

Методичні аспекти системного аналізу захоронення радіоактивних відходів на майданчику «Вектор» у Чорнобильській зоні відчуження

За державними програмами на майданчику «Вектор» у Чорнобильській зоні відчуження передбачається захоронити та розмістити на довготривалі зберігання радіоактивні відходи з підприємств України та забруднених від Чорнобильської аварії територій. Цю складну багатофакторну та розподілену за часом задачу необхідно вирішувати на основі системного аналізу, розглядаючи майданчик «Вектор» у цілому для кожного нового сховища.

У статті розглядаються методологічні аспекти радіологічного характеру, які можуть бути використані в процесі системного аналізу захоронення короткоіснуючих низько- та середньоактивних відходів на майданчику «Вектор».

Ключові слова: захоронення радіоактивних відходів, майданчик «Вектор», сховище, радіологічний вплив, зона обмеженого доступу, радіаційно-гігієнічні регламенти.

Е. А. Миколайчук, С. Н. Кондратьев

Методические аспекты системного анализа радиоактивных отходов на площадке «Вектор» в Чернобыльской зоне отчуждения

Согласно государственным программам на площадке «Вектор» в Чернобыльской зоне отчуждения предполагается захоронить и разместить на долговременное хранение радиоактивные отходы с предприятий Украины и загрязненных от Чернобыльской аварии территорий. Эту сложную многофакторную и распределенную по времени задачу необходимо решать на основе системного анализа, рассматривая площадку «Вектор» в целом для каждого нового хранилища.

В статье рассматриваются методологические аспекты радиологического характера, которые могут быть использованы в процессе системного анализа захоронения краткосуществующих, низко- и среднеактивных отходов на площадке «Вектор».

Ключевые слова: захоронение радиоактивных отходов, площадка «Вектор», хранилище, радиологический влияние, зона ограниченного доступа, радиационно-гигиенические регламенты.

© О. А. Миколайчук, С. М. Кондратьев, 2012

Загальнодержавна цільова екологічна програма поводження з радіоактивними відходами», затверджена Законом України від 17.09.2008 № 516-VI [1], передбачає створення цілісної системи поводження з радіоактивними відходами (РАВ), яка має охоплювати всі стадії поводження з РАВ від їх утворення до захоронення.

В [1] розглянуто різні варіанти створення цілісної системи поводження з РАВ. Визначено, що найоптимальнішим для України і таким, що відповідає принципам безпечного поводження з РАВ, є так званий третій (комплексний) варіант. Цей варіант передбачає:

попередню обробку та кондиціонування РАВ на майданчику підприємств, на яких РАВ утворюються, або на установках спецпідприємств у відповідних регіонах;

захоронення кондиційованих низько- та середньоактивних РАВ (НСАВ) у приповерхневих сховищах;

довготривале зберігання довгоіснуючих та високоактивних РАВ (ВАВ) з подальшим захороненням їх у геологічному сховищі.

Короткоіснуючі НСАВ планується захоронювати у приповерхневих сховищах на майданчику комплексу виробництв «Вектор» (майданчик «Вектор»), розташованого у Чорнобильській зоні відчуження.

Комплекс виробництв з поводження з РАВ на майданчику «Вектор» створюється у дві черги на підставі затверджених техніко-економічних обґрунтувань (ТЕО):

І черга — об'єкти для захоронення короткоіснуючих НСАВ чорнобильського походження (РАВ забруднених територій та РАВ з Чорнобильської АЕС); ТЕО І черги затверджено у 1997 р.;

ІІ черга — об'єкти для захоронення короткоіснуючих НСАВ всіх інших АЕС України та підприємств «Радон»; ТЕО ІІ черги затверджено у 2009 р.

Крім того, ТЕО ІІ черги комплексу виробництв «Вектор» передбачає створення сховищ для довготривалого (до 100 років) зберігання довгоіснуючих НСАВ та ВАВ, потужностей для переробки та кондиціонування РАВ, а також необхідної інфраструктури.

У даній статті розглядаються лише питання захоронення НСАВ на майданчику «Вектор».

Об'єми короткоіснуючих НСАВ, які планується захоронити на майданчику «Вектор», орієнтовно оцінюються 1 000 000 м³. Для захоронення їх передбачено побудувати низку сховищ різних типів, з розміщенням у них НСАВ у контейнерах або первинних упаковках або навалом. На сьогодні на майданчику «Вектор»:

побудовано та прийнято в експлуатацію спеціально обладнане приповерхнє сховище короткоіснуючих НСАВ (СОПСТРВ) об'ємом 50 тис. м³ для захоронення кондиційованих НСАВ ЧАЕС;

завершується будівництво двох сховищ для захоронення НСАВ чорнобильського походження (сховище типу ТРВ-1 об'ємом 11,2 тис. м³ для захоронення НСАВ у контейнерах та сховище типу ТРВ-2 об'ємом 9,2 тис. м³ для захоронення НСАВ навалом).

Загальнодержавною цільовою екологічною програмою поводження з радіоактивними відходами [1] на період до 2017 р. передбачено будівництво ще 21 сховища типів ТРВ-1 та ТРВ-2 та одного сховища типу ТРВ-2-1 об'ємом 18 тис. м³ для захоронення короткоіснуючих НСАВ діючих АЕС та підприємств «Радон».

Згідно з державними програмами передбачається розмістити на майданчику «Вектор» практично всі РАВ з підприємств України та забруднених від Чорнобильської аварії територій. Очевидно, цю складну багатофакторну

та розподілену за часом задачу необхідно вирішувати на основі системного аналізу, розглядаючи при створенні кожного нового сховища майданчик «Вектор» у цілому та враховуючи як ті сховища, що експлуатуються, так і ті, що плануються до розміщення на майданчику в майбутньому, відповідно враховуючи всі прогнозовані потоки РАВ.

Досвід ліцензування перших сховищ для захоронення короткоіснуючих НСАВ (СОПСТРВ, ТРВ-1 та ТРВ-2) показав, що, на жаль, такий системний аналіз не проводився, відсутня не тільки його методологія, але й не визначені навіть підходи для проведення такого системного аналізу.

Проект та аналіз довготривалої безпеки кожного окремого сховища виконується, базуючись на припущенні, що на період до 300 років після закриття сховища, а також після його звільнення (повного або обмеженого) від регулюючого контролю, на майданчику «Вектор» існуватиме лише це сховище, без врахування можливого розміщення будь-яких інших сховищ на майданчику.

У даній статті розглядаються окремі методологічні аспекти, в основному аспекти радіологічного характеру для періоду після звільнення захоронених РАВ від регулюючого контролю, які можуть бути використані в системному аналізі захоронення короткоіснуючих НСАВ на майданчику «Вектор» у цілому.

Обмеження радіологічних впливів після звільнення від регулюючого контролю майданчика «Вектор». Згідно із Законом України «Про поводження з радіоактивними відходами» [2] до короткоіснуючих РАВ належать такі, які можуть бути звільнені від регулюючого контролю в період до 300 років після захоронення (після закриття сховища).

У нормах радіаційної безпеки України (НРБУ-97/Д-2000) [3] встановлено радіаційно-гігієнічні регламенти стосовно звільнення короткоіснуючих РАВ, захоронених у приповерхневому сховищі. На час та в період звільнення від регулюючого контролю ці регламенти обмежують річні ефективні дози поточного (0,01 мЗв/рік від одного сховища) та потенційного опромінення людини (1 мЗв/рік від усіх сховищ). У разі дотримання цих регламентів РАВ, що захоронені у сховищі, можуть бути звільнені від регулюючого контролю обмежено. Для повного звільнення від регулюючого контролю необхідно також досягнення рівнів звільнення (у формі припинення), встановлених у гігієнічних нормативах «Рівні звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю» [4].

НРБУ-97/Д-2000 [3] дозволяє підвищити регламент щодо обмеження потенційного опромінення за рішенням регулюючого органу до 50 мЗв/рік. Але при цьому стосовно заборонених РАВ мають бути передбачені та реалізовані «спеціальні вимоги». Ці вимоги фактично є заходами, які слід реалізувати для зниження ризику потенційного опромінення в період після 300 років, тобто для значного зменшення ймовірності виникнення (або виключення) критичної події, внаслідок якої доза потенційного опромінення перевищуватиме 1 мЗв/рік. Такі заходи можуть, зокрема, передбачати обмеження доступу на територію захоронення в період після 300 років, розміщення упаковок РАВ з підвищеними питомими активностями у такий спосіб, щоб значно знизити ймовірність виникнення критичної події, пов'язаної з даними упаковками.

Зрозуміло, що одним з важливих факторів вибору майданчика для захоронення й довготривалого зберігання РАВ саме в Чорнобильській зоні відчуження є те, що територія майданчика та територія на значній відстані від нього внаслідок її радіоактивного забруднення вже на довготри-

валий невизначений час відчужена для проживання населення та суттєво обмежена для господарської діяльності. Очевидно, що цей врахований при виборі майданчика для захоронення РАВ у зоні відчуження важливий фактор нівелюється, коли під час аналізу довготривалої безпеки захоронення РАВ припускається, що через 300 років ця територія використовуватиметься необмежено для проживання населення. Тому для майданчика «Вектор» і певної території навколо нього важливо розробити та прийняти конкретні рішення з обмеження доступу на період і після 300 років. Назвемо цю територію зоною обмеженого доступу (ЗОД). Звичайно, такі конкретні рішення стосовно розмірів ЗОД та часу дії обмежень мають обґрунтуватися оцінками радіаційних впливів на кордонах ЗОД від захоронених НСАВ на майданчику «Вектор» у цілому.

Застосовування радіаційно-гігієнічних регламентів. За умов наявності на певний довготривалий період ЗОД встановлені законодавством України радіаційно-гігієнічні регламенти можуть застосовуватися для майданчика «Вектор» таким чином:

1) доза потенційного опромінення гіпотетичної особи з критичної групи населення, життєдіяльність якої умовно планується на зовнішньому кордоні ЗОД, не повинна перевищувати певної величини (як варіант, 0,5 мЗв/рік, тобто половина встановленого законодавством ліміту дози 1 мЗв/рік), що пов'язано з усіма радіаційними впливами від майданчика «Вектор»;

2) визначені НРБУ-97/Д-2000 [3] регламенти та референтні сценарії потенційного опромінення застосовуються з урахуванням наявності ЗОД, зокрема:

у разі реалізації природних руйнівних подій, які порушують бар'єрні функції системи захоронення, зовні кордону ЗОД має забезпечуватися неперевикнення річної дози потенційного опромінення 1 мЗв;

під час аналізу передбачених в НРБУ-97/Д-2000 [3] сценаріїв використовуються нереперентні набори параметрів, що враховує наявність ЗОД (зокрема, це стосується можливого надходження до людини радіонуклідів з продуктами харчування й питною водою);

не розглядаються сценарії руйнування сховища внаслідок ненавмисного вторгнення (діяльності) людини.

Аналізуючи сценарії поточного та потенційного опромінення людини на різних відстанях від майданчика «Вектор» (у припущенні захоронення на майданчику загальної кількості РАВ з певними характеристиками — питомі, загальні активності, радіонуклідний вектор тощо), можна визначити необхідні розміри ЗОД з умови неперевикнення зазначених регламентів.

Зазначимо, що, по-перше, в міру збільшення відстані від майданчика невизначеності аналізу та оцінок доз збільшуються, і довіра до отриманих результатів зменшується. Тому розмір ЗОД не може бути занадто великим, принаймні оцінки радіаційних впливів на зовнішніх кордонах ЗОД мають бути досить надійними та достовірними. По-друге, розраховані дози опромінення критичних груп населення за межами наявної Чорнобильської зони відчуження від усіх джерел опромінення (включаючи захоронені РАВ на майданчику «Вектор» та «Буряківка», забруднення території тощо), не повинні перевищувати радіаційно-гігієнічних регламентів. Такі інтегральні розрахункові оцінки також необхідно виконувати.

Оскільки обмеження доступу є одним з факторів запобігання підвищеному опроміненню людини, ЗОД доцільно встановлювати на період існування ризику перевищення

Таблиця 1. Оцінки доз потенційного опромінення від захоронених на ПЗРВ «Буряківка» РАВ відповідно до [5]

№ п/п	Сценарій	Оцінена доза, мЗв					
		300 років	10 ³ років	10 ⁴ років	10 ⁵ років	10 ⁶ років	10 ⁷ років
1	Надходження р/н з питною водою	2	1	0,2	0,02	0,005	0,005
2	Надходження р/н з продуктами харчування	0,52	0,1	0,04	0,02	0,01	0,01
3	Інгаляційне надходження р/н	0,53	0,2	0,09	0,005	0,001	0,0005
4	Зовнішнє опромінення	0,25	0,03	0,005	0,003	0,006	0,005
5	Проковтування дрібних фрагментів РАВ	8,6	5	1,3	0,1	0,03	0,02

радіаційно-гігієнічних регламентів поточного та потенційного опромінення. Час існування ЗОД можна визначити, розглянувши сценарії радіаційних впливів на людину без існування ЗОД та встановивши час, після якого регламенти поточного й потенційного опромінення не перевищуватимуться.

У звіті «Аналіз відповідності РАВ, що підлягають захороненню на ПЗРВ «Буряківка», вимогам радіаційно-гігієнічних регламентів НРБУ-97/Д-2000» [5], для захоронених у ПЗРВ «Буряківка» РАВ чорнобильського походження наведено розрахунки динаміки доз потенційного опромінення для періодів від 300 років до 10⁷ років. Розрахунки виконано для п'яти референтних сценаріїв НРБУ-97/Д-2000 [3]. У табл. 1 наведено оцінки дози потенційного опромінення відповідно до [5] (вказані значення дози приблизні, оскільки дані [5] наведено у вигляді графіків). Як видно з табличних даних, найбільша доза потенційного опромінення очікується за сценарієм «проковтування дрібних фрагментів РАВ», і регламент річної ефективної дози 1 мЗв, за оцінками, на момент 300 років перевищується майже у 10 разів.

Неперевищення регламенту 1 мЗв досягається на момент часу приблизно 2·10⁴ років. Отже, відповідно до даних [5] для запобігання підвищеному потенційному опроміненню ЗОД має існувати не менше 2·10⁴ років.

Безумовно, ЗОД не може існувати вічно, хоча б тому, що аналіз довготривалої безпеки виконується в припущенні, що ландшафтно-географічні та геологічні умови в районі розташування захоронення РАВ радикально не змінюватимуться в період часу, який розглядається. Також зі збільшенням періоду часу в майбутньому, на який виконуються оцінки радіаційних впливів від захоронених РАВ, зростають невизначеності одержаних оцінок. Тому доцільно, виходячи з наведених та, можливо, з інших міркувань, визначити граничний період часу, на який має сенс вводити ЗОД.

Якщо знову звернутися до таблиці, можна оцінити, що введення ЗОД навіть на такий великий проміжок часу, як 10⁵ років, дає змогу «дочекатися» зниження дози потенційного опромінення від РАВ чорнобильського походження на два порядки (іншими словами, введення ЗОД на період до 10⁵ років дозволяє підвищити питому активність захоронених РАВ майже на два порядки). В той же час підвищення питомих активностей в упаковках РАВ навіть на один порядок дає суттєвий вигравш в економічності використання сховищ.

Розглянемо інший приклад РАВ, для яких переважний внесок у дозу потенційного опромінення на момент 300 років дають радіонукліди ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr. Цей приклад

може бути характерним для експлуатаційних РАВ діючих АЕС, беручи до уваги, що такі РАВ практично не містять трансуранових радіонуклідів.

Припустимо, що на момент 300 років після закриття сховища розрахована за референтними сценаріями [3] річна доза потенційного опромінення становитиме 50 мЗв, при цьому ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr дають внесок у дозу не менше 49 мЗв.

Доза потенційного опромінення від ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr за рахунок природних радіоактивних розпадів цих нуклідів зменшуватиметься кожні 100 років приблизно в 10 разів, і через 300 років не перевищуватиме 0,05 мЗв/рік. Таким чином, через 600 років після закриття сховища радіаційно-гігієнічний регламент річної дози потенційного опромінення 1 мЗв не буде перевищено (в межах похибки 5%), і ЗОД для захисту від потенційного опромінення достатньо встановити на 600 років після закриття сховища. Це досить розумний період для умов Чорнобильської зони відчуження.

Загальний алгоритм системного аналізу захоронення РАВ.

Отже, для комплексного вирішення задачі захоронення НСАВ на майданчику «Вектор» потрібно, як мінімум, виконати оцінки радіаційних впливів від захоронених РАВ на майданчику «Вектор» в цілому на різних відстанях від майданчика в різні періоди часу після 300 років, щоб визначити прийнятні розміри ЗОД навколо майданчика і час існування ЗОД, а також виконати перевірку неперевищення радіаційно-гігієнічних регламентів зовні Чорнобильської зони відчуження, враховуючи всі джерела радіаційних впливів від цієї зони. Вже зараз, на початку розбудови сховищ для захоронення короткоіснуючих НСАВ, необхідно розробити методики і виконати оцінки.

Дані оцінки базуватимуться на наявних вихідних даних щодо об'ємів та характеристик НСАВ, які передбачено захоронити на майданчику «Вектор», на попередньому розподілі НСАВ між різними сховищами, враховуючи концептуальні рішення з інженерних бар'єрів сховищ, загальний план розміщення сховищ на майданчику та збільшений графік їх будівництва, експлуатації й закриття. Ця оцінка має розглядатися як перша ітерація, виходячи з певного консерватизму. Вона повинна, в першу чергу, дати відповідь на питання, яку загальну активність радіонуклідів у НСАВ можна в принципі захоронити на майданчику «Вектор» та, відповідно, чи можна захоронити всі заплановані для захоронення НСАВ на майданчику. В разі негативної відповіді необхідно визначити, яку частину НСАВ, запланованих до захоронення, потрібно перевести в заплановані для довготривалого зберігання.

Також за результатами інтегральної оцінки доцільно провести попереднє квотування радіаційно-гігієнічних

регламентів між сховищами, і в подальшому розроблювати проекти конкретних сховищ з використанням визначених для них квот.

Очевидно, що виконання вищезазначених інтегральних оцінок дає змогу визначити більш конкретну та обґрунтовану стратегію створення й експлуатації об'єктів з поводження з РАВ на майданчику «Вектор». Інтегральні оцінки мають переглядатися в міру розвитку майданчика «Вектор», враховуючи конкретні збудовані сховища, конкретні характеристики вже розміщених у сховищах НСАВ, уточнені характеристики природних бар'єрів майданчика, поновлені більш точні прогнози щодо запланованих потоків НСАВ тощо. Відповідно до переглянутих оцінок слід проводити корегування необхідних розмірів ЗОД і часу її існування, розподіл квот між сховищами, стратегії розвитку майданчика «Вектор».

Висновки

Для комплексного вирішення задачі захоронення радіоактивних відходів на майданчику «Вектор» потрібно розробити методологію проведення системного аналізу майданчика «Вектор» в цілому, яка б давала змогу при створенні кожного нового сховища для захоронення та (або) довготривалого зберігання РАВ враховувати сховища, що експлуатуються, плануються для розміщення на майданчику, а отже, відповідно враховувати всі прогнозовані потоки РАВ.

Вже зараз, на початку розробки сховищ, як частину системного аналізу, необхідно виконати оцінки радіологічних впливів від всіх планованих для захоронення на майданчику «Вектор» РАВ. Такі оцінки потрібно виконати на різних відстанях від майданчика в різні періоди часу, коли сховища на майданчику підлягатимуть звільненню (очевидно, обмеженому) від регулюючого контролю.

Ці інтегральні оцінки (разом з іншими оцінками) можуть бути використані для обґрунтування рішення про встановлення навколо майданчика «Вектор» на довготривалий термін зони обмеженого доступу, для визначення розмірів та часу існування такої зони. На час існування ЗОД не повинні перевищуватися радіаційно-гігієнічні регламенти обмеження доз поточного та потенційного опромінення людини, що мешкає за межами ЗОД, по завершенні існування ЗОД, а також на території в межах ЗОД.

Зазначені інтегральні оцінки мають, в першу чергу, дати попередню відповідь на питання, яку загальну активність радіонуклідів можна захоронити на майданчику «Вектор» і чи можна захоронити всі заплановані для захоронення РАВ.

За результатами таких оцінок також доцільно провести квотування радіаційно-гігієнічних регламентів між сховищами, а проекти конкретних сховищ розробляти з використанням визначених таким чином попередніх квот. Очевидно, що виконання інтегральних оцінок дає змогу визначити більш конкретну обґрунтовану стратегію створення об'єктів з поводження з РАВ на майданчику «Вектор».

Список використаної літератури

1. Закон України «Загальнодержавна цільова екологічна програма поводження з радіоактивними відходами», № 516-VI/08-ВР.
2. *НРБУ-97/Д-2000*. Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення».
3. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами», № 256/95-ВР.
4. Гігієнічні нормативи «Рівні звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю». — Затвердж. постановою Головного санітарного лікаря України, 30.06.2010 № 22.
5. Аналіз відповідності РАВ, що підлягають захороненню на ПЗРВ «Буряківка», вимогам радіаційно-гігієнічних регламентів *НРБУ-97/Д-2000* / НДІ радіаційного захисту АТН України. — К., 2003.

Отримано 06.06.2012.