

О. А. Миколайчук¹, Т. П. Кілочичька¹,
Н. В. Рибалка¹, З. М. Алексеева²,
С. М. Кондратьєв², О. В. Токаревський²

¹Державна інспекція ядерного регулювання України,
м. Київ, Україна

²Державний науково-технічний центр
з ядерної та радіаційної безпеки, м. Київ, Україна

Застосування принципів та критеріїв радіаційної безпеки в процесі переоцінки безпеки захоронення радіоактивних відходів у приповерхневих сховищах Державної корпорації «Радон»

Проаналізовано вимоги нормативних документів, відповідно до яких проектувалися та споруджувалися пункти захоронення радіоактивних відходів на майданчиках спеціалізованих комбінатів УкрДО «Радон», розглянуто підходи щодо застосування принципів та критеріїв радіаційної безпеки в процесі переоцінки безпеки цих пунктів.

Ключові слова: радіоактивні відходи, спеціалізовані комбінати УкрДО «Радон», переоцінка безпеки, критерії радіаційної безпеки.

**Е. А. Миколайчук, Т. П. Килоичькая, Н. В. Рыбалка,
З. М. Алексеева, С. Н. Кондратьев, А. В. Токаревский**

Применение принципов и критериев радиационной безопасности при переоценке безопасности захоронения радиоактивных отходов в приповерхностных хранилищах Государственной корпорации «Радон»

Проанализированы требования нормативных документов, в соответствии с которыми проектировались и сооружались пункты захоронения радиоактивных отходов на площадках специализированных комбинатов УкрГО «Радон», рассмотрены подходы по применению принципов и критериев радиационной безопасности при переоценке безопасности этих пунктов.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, специализированные комбинаты УкрГО «Радон», переоценка безопасности, критерии радиационной безопасности.

© О. А. Миколайчук, Т. П. Кілочичька, Н. В. Рибалка, З. М. Алексеева,
С. М. Кондратьєв, О. В. Токаревський, 2013

Державні міжобласні спеціалізовані комбінати (ДМСК) Державної корпорації «УкрДО «Радон» здійснюють збирання, транспортування радіоактивних відходів (РАВ) і відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання (ВДІВ), що утворюються на промислових підприємствах, у процесі науково-дослідницької діяльності та в сільському господарстві, та їх безпечне розміщення у спеціально призначених для цього сховищах.

Приповерхневі сховища твердих РАВ на майданчиках ДМСК споруджено в 60-х роках минулого століття за типовими проектами як пункти захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ), без наміру подальшого вилучення РАВ. Безпека приповерхневих сховищ досягається лише за умов, що РАВ, які захоронені у сховищах, містять в основному короткоіснуючі радіонукліди при обмеженні вмісту довгоіснуючих радіонуклідів, а проект сховища та його експлуатаційні регламенти забезпечують захист здоров'я людини і захист довкілля як на період експлуатації сховища, так і на довготривалий період після його закриття [1–3]. Проте захоронення у приповерхневі сховища на майданчиках ДМСК проводилося за критерієм потужності дози на поверхні РАВ без належного визначення радіонуклідного складу РАВ, а прогнозні оцінки довгострокових впливів ПЗРВ взагалі не виконувалися.

Відповідно до «Об'єднаної конвенції про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами» [4] кожна договірна сторона в установленому порядку повинна проаналізувати результати минулих практик, щоб визначити, чи потрібне певне втручання з точки зору радіаційного захисту людей. Передбачено, що для дотримання положень Об'єднаної конвенції переоцінюватиметься безпека історичних сховищ і, на підставі отриманих результатів, реалізовуватимуться необхідні коригуючі заходи [4].

Законом України «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами» [5] передбачено репрофілювати ДМСК на збирання та безпечне тимчасове зберігання РАВ у контейнерах. Заходи з репрофілювання ДМСК охоплюють, зокрема, вилучення РАВ із ПЗРВ, кондиціонування цих РАВ та подальшу їх передачу на майданчик комплексу виробництв «Вектор» у Чорнобильській зоні відчуження.

Оскільки неможливо одночасно вилучити РАВ з усіх ПЗРВ і такі роботи супроводжуватимуться радіаційним впливом на персонал, а можливо, й на населення та довкілля, для прийняття обґрунтованих рішень стосовно вилучення РАВ має бути переоцінена безпека ПЗРВ, розміщених на майданчиках кожного з ДМСК. Розглядаючи спорудження ПЗРВ як практичну діяльність у минулому, потрібно встановити, чи можливо (та на який час) за існуючого стану ПЗРВ гарантувати належний рівень безпеки відповідно до принципів та критеріїв забезпечення безпеки, визначених чинними нормативними документами України та документами МАГАТЕ [2, 6, 7]. За результатами переоцінки безпеки для кожного ПЗРВ мають бути прийняті рішення про термін, послідовність та варіанти вилучення РАВ або, як виняток, про недоцільність вилучення РАВ, та визначено конкретні коригуючі заходи з підвищення рівня безпеки (наприклад, посилення ефективності захисних властивостей верхнього накриття ПЗРВ, збільшення обсягів контролю).

Беручи до уваги, що вибір майданчиків ДМСК, проектування ПЗРВ та захоронення РАВ у ПЗРВ здійснювалися відповідно до вимог чинних на той час нормативних документів, одним з ключових питань є застосовність вимог

чинних на сьогодні регулюючих документів України та положень документів МАГАТЕ для переоцінювання безпеки ПЗРВ ДМСК. Далі наведено аналіз вимог нормативних документів, що діяли на момент проектування й спорудження ПЗРВ ДМСК, і принципів та критеріїв забезпечення безпеки стосовно захоронення РАВ у приповерхневих сховищах, встановлених чинними нормативними документами; розглянуто підходи до застосовності останніх у переоцінці безпеки ПЗРВ.

Норми радіаційної безпеки захоронення РАВ

Приблизно до 1956 року в колишньому СРСР діяли системи радіаційного захисту, які базувалися на концепції «порогової дози», нижче за яку не виникає шкоди здоров'ю людини. Такий підхід до забезпечення радіаційного захисту обґрунтовувався результатами наукових досліджень впливів достатньо великих доз рентгенівського випромінювання або випромінювання радіоактивних речовин, які призводили до пошкодження біологічної тканини (детерміністичні ефекти¹). Виходячи з цього, ранні системи радіаційного захисту спрямовувалися на обмеження доз опромінення професійних робітників, які безпосередньо контактують з джерелами іонізуючих випромінювань, до гранично допустимих рівнів, що не призводять до прояву детерміністичних ефектів.

На початку спорудження й експлуатації ПЗРВ на майданчиках ДМСК рівні опромінення регламентувалися «Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений: СП-333-60» [8], якими вводилися гранично допустимі рівні іонізуючих випромінювань (ПДУ-1960), а з 1969 року набрали чинності «Норми радіаційної безпеки: НРБ-69» (НРБ-69) [9]. На відміну від ПДУ-1960, у НРБ-69 було встановлено категорії опромінюваних осіб з урахуванням можливих наслідків впливів іонізуючих випромінювань на організм і того, що під радіаційний вплив може підпадати не тільки персонал, але й окремі контингенти населення поблизу атомних виробництв та установ з радіаційно-небезпечними технологіями. Виходячи з можливих генетичних і соматичних наслідків дії іонізуючих випромінювань на організм та чисельності окремих груп населення, в НРБ-69 регламентувалися гранично допустимі річні дози для таких категорій опромінюваних осіб: категорія «А» (персонал) — 5 бер (50 мЗв); категорія «Б» (окремі особи з населення) — 0,5 бер (5 мЗв); категорія «В» (населення в цілому), з оцінкою генетичних наслідків опромінення, — 5 бер за 30 років. НРБ-69 регламентують також вміст радіоактивних речовин у воді, атмосферному повітрі та повітрі робочих приміщень.

Крім детерміністичних ефектів, внаслідок дії іонізуючих випромінювань можуть виникати стохастичні шкідливі для здоров'я людини ефекти, які не мають дозового порога. Ймовірність виникнення таких ефектів пропорційна дозі, а тяжкість їх прояву не залежить від одержаної дози.

¹ Детерміністичні ефекти — шкідливі біологічні ефекти, які виникають внаслідок дії іонізуючого випромінювання та виявляються клінічно. Передбачається існування порога, нижче за який ефект відсутній, а вище — тяжкість ефекту залежить від дози опромінення. До 1956 року основна допустима тижнева доза становила 0,3 бер (3 мЗв), а отже, допустима сумарна доза дорівнювала 750 бер (7,5 Зв) в разі професійного опромінення протягом 50 років (50 тижнів на рік).

На уявленні про «безпороговий» характер впливів іонізуючого випромінювання сформульовано принцип обмеження опромінення розумно досяжними рівнями (ALARA), який було включено до Норм радіаційної безпеки в 1976 році (НРБ-76), що уточнювалися в 1987 році (НРБ-76/87) [10] і діяли в Україні до 1997 року.

НРБ-76/87 [10], як НРБ-69, регламентували опромінення трьох категорій опромінюваних осіб: А — персонал; Б — обмежена частина населення; В — населення області, краю, республіки, країни. «Розумна досяжність» системи радіаційної безпеки ґрунтувалася на концепції практичного порога дії іонізуючого випромінювання, нижче за який не можна було достовірно виявити радіологічні ефекти на фоні наявної захворюваності та смертності населення.

Від початку впровадження нормування радіаційного навантаження безпечний рівень опромінення постійно переглядався та зменшувався. Сучасні норми радіаційної безпеки, рекомендовані МАГАТЕ у 1990-х роках, прийняті більшістю країн світу, зокрема й Україною. В 1997 році в Україні набрав чинності документ «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» [6] та дещо пізніше — «Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000)» [7]. НРБУ-97 розроблено на основі рекомендацій Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ), Міжнародних основних норм безпеки для захисту від іонізуючих випромінювань та безпеки джерел випромінювання [11].

Порівняно з попередніми НРБ-76/87, у НРБУ-97 [6] введено дві групи осіб, які зазнають опромінювання: персонал та населення, причому персонал поділяється на персонал категорії А, який безпосередньо працює з джерелами іонізуючого випромінювання, та персонал категорії Б, робота якого безпосередньо не пов'язана з джерелами іонізуючого випромінювання, але у зв'язку з розташуванням робочих місць на майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями може отримувати додаткове опромінення. Для категорій осіб, які зазнають опромінення, введено ліміти ефективної дози: для персоналу категорії А — 20 мЗв/рік; для персоналу категорії Б — 2 мЗв/рік; для категорії В (населення) — 1 мЗв/рік. Крім цього, додатково до регламентів НРБУ-97 [6], що обмежують поточне² опромінення персоналу та населення в умовах практичної діяльності, НРБУ-97/Д-2000 [7] визначено радіаційно-гігієнічні регламенти щодо обмеження потенційного³ опромінення (референтні рівні доз та ризиків потенційного опромінення, а також референтні ймовірності критичних подій).

Введені НРБУ-97 та НРБУ-97/Д-2000 гігієнічні регламенти спрямовані як на запобігання виникненню детерміністичних ефектів у осіб, що зазнали опромінення, так і на обмеження на прийнятному рівні ймовірності виникнення стохастичних ефектів.

Радіаційна безпека та протирадіаційний захист мають базуватися на основних принципах протирадіаційного захисту: виправданості, неперевищення та оптимізації.

² Поточне опромінення — заплановане опромінення персоналу та населення, яке в межах запланованого проектом технологічного процесу завжди супроводжує (або з великою ймовірністю може супроводжувати) практичну діяльність [7].

³ Потенційне опромінення — опромінення персоналу та населення, що розглядається в процесі проектування практичної діяльності і реалізується безпосередньо після деякої непередбаченої нормальним технологічним процесом критичної події, ймовірність виникнення якої не перевищує $1 \cdot 10^{-2} \text{ рік}^{-1}$ [7].

Цілі та принципи безпеки захоронення РАВ

У нормативних документах України, що діяли до 2000 року, визначенню цілей і принципів безпеки захоронення РАВ, а також питанням захисту здоров'я майбутніх поколінь приділялося мало уваги. На сьогодні цілі, принципи та критерії безпечного захоронення РАВ, зокрема вимоги щодо забезпечення захисту майбутніх поколінь, сформульовано в документах [7, 12].

Цілі та принципи безпеки, відповідно до яких споруджувалися ПЗРВ на майданчиках ДМСК. ПЗРВ ДМСК споруджувалися відповідно до санітарного законодавства, зокрема діючих на той час документів [8, 13], які регламентували допустимі рівні професійного опромінення людини. «Санітарні правила сбора, удаления и захоронения радиоактивных отходов» (СП-477-64) [13] містили також загальні вимоги до остаточного захоронення РАВ, зокрема до розміщення майданчика та облаштування ПЗРВ.

Пізніше в колишньому СРСР, крім НРБ-69, НРБ-76, НРБ-76/87, набули чинності «Основні санітарні правила роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючих випромінювань (ОСП-72/80)» [14] та «Санітарні правила поводження з радіоактивними відходами (СПОРО-85)» [15]. Останні є чинними і зараз у частині, що не суперечить іншим чинним нормативним документам України більш високого рівня.

Цілі та принципи безпеки стосовно захоронення РАВ у діючих на період спорудження ПЗРВ ДМСК нормативних документах не були чітко визначені. Вимоги СП-333-60 [8] в основному спрямовувалися на забезпечення неперевищення допустимих рівнів професійного опромінення людини згідно з ПДУ-1960. І хоча вимоги СП-477-64 до розміщення й облаштування ПЗРВ [13] скеровувалися на забезпечення ізоляції РАВ від навколишнього середовища і, відповідно, на обмеження опромінення населення, відповідні допустимі рівні опромінення населення від впливу ПЗРВ не встановлювалися.

Щоб зменшити ризики, пов'язані з опроміненням населення внаслідок діяльності підприємств та організацій, які ведуть роботи з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого опромінення, відповідно до вимог НРБ-69, НРБ-76, НРБ-76/87, захист населення мав забезпечуватися введенням санітарно-захисної зони (СЗЗ) навколо підприємств/організацій, а також зони спостереження (ЗС)⁴. У цих зонах обов'язково мала систематично контролюватися радіаційна обстановка. За результатами такого контролю оцінювалася доза опромінення населення у ЗС, а також оперативно фіксувалися всі випадки погіршення радіаційної обстановки через порушення нормального технологічного процесу або аварію з метою своєчасного застосування необхідних заходів.

Розміри СЗЗ та ЗС встановлювалися адміністративним рішенням виходячи з критеріїв гранично допустимого надходження радіоактивних речовин через органи дихання та травлення і лімітів доз зовнішнього опромінення для обмеженої частини населення, а також допустимої концентрації радіоактивних речовин в атмосферному повітрі та повітрі виробничих приміщень.

У санітарно-захисній зоні заборонялося розміщення житла, промислових та інших об'єктів, що не відносилися

⁴ Зона спостереження — територія навколо радіаційно-небезпечного об'єкта, при проживанні в межах якої дози опромінення населення можуть перевищувати визначені нормами радіаційної безпеки ліміти дози.

до підприємства, для якого встановлюється СЗЗ. Використання земель СЗЗ під потреби сільського господарства дозволялося лише за рішенням санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я (МОЗ).

Цілі та принципи безпеки захоронення РАВ згідно з чинним законодавством. Відповідно до чинного законодавства України [7, 12], захороненням РАВ у приповерхневих сховищах мають досягатися такі цілі безпеки:

захист здоров'я людини та довкілля протягом періоду потенційної небезпеки РАВ (відповідно до принципів та критеріїв радіаційної безпеки);

ізоляція РАВ від доступного для людини середовища, без розрахунку на можливість підтримання прийдешніми поколіннями ефективності системи захоронення.

Цілі безпеки захоронення РАВ у приповерхневих сховищах мають досягатися спільною дією взаємодоповнюючих інженерних та природних бар'єрів системи захоронення (принцип багатобар'єрного захисту), основну роль у якій відіграють інженерні бар'єри. При цьому не слід покладатися лише на один бар'єр або на його окрему функцію [12].

Після закриття сховища безпека забезпечується пасивними системами — за рахунок характеристик майданчика та інженерних бар'єрів (конструкції сховища й упаковки РАВ) [12].

Для впевненості в належному захисті здоров'я людини і довкілля після закриття сховища, а також з метою запобігання несанкціонованому вторгненню людини в тіло захоронених РАВ, передбачається адміністративний контроль — активний (обслуговування, моніторинг і, за потреби, проведення коригувальних дій) та пасивний (збереження інформації про сховище, обмеження на землекористування та види господарської діяльності).

Для приповерхневих сховищ РАВ застосовуються основні принципи протирадіаційного захисту [6,7], зокрема стосовно населення (критичні групи населення), що може зазнати опромінення внаслідок експлуатації сховища та у віддалений період після його закриття, а саме:

принцип неперевищення — всі види діяльності, пов'язані із захороненням РАВ, не повинні призводити:

до доз, що перевищують середньорічні дозові квоти поточного опромінення населення, визначені НРБУ-97 [6];

до доз та ймовірностей потенційного опромінення населення, що перевищують значення відповідних регламентів, визначених НРБУ-97/Д-2000 [7];

принцип оптимізації — мають бути докладені всі зусилля для зниження настільки, наскільки це можливо та практично досяжно з урахуванням економічної та соціальної доцільності:

доз поточного опромінення населення в інтервалі значень, нижчих за середньорічні дозові квоти;

ймовірності реалізації критичних подій в інтервалі значень, нижчих за референтні ймовірності критичних подій;

доз потенційного опромінення населення в інтервалі значень, нижчих за референтні дозові рівні.

Згідно з вимогами НРБУ-97/Д-2000 [7], за всіх видів діяльності, пов'язаної із захороненням РАВ, мають бути реалізовані заходи з мінімізації доз опромінення персоналу і населення в рамках двох часових інтервалів:

на весь період, що передує звільненню захоронення РАВ від регулюючого контролю;

після звільнення захоронення РАВ від регулюючого контролю.

З метою захисту майбутніх поколінь людей від опромінення внаслідок існування РАВ, НРБУ-97/Д-2000 [7]

встановлює *додатковий принцип* обмеження потенційного опромінення після звільнення захоронення РАВ від регулюючого контролю: заподіяна шкода для здоров'я майбутніх поколінь не повинна перевищувати такої величини, яка відповідає значенню ризику, що ігнорується ($5 \cdot 10^{-7}$ рік⁻¹).

Застосування чинних вимог щодо відповідності цілям та принципам безпеки. Як бачимо, цілі та принципи безпеки, визначені чинним законодавством України, значно відрізняються від цілей та принципів, що застосовувалися в період спорудження та перші роки експлуатації пунктів захоронення радіоактивних відходів.

Переоцінюючи рівень безпеки ПЗРВ з метою прийняття обґрунтованого рішення щодо доцільності, оптимальних термінів та послідовності вилучення РАВ із ПЗРВ (у разі прийняття такого рішення), слід проаналізувати, чи відповідає існуючий стан ПЗРВ визначеним чинним законодавством цілям та принципам безпеки з урахуванням того, що цілі безпеки стосовно захисту здоров'я людини та довкілля, а також ізоляції РАВ мають застосовуватися до ПЗРВ у повному обсязі.

Для цього потрібні прогнози розрахунки впливів сховища на весь період потенційної небезпеки розміщених у сховищі РАВ виходячи з того, що тривалість активного контролю має обмежуватися певним терміном (принцип пасивної безпеки).

Оскільки система інженерних і природних бар'єрів ПЗРВ вже існує, принцип багатобар'єрного захисту не може повною мірою застосовуватися до наявних ПЗРВ. Тому в процесі переоцінки безпеки слід встановити, протягом якого часу можна гарантувати належний рівень безпеки ПЗРВ, тобто дотримання визначених чинними нормативними документами радіологічних критеріїв безпеки (взявши до уваги, що ПЗРВ відносяться до минулої практичної діяльності). По завершенню цього терміну РАВ мають бути вилучені з ПЗРВ. До вилучення РАВ із ПЗРВ, як компенсуючі заходи, рекомендується забезпечувати в збільшеному обсязі:

підсилення ефективності та підтримку надійного верхнього накриття ПЗРВ;

моніторинг стану бар'єрів ПЗРВ та навколишнього середовища.

За результатами переоцінок безпеки ПЗРВ, зокрема за прогнозними розрахунками доз для осіб з критичних груп населення на довготривалий термін після закриття ПЗРВ, регулюючий орган може прийняти рішення й про недоцільність вилучення РАВ із ПЗРВ для їх переміщення в інші сховища.

Радіологічні критерії безпеки

Впливи на населення від існування ПЗРВ пов'язані з надійністю ізоляції РАВ від довкілля системою природних і штучних бар'єрів. Тому, переоцінюючи безпеку наявних ПЗРВ та приймаючи рішення про вилучення з них РАВ, потрібно продемонструвати неперевищення встановлених нормами радіаційної безпеки меж опромінення населення — як за нормальних умов, так і в разі екстремальних природних подій (землетруси, повені, урагани тощо) чи аварійних ситуацій. Розглянемо встановлені в нормативних документах радіологічні критерії безпеки для населення, які слугуватимуть основними критеріями оцінки в процесі переоцінювання рівня безпеки ПЗРВ.

Радіологічні критерії безпеки для захоронення РАВ згідно із законодавством колишнього СРСР. У чинних на період спорудження та початку експлуатації ПЗРВ ДМСК нормах радіаційної безпеки (зокрема, НРБ-76/87) було визначено основний дозовий ліміт 5 мЗв/рік для обмеженої частини населення (категорія Б), яке безпосередньо не працює з радіоактивними речовинами, але за умовами проживання або розміщення робочих місць може підпадати під вплив іонізуючого випромінювання. Належність до категорії Б визначалася за критичною групою, до якої відносили людей, що можуть проживати у СЗЗ та ЗС. Опромінення населення категорії Б обмежувалося регламентацією або контролем радіоактивності об'єктів навколишнього середовища (води, повітря, харчових продуктів та ін.). Для решти населення (категорія В) ліміт дози не був встановлений. Вважалося, що воно зазнає опромінення значно меншого, ніж населення категорії Б, оскільки проживає на значно більшій відстані від радіаційно-небезпечного об'єкта.

Радіологічні критерії безпеки для захоронення РАВ згідно з чинним законодавством України. За чинним законодавством України, все населення належить до категорії В. Для населення встановлено ліміт дози 1 мЗв/рік внаслідок опромінення від усіх індустриальних джерел іонізуючого випромінювання.

Захоронюють РАВ за регламентами щодо обмеження в процесі практичної діяльності поточного опромінення відповідно до НРБУ-97 [6, розділ 5] та потенційного опромінення відповідно до НРБУ-97/Д-2000 [7]. Розподілення опромінення на поточне та потенційне проводиться відповідно до референтного значення ймовірності критичної події (10^{-2} /рік), що його спричинює. Регламенти щодо поточного та потенційного опромінення встановлено для двох часових інтервалів: на період регулюючого контролю та після звільнення від регулюючого контролю.

ПЗРВ розглядається як окреме джерело випромінювання, опромінення населення від якого обмежується значеннями квоти від ліміту дози поточного опромінення, а саме:

в період збереження регулюючого контролю — **0,04 мЗв/рік** (за рахунок повітряного та водного шляхів формування дози);

після звільнення від регулюючого контролю — **0,01 мЗв/рік**.

Для обмеження потенційного опромінення встановлено значення референтних ймовірностей критичних подій та доз потенційного опромінення для населення на період ведення регулюючого контролю та на період після звільнення від контролю:

а) в період здійснення регулюючого контролю доза потенційного опромінення в разі реалізації критичної події не повинна перевищувати **50 мЗв**, якщо ймовірність критичної події не менша за **$2 \cdot 10^{-5}$ /рік**. Ймовірність критичних подій, внаслідок яких за короткий час можуть реалізуватися летальні дози опромінення, не повинна перевищувати **$5 \cdot 10^{-7}$ /рік**;

б) після звільнення захоронень РАВ від регулюючого контролю доза потенційного опромінення не повинна перевищувати **1 мЗв/рік**. З урахуванням максимального значення ймовірності критичної події 10^{-2} /рік, це відповідає значенню ризику $5 \cdot 10^{-7}$ /рік, яким можна знехтувати [7];

в) за спеціальним регулюючим рішенням допускається підвищення дози потенційного опромінення до 50 мЗв/рік. З урахуванням ймовірності критичної події 10^{-2} /рік це відповідає значенню прийнятного ризику $5 \cdot 10^{-5}$ рік⁻¹.

Вимоги МАГАТЕ до минулої практичної діяльності із захоронення РАВ у приповерхневих сховищах. У багатьох країнах існують приповерхневі сховища для захоронення РАВ, які створювалися понад 40—50 років тому та для яких довгострокова безпека не була продемонстрована [16]. Визнано, що минула практика захоронення в приповерхневих сховищах, зокрема захоронення певних типів РАВ та ВДІВ, неприйнятних для захоронення у приповерхневих сховищах, не відповідає сучасній концепції забезпечення безпеки та вимагатиме певних коригуючих дій [3, 16].

Як критерій безпеки, МАГАТЕ [2] рекомендує застосувати для окремого сховища обмеження дози 0,3 мЗв/рік або обмеження, обумовлене ризиком порядку 10^{-5} /рік, які не повинні перевищуватися в майбутньому внаслідок імовірних природних подій і процесів. До ситуації ненавмисного після закриття сховища вторгнення в тіло РАВ застосовуються критерії щодо виправданості втручання [17—20]. Якщо за розрахунковими оцінками доза в ситуаціях вторгнення людини в тіло РАВ для осіб з населення, що проживає поблизу майданчика сховища, не перевищуватиме 1 мЗв/рік, вважається невиправданим застосовувати будь-які заходи з підвищення рівня безпеки. Якщо очікується перевищення річної дози у 20 мЗв/рік, розглядають можливі заходи щодо підвищення рівня безпеки історичних сховищ. Якщо очікувані дози лежать в інтервалі 1—20 мЗв, вважається виправданим вживати заходи, які спрямовані на зниження ймовірності ненавмисного вторгнення або сприятимуть обмеженню наслідків такого вторгнення, наприклад завдяки оптимізації конструкції установки захоронення, подовження тривалості регулюючого контролю, вилучення окремих типів РАВ із сховища.

Застосування до ПЗРВ чинних радіологічних критеріїв із захоронення РАВ. Критерії радіологічного захисту населення, які були встановлені НРБ-69, НРБ-76, НРБ-76/87 та діяли на момент спорудження ПЗРВ на майданчиках ДМСК, значно відрізняються від установлених чинними нормативними документами. Переоцінюючи безпеку «історичних» ПЗРВ необхідно визначити, чи дотримуються вимоги діючих на сьогодні нормативних документів. Іншими словами, за радіологічні критерії безпеки в процесі переоцінювання рівня безпеки ПЗРВ мають використовуватися саме визначені чинними нормами регламенти, які обмежують дози поточного і потенційного опромінення [6, 7].

Чинні радіологічні критерії безпеки використовують таким чином.

У період до звільнення від регулюючого контролю як критерії безпеки застосовуються визначені НРБУ-97/Д-2000 [7]:

квота річної ефективної дози поточного опромінення населення — 0,04 мЗв/рік для окремого ПЗРВ;

референтні ймовірності критичних подій та дози потенційного опромінення населення з урахуванням сукупності всіх ПЗРВ на майданчику.

На період після звільнення ПЗРВ від регулюючого контролю використовують такі обмеження доз опромінення:

доза поточного опромінення населення для окремого ПЗРВ — 0,01 мЗв/рік;

доза потенційного опромінення населення з урахуванням всіх ПЗРВ на майданчику ДМСК — 1 мЗв/рік.

Якщо за прогнозними оцінками ці радіологічні критерії дотримуються, «історичний» ПЗРВ задовольняє вимогам чинних нормативних документів з протирадіаційного захисту, тобто РАВ з ПЗРВ можуть не вилучатися.

РАВ обов'язково вилучаються з ПЗРВ, якщо виконуються хоча б одна з таких умов:

а) доза поточного опромінення населення для окремого ПЗРВ вища за 0,01 мЗв/рік;

б) доза потенційного опромінення населення вища за 50 мЗв/рік.

Якщо за прогнозними розрахунковими оцінками доза поточного опромінення не перевищує 0,01 мЗв/рік, а доза потенційного опромінення лежить в інтервалі 1—50 мЗв/рік, допускається розглядати такі можливі варіанти: вилучення всіх РАВ з ПЗРВ; підвищення рівня безпеки ПЗРВ, наприклад частковим вилученням найнебезпечніших РАВ або покращенням ефективності ізолюючих та утримувальних функцій інженерних бар'єрів.

Зазначимо, що НРБУ-97/Д-2000 визначає дві групи критичних подій, які можуть призвести до потенційного опромінення населення після звільнення сховища від регулюючого контролю [7]:

події, пов'язані з природними процесами та явищами, числові значення ймовірності виникнення яких можуть бути оцінені на підставі аналізу інформації про навколишнє середовище та інженерно-конструкційні особливості сховища;

події, пов'язані з ненавмисним вторгненням людини в тіло сховища.

Оскільки оцінка ймовірностей критичних подій, що стосуються ненавмисного вторгнення людини, є ускладненою, в [12] запропоновано під час оцінювання рівня безпеки ПЗРВ на період після звільнення від регулюючого контролю застосовувати регламенти потенційного опромінення населення, встановлені НРБУ-97/Д-2000 [7], у такий спосіб: наслідки реалізації малоімовірних природних руйнівних подій порівнювати з регламентом **1 мЗв/рік** (відповідає значенню ризику $5 \cdot 10^{-7}$ /рік). З урахуванням невизначеностей прогнозних оцінок на далеке майбутнє, радіаційний захист прийдешніх поколінь по відношенню до ненавмисного вторгнення розглядати забезпеченим, якщо оцінені дози лежать в інтервалі від **1 мЗв/рік** до **50 мЗв/рік** (ризик для здоров'я людини знаходяться в межах від $5 \cdot 10^{-7}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ /рік). Якщо значення ризику перевищує $1 \cdot 10^{-6}$ /рік, але менше за $5 \cdot 10^{-5}$ /рік, рішення щодо необхідності реалізації заходів для подальшого зниження ризиків рекомендується приймати з урахуванням їх економічної виправданості, при цьому ризик $5 \cdot 10^{-7}$ /рік розглядати як цільове значення.

Враховуючи, що ПЗРВ відносяться до минулої практичної діяльності, доцільно розглянути можливість застосування радіологічних критеріїв, рекомендованих міжнародними документами, зокрема рекомендовано [2, 17] обмеження дози 0,3 мЗв/рік (відповідне обмеження, обумовлене ризиком порядку 10^{-5} /рік) для приповерхневого сховища як окремого джерела опромінення.

Висновок

Враховуючи заплановане перепрофілювання ДМСК на збирання та тимчасове зберігання РАВ, запропоновано підходи до використання принципів і критеріїв радіаційного захисту в прийнятті рішення щодо доцільності вилучення РАВ із ПЗРВ.

Цілі безпеки стосовно захисту здоров'я людини та навколишнього природного середовища, а також ізоляції РАВ повинні застосовуватися до ПЗРВ у повному обсязі.

Мають бути проведені прогностичні розрахунки впливів сховища на період потенційної небезпеки РАВ, що розміщені у сховищі, за умови, що тривалість активного контролю не перевищуватиме певного часу (принцип пасивної безпеки).

Оскільки система інженерних і природних бар'єрів ПЗРВ вже існує, принцип багатобар'єрного захисту не може повною мірою застосовуватися до наявних ПЗРВ. Тому в процесі переоцінки безпеки треба встановити, чи можливо та на який термін гарантувати дотримання визначених чинними нормативними документами радіологічних критеріїв безпеки (з урахуванням того, що ПЗРВ відносяться до минулої практичної діяльності).

Для переоцінки безпеки ПЗРВ та прийняття рішення щодо доцільності (недоцільності) вилучення РАВ з ПЗРВ за критерії оцінки використовуються радіаційно-гігієнічні регламенти обмеження поточного та потенційного опромінення населення, визначені НРБУ-97 та НРБУ-97/Д-2000.

Запропоновано для історичних майданчиків захоронення РАВ розглянути доцільність застосування радіологічних критеріїв, рекомендованих МАГАТЕ, зокрема обмеження дози 0,3 мЗв/рік (відповідне обмеження, обумовлене ризиком порядку 10^{-5} /рік) для сховища РАВ як окремого джерела опромінення.

Список використаної літератури

1. Classification Of Radioactive Waste: IAEA Safety Standards Series No. GSG-1. — 2009.
2. Disposal of Radioactive Waste Specific Safety Requirements / IAEA, SSR-5. — 2011.
3. Upgrading of Near Surface Repositories for Radioactive Waste: TRS No. 433 / IAEA. — 2005.
4. Закон України «Про ратифікацію Об'єднаної конвенції про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами» від 20.04.2000 № 1688-III.
5. Закон України «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами».
6. Державні гігієнічні нормативи. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).
7. ДГН 6.6.1.—6.5.061—2000. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000).
8. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений (СП-333—60). — Утвержд. главным гос. сан. инспектором СССР 25.06.1960.
9. Нормы радиационной безопасности НРБ-69 (НРБ-69).
10. Нормы радиационной безопасности: НРБ-76/87. — Утвержд. главным гос. сан. врачом СССР 26.05.1987 № 4392—87.
11. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources: Safety Series N 115. — IAEA, 1996.
12. Вимоги до вибору майданчика для розміщення сховищ для захоронення радіоактивних відходів (НП 306.4.149—2008).
13. СП-477—64. Санитарные правила сбора, удаления и захоронения радиоактивных отходов.
14. Основні санітарні правила роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючих випромінювань (ОСП-72/80).
15. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85): СанПиН 42—129—11—3938—85. — Утв. Минздравом СССР.
16. Surveillance And Monitoring Of Near Surface Disposal Facilities For Radioactive Waste — IAEA, 2004. — Safety Reports Series No. 35.
17. International Commission On Radiological Protection, Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste: Publication 77. — Pergamon Press, Oxford and New York, 1997.
18. Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste: Publication 81 / International Commission On Radiological Protection. — Pergamon Press, Oxford and New York, 1998.
19. The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: Publication 103 / International Commission On Radiological Protection. — Elsevier, 2007.
20. Kozak, M. W. Position Paper on the Assessment of Mixed Practice-Intervention Situations Associated with Near-Surface Radioactive Waste Disposal Facilities: ASAM discussion paper. — Vienna: IAEA, 2004.

Отримано 04.04.2013.