nations.
8. ICRP, 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 21(1-3). Pergamon Press. Elmsford. New York.
9. ICRP, 1984. Nonstochastic Effects of Ionizing Radiation. ICRP Publication 41. Ann. ICRP 14 (3).
10. IAEA, 2011. Criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency : General safety guide / jointly sponsored by the Food and Agriculture Organization of the United Nations ... [et al.]. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011.
11. IAEA, 2018. Arrangements for the termination of a nuclear or radiological emergency: IAEA Safety Standards Series No. GSG-11— Vienna : International Atomic Energy Agency, 2018.
12. HERCA/WENRA. (2014). HERCA-WENRA Approach for better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident. Heads of the European Radiological protection Competent Authorities and Western European Nuclear Regulators Association. Stockholm: HERCA/WENRA.