

З. М. Алексєєва¹, С. М. Кондратьєв¹,
Є. О. Ніколаєв¹, О. А. Миколайчук²,
О. А. Макаровська², Н. В. Рибалка²

¹Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки, м. Київ, Україна

²Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ, Україна

Комплексна оцінка безпеки поводження з радіоактивними відходами на майданчику «Вектор»

Розглянуто методологічні підходи до оцінки загальних радіаційних впливів майданчика «Вектор» на персонал та населення з урахуванням специфічних особливостей розміщення майданчика в Чорнобильській зоні відчуження.

Ключові слова: радіоактивні відходи, загальні радіаційні впливи, зона відчуження, майданчик «Вектор».

**З. М. Алексєєва, С. Н. Кондратьєв, Е. А. Ніколаєв,
Е. А. Миколайчук, О. А. Макаровская, Н. В. Рибалка**

Комплексная оценка безопасности обращения с радиоактивными отходами на площадке «Вектор»

Рассмотрены методологические подходы к оценке суммарных радиационных воздействий площадки «Вектор» на персонал и население с учетом специфики размещения площадки в Чернобыльской зоне отчуждения.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, суммарное радиационное воздействие, зона отчуждения, площадка «Вектор».

Сучасна стратегія безпечного поводження з радіоактивними відходами (РАВ) спрямована на утримання та ізоляцію РАВ від доступної біосфери. Для реалізації цієї стратегії проводяться збирання, переробка/кондиціонування, зберігання РАВ до можливого їх звільнення від подальшого регулюючого контролю чи остаточного захоронення як кінцевої мети поводження з РАВ [1, 2].

Система поводження з РАВ сформувалася в Україні за часів Радянського Союзу, коли на майданчиках атомних станцій (АЕС) передбачалися інфраструктури лише з первинної обробки і тимчасового зберігання РАВ. Заключний етап поводження з РАВ АЕС — захоронення — не розглядався і на сьогодні не реалізований.

Захоронення РАВ та відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання (ВДІВ) підприємств неядерної галузі до останнього часу здійснювалося на майданчиках державних міжобласних спеціалізованих комбінатів УкрДО «Радон» (ДМСК «Радон»), без належного сортування РАВ та оцінювання впливів захоронених РАВ на людину.

Крім перелічених потоків відходів, в Україні велика кількість РАВ зі специфічними характеристиками виникла внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС). На даний час РАВ різних рівнів активності локалізовані в зоні відчуження (ЗВ): в об'єкті «Укриття», пунктах тимчасової локалізації або захоронено в пунктах захоронення, зокрема в діючому сховищі «Буряківка».

Україна у 2000 році ратифікувала «Об'єднану конвенцію про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами» [3], взявши на себе зобов'язання дотримуватися задекларованих принципів щодо забезпечення захисту здоров'я людини і навколишнього середовища з урахуванням потенційної радіологічної небезпеки РАВ у віддаленому майбутньому [4]. Відповідно до цього в Законі України «Про загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з РАВ» [5] та «Стратегії поводження з РАВ в Україні» [6] у ЗВ на майданчику комплексу виробництва «Вектор» (майданчик «Вектор») передбачено будівництво установок з переробки РАВ, сховищ для довготривалого зберігання РАВ та ВДІВ і сховищ для захоронення всіх типів та категорій РАВ. На майданчик «Вектор» планується передати фактично всі РАВ України, зокрема з ДМСК «Радон», АЕС України, ЧАЕС та ЗВ.

Як засіб перевірки дотримання вимог безпеки, а отже, й фундаментальних принципів безпеки, до початку спорудження зазначених об'єктів для поводження з РАВ потрібно виконати прогностичні оцінки загального впливу всіх об'єктів.

Методологічні підходи до виконання оцінок безпеки перед захороненням та під час захоронення РАВ детально розроблені МАГАТЕ [7–9]. За цими підходами, будь-яка установка (сховище) розглядається як окреме джерело опромінення людини та виконується прогнозування впливів на людину від окремого джерела опромінення.

У чинній нормативно-законодавчій базі України вимоги загального характеру до виконання оцінок безпеки визначено у законах [3, 10] та документах верхнього рівня [11, 12]. Так, у [11, 12] встановлено критерії радіологічного захисту і визначено загальну структуру формування рішення про види захоронення РАВ з урахуванням умов територій, де планується розміщення сховища. Деякі загальні вимоги до виконання оцінок безпеки містяться в документах [13–15]. Водночас серед чинних нормативно-правових актів України були відсутні документи, які б містили детальні вимоги до оцінювання впливів майданчика в разі

розміщення на ньому комплексу об'єктів поводження з РАВ, зокрема сховищ для довготривалого зберігання та захоронення РАВ.

Забезпечуючи послідовну та узгоджену основу виконання оцінок безпеки запланованих для розміщення на майданчику «Вектор» об'єктів, Державна інспекція ядерного регулювання України за сприяння міжнародної спільноти розробила проект «Керівництва з оцінки впливів на навколишнє середовище та на населення майданчика «Вектор» з багатьма установками для переробки, зберігання та захоронення РАВ» (далі — «Керівництво»). Очікується, що після відповідної процедури розгляду та затвердження «Керівництво» набере чинності. Нижче розглянуто надані в «Керівництві» рекомендації щодо оцінки радіологічних впливів сукупності об'єктів, розміщених на майданчику «Вектор»: критерії прийняття рішень стосовно достатності радіологічного захисту з урахуванням специфіки розміщення майданчика в межах ЗВ, підходи до розроблення сценаріїв еволюції майданчика «Вектор» та вибору критичних груп населення.

Майданчик «Вектор» та періоди його існування

Майданчик «Вектор» розташований на території ЗВ, яка зазнала радіоактивного забруднення, зокрема довгоіснуючими радіонуклідами. ЗВ, що була введена після евакуації населення з 30-кілометрової зони навколо ЧАЕС, виконує бар'єрну функцію проти поширення радіоактивного забруднення за її межі. Землі ЗВ віднесено до категорії радіаційно-небезпечних, виведено з господарського обігу й відмежовано від суміжних територій; на землях ЗВ неможливе подальше проживання населення, а також одержання продуктів харчування [16].

На майданчику «Вектор» заплановано протягом багатьох років вести паралельне будівництво, експлуатацію, зняття з експлуатації (закриття) установок з переробки та сховищ для довготривалого зберігання і захоронення РАВ [6, 17, 18].

Ідеологія «Керівництва» базується на положенні, що в процесі послідовного розміщення на майданчику «Вектор» запланованих обсягів відходів, які перероблятимуться, зберігатимуться чи захоронятимуться у відповідних об'єктах, має гарантуватися додержання основних принципів безпеки та критеріїв радіаційного захисту [10—14], зокрема й на віддалені проміжки часу після захоронення РАВ. У зв'язку з цим, виконуючи оцінки безпеки, доцільно розглядати різні періоди існування майданчика «Вектор». «Керівництвом» передбачено три періоди діяльності майданчика.

Період I. Розпочнеться з моменту першого надходження відходів на майданчик «Вектор» і завершиться після розміщення всіх відходів у сховищах для захоронення РАВ та створення остаточної конфігурації останнього з них (закриття). Протягом цього періоду можуть одночасно здійснюватися роботи з будівництва, введення в експлуатацію та експлуатації запланованих об'єктів, постачання РАВ на майданчик, зняття з експлуатації окремих установок з переробки та сховищ для довготривалого зберігання РАВ або закриття сховищ для захоронення РАВ.

Період II. Розпочнеться з моменту завершення попереднього періоду. Тривалість його обмежується тривалістю активного адміністративного контролю закритих сховищ із захороненими РАВ.

Період III. Розпочнеться з моменту завершення періоду II, після повного або обмеженого звільнення сховищ із захороненими РАВ від регулюючого контролю. Певний час може здійснюватися лише пасивний контроль майданчика «Вектор».

«Керівництвом» визначено, що період I, враховуючи заплановану послідовність будівництва на майданчику «Вектор» об'єктів та термін довготривалого зберігання (до 100 років) [17, 18], обчислюється приблизно 200 роками від початку надходження перших партій РАВ на майданчик.

Відповідно до вимог чинних нормативних документів [10, 12], умови повного або обмеженого звільнення від регулюючого контролю при захороненні короткоіснуючих РАВ мають досягатися не пізніше ніж через 300 років після захоронення. Таким чином, період II завершиться не пізніше ніж через 500 років після надходження перших РАВ на майданчик.

Тривалість періоду III розглядається у прив'язці до існування ЗВ. Вважається, що зоною відчуження, у межах якої локалізовано майданчик «Вектор», у період III все ще виконуватиметься бар'єрна функція пасивного контролю з обмеженням доступу на територію майданчика «Вектор». Проте роль бар'єрної функції ЗВ з часом може погіршуватися [16], тому в «Керівництві» застосовано поняття так званої зменшеної зони відчуження, яка виконує роль зони обмеженого доступу (ЗОД) на майданчик «Вектор». Приймається, що в період існування ЗОД бар'єри сховищ для захоронення поступово деградують, але в цей період населення в межах ЗОД не проживає і в ЗОД може здійснюватися тільки певна обмежена діяльність (наприклад, природоохоронні заходи).

Базові положення прийняття рішення про можливість розміщення РАВ на майданчику «Вектор»

Ітераційна схема оцінювання загального впливу майданчика «Вектор». Як головний критерій придатності майданчика «Вектор» для розміщення запланованих обсягів РАВ, у «Керівництві» розглядається загальний вплив майданчика «Вектор» в цілому на людину, тобто здатність забезпечити відповідність критеріям радіаційного захисту та вимогам безпеки в різні періоди існування майданчика в разі розміщення на ньому сукупності об'єктів для переробки, зберігання та захоронення¹ РАВ з урахуванням:

типів, обсягів та основних характеристик РАВ від різних джерел постачання;

попередніх критеріїв приймання РАВ і попереднього розподілу РАВ на такі, що прийнятні для захоронення у приповерхневих сховищах, і такі, що потребуватимуть довготривалого зберігання;

попереднього розподілення РАВ між сховищами для довготривалого зберігання і захоронення;

концептуальних проектів інженерних бар'єрів безпеки для запланованих об'єктів;

запланованих термінів будівництва відповідних об'єктів та прогнозного терміну їх експлуатації та зняття з експлуатації/закриття.

¹ Ураховується захоронення тільки у сховищах поверхневого/приповерхневого типів (захоронення в геологічних сховищах не розглядається).

Оцінку загальних впливів майданчика «Вектор» проводять ітераційно [7–9].

За першої ітерації оцінки, на основі затверджених техніко-економічних обґрунтувань будівництва майданчика «Вектор» [17, 18] та виходячи з наявних вихідних даних, прогнозується загальний вплив від сукупності всіх об'єктів. Для цього оцінюють можливий вихід радіонуклідів за межі передбачених проектами об'єктів інженерних бар'єрів безпеки, розповсюдження радіонуклідів у довкіллі до місць, доступних для людини (з урахуванням природних особливостей майданчика) та впливи на людину по різних шляхах опромінення. Розрахункові оцінки проводять на основі консервативного підходу, використовуючи такі припущення й значення параметрів подій і процесів на майданчику, які призводять до найбільш несприятливих прогнозів.

Як критерії оцінки загального впливу всіх джерел опромінення на майданчику «Вектор», використовують ліміти доз опромінення, а для кожної конкретної установки, сховища для зберігання чи захоронення РАВ як окремого джерела опромінення — відповідне обмеження дози, тобто дозову квоту [2, 11, 12].

За результатами розрахункових оцінок експлуатуюча організація визначає потенційну придатність майданчика «Вектор» для розміщення всіх запланованих обсягів РАВ в об'єктах запланованого типу відповідно до попередніх критеріїв приймання, а також, за потреби, встановлює обмежувальні умови щодо довготривалого зберігання та/або захоронення у приповерхневих сховищах (наприклад, встановлює обмеження на активність окремих радіонуклідів у складі РАВ). Залежно від одержаних результатів може бути прийнято рішення з оптимізації послідовності будівництва, введення в експлуатацію та експлуатації об'єктів, розраховано графік постачання РАВ на майданчик «Вектор», а також змінено розподіл дозових квот між різними об'єктами. Відкориговані значення дозових квот мають використовуватися як критерії оцінки на подальших ітераціях оцінок, а також в обґрунтуваннях безпеки конкретних об'єктів на етапах їх проектування та експлуатації.

Оцінки загальних впливів майданчика «Вектор» періодично переглядаються з урахуванням досвіду експлуатації конкретних об'єктів, у разі зміни стратегії поводження з РАВ, критеріїв приймання РАВ, введенні в експлуатацію нового об'єкта, закриття сховища для довготривалого зберігання або захоронення РАВ. При цьому з кожною наступною ітерацією консерватизм оцінок зменшується завдяки уточненню вихідних даних щодо характеристик майданчика, інженерних бар'єрів та РАВ.

Критерії радіологічного захисту в процесі оцінювання загальних впливів майданчика «Вектор». У «Керівництві» пропонується для обґрунтування достатності радіаційного захисту внаслідок діяльності на майданчику «Вектор» застосовувати радіаційно-гігієнічні регламенти, визначені чинними документами України [11, 12] і документами МАГАТЕ [2, 5–7]. Розглядаються впливи на персонал, який безпосередньо працює на майданчику «Вектор», на персонал, який працює на суміжних з майданчиком «Вектор» об'єктах у межах ЗОД, і на критичні групи населення. Береться до уваги, що населення може проживати за межами ЗВ (яка поступово звужується), охоплюючи теоретично границю ЗОД, а також те, що після припинення існування ЗОД або в разі втрати інформації про існування майданчика (втрати пасивного контролю) населення

теоретично може проживати на території майданчика «Вектор».

Виходячи з принципів неперевищення та оптимізації [2, 4, 12], у «Керівництві» формулюються критерії радіаційного захисту для різних періодів існування майданчика «Вектор».

Згідно з «Керівництвом», обмежується як поточне, так і потенційне опромінення зазначених вище категорій людей. Опромінення персоналу регламентується відповідно до вимог [11, 12]. Персонал майданчика «Вектор» розглядається як персонал категорії А, а персонал суміжних об'єктів — як персонал категорії Б.

Дещо складніше регламентується опромінення населення. Відповідно до законодавства України, річна індивідуальна ефективна доза опромінення населення від усіх індустріальних джерел іонізуючого випромінювання не повинна перевищувати 1 мЗв (ліміт дози). Оскільки основними індустріальними джерелами опромінення для критичних груп населення, що може проживати за межами ЗОД, є майданчик «Вектор», ПЗРВ «Буряківка» та забруднення самої ЗВ, у «Керівництві» визначено дозову квоту від ліміту дози для обмеження опромінення населення від загального впливу майданчика «Вектор». У будь-який момент часу, зокрема після звільнення майданчика від регулюючого контролю, «Керівництвом» рекомендовано використовувати для обмеження дози поточного опромінення населення від майданчика «Вектор» значення 0,3 мЗв/рік, припускаючи, що доза опромінення населення від інших джерел опромінення не перевищуватиме 0,7 мЗв/рік. При цьому впливи від кожного окремого об'єкта майданчика не повинні призводити до перевищення санітарно-гігієнічних регламентів, визначених чинними нормами радіаційної безпеки, а саме: в період експлуатації та активного адміністративного контролю — 0,08 мЗв/рік для установки з переробки або зберігання РАВ (період I) та 0,04 мЗв/рік для окремого сховища для захоронення РАВ (періоди I та II, відповідно); після звільнення РАВ від регулюючого контролю — 0,01 мЗв для окремого сховища із захороненими РАВ (період III та на довготривалій період після його завершення).

Щодо потенційного опромінення, в «Керівництві» визначено обмеження доз потенційного опромінення від усіх об'єктів на майданчику «Вектор» залежно від імовірності критичної події відповідно до вимог [12]. Зокрема, для прийняття рішення про можливість захоронення РАВ на майданчику «Вектор» річна доза потенційного опромінення (якщо ймовірність критичної події нижча ніж $1 \cdot 10^{-2}$ /рік) за консервативними референтними сценаріями опромінення, встановленими в [12], не повинна перевищувати 50 мЗв на момент звільнення від регулюючого контролю (500 років). За вимогами [12], якщо доза потенційного опромінення лежить в інтервалі 1–50 мЗв/рік, для сховищ захоронення РАВ мають бути визначені спеціальні умови (обмеження), які сприятимуть зниженню дози опромінення. В «Керівництві» як таку спеціальну умову запропоновано розглядати існування ЗВ навколо майданчика «Вектор». Це, безумовно, не виключає необхідності оптимізації проектних рішень з метою додаткового зменшення доз потенційного опромінення.

У «Керівництві» чітко визначено, що довготривала безпека майданчика «Вектор» не повинна покладатися виключно на бар'єрну функцію ЗВ: після припинення існування ЗОД до майданчика мають застосовуватися всі критерії звільнення відповідно до вимог [12], без урахування того, що майданчик розташований у ЗВ.

Впливи майданчика «Вектор» на населення

Впливи майданчика розраховують для гіпотетичних критичних груп населення (КГ), які мають бути визначені на підставі всебічного аналізу найімовірніших шляхів поширення забруднення з майданчика до біосфери.

У «Керівництві» зазначається, що для встановлення потенційних шляхів потрапляння радіонуклідів до місць, доступних для населення, враховується вихід радіонуклідів: з ґрунтовими водами на поверхню землі або у водойми чи до джерел водокористування (наприклад, колодязя) через природне розвантаження водоносних горизонтів; з газами; з твердими матеріалами внаслідок природних процесів на майданчику «Вектор» (наприклад, ерозії) або ненавмисного вторгнення.

Щоб оцінити загальний вплив майданчика «Вектор» на населення, перш за все, оцінюють часовий інтервал, суттєвий з точки зору розгляду впливу кожного з перелічених потенційних шляхів виходу радіонуклідів до КГ від кожного об'єкта на майданчику «Вектор». Для цього розглядають три періоди існування майданчика «Вектор», які пов'язані з різними етапами життєвого циклу об'єктів на майданчику. Таким чином, для оцінки впливів майданчика «Вектор» необхідно виконати такі кроки:

для періоду I — оцінити впливи на людину скидів/викидів рідких та газоподібних радіоактивних речовин у навколишнє середовище в разі експлуатації всіх об'єктів;

для періоду II — розглянути перенесення радіонуклідів у геосферу (ґрунтовими водами/газом або поверхневими водами). Визначити потенційні шляхи виходу радіоактивного забруднення від закритих сховищ треба взявши до уваги, що в цей період ведеться активний контроль на майданчику, тобто буде підтримуватися цілісність верхнього покриття сховищ, що виключає можливість виходу твердих радіоактивних речовин на поверхню та їх розповсюдження з атмосферним повітрям. У розрахунках поширення до біосфери радіоактивного забруднення з ґрунтовими водами/газом і поверхневими водами визначається усереднений час надходження радіоактивного забруднення до місць імовірного впливу. У прогностичних розрахунках впливів розробники «Керівництва» пропонують застосовувати: консервативні вихідні дані, зокрема про загальну початкову активність та радіонуклідний склад РАВ, що розміщені у сховищах; геометричні розміри всіх закритих сховищ, через які здійснюється інфільтрація атмосферних опадів; проникність верхнього покриття сховищ та вмшуючих порід; напрямки та швидкість руху через геосферу, враховуючи перенесення радіонуклідів лише через перший від поверхні водоносний горизонт;

для періоду III — оцінити шляхи руху забруднювачів, враховуючи: можливість їх перенесення з ґрунтовими водами в різних напрямках від майданчика (до річок Вуж та Прип'ять); наявність двох гідравлічно пов'язаних між собою водоносних горизонтів та можливість їх розвантаження в різні області на границі геосфера/біосфера — на поверхню землі, у водойми або до джерел імовірного водокористування; невизначеності вихідних даних (наприклад, можливість існування верховодки) для побудови гідрогеологічної моделі. Визначаючи ймовірні шляхи перенесення забруднювачів з майданчика «Вектор» до місць, доступних для населення, на відміну від двох перших часових інтервалів, враховують поширення забруднювачів всіма шляхами, зокрема поширення твердих радіоактивних матеріалів, які вийшли на поверхню (внаслідок природних

поверхневих процесів, діяльності флори/фауни або ненавмисного вторгнення людини в тіло захоронення), та їх перенесення з атмосферним повітрям. Оцінюючи наслідки перенесення твердих радіоактивних матеріалів з повітрям та визначаючи відстані можливого впливу на КГ, беруть до уваги, зокрема, можливість піщаної бурі та проходження смерчу через територію майданчика «Вектор».

У розрахунках наслідків ненавмисного вторгнення «Керівництво» пропонує враховувати для періоду III поступове погіршення бар'єрних функцій, які виконує ЗОД навколо майданчика «Вектор». Для цього потрібно розробити додаткові сценарії, які мають передбачати деградацію бар'єрної функції ЗОД та можливість тимчасового перебування людини на майданчику «Вектор». Після припинення існування зменшеної ЗВ розглядається доступ людини на майданчик «Вектор» без обмежень землекористування (проведення геотехнічних робіт — буріння свердловин, будівництво доріг; постійне проживання людини на території сховища).

Для кожного з періодів існування майданчика «Вектор» розглядають гіпотетичні КГ, які потенційно можуть отримати максимальну дозу внаслідок реалізації перелічених шляхів виходу радіонуклідів від діяльності на майданчику «Вектор». Вибір КГ рекомендовано обґрунтовувати за результатами дослідницького проекту МАГАТЕ BIOMASS [19], розглядаючи такі КГ:

для періодів I та II — особи з населення, що умовно проживає на границі ЗОД (при першій ітерації оцінки загального впливу майданчика «Вектор» на основі консервативних допущень щодо розповсюдження забруднення з ґрунтовими водами та повітряним шляхом) або на певній відстані від ЗОД (відстань визначається за результатами більш детального моделювання руху ґрунтових вод та виходу забруднення на поверхню різними шляхами);

для періоду III — додатково до груп населення, які розглядаються в періодах I та II: особи з населення, що постійно проживають на території колишнього майданчика «Вектор» та ведуть певні види діяльності на території сховища (після припинення існування ЗОД).

Окремий індивідуум може підпадати під радіаційний ризик опромінення одночасно від кількох сценаріїв еволюції сховищ, які характеризуються різними ймовірностями. Тому треба визначити гіпотетичну КГ, критичну за сумою всіх сценаріїв, яка може не збігатися з жодною групою осіб, критичною за окремим сценарієм. Висновок про рівень впливу майданчика «Вектор» на населення слід робити виходячи з одержаних значень дози/ризиків, що розраховані для групи осіб, яка є критичною за сумою всіх сценаріїв на момент часу, на який проводиться розрахунок впливів.

Оцінка загального впливу майданчика «Вектор»

Загальний вплив майданчика «Вектор» оцінюється прогнозуванням доз поточного та потенційного опромінення персоналу і населення для кожного періоду існування майданчика з урахуванням етапів життєвого циклу розміщених на майданчику об'єктів.

Рівень поточного опромінення в період I визначають за можливими скидами та викидами кожного об'єкта на різних етапах його життєвого циклу: в процесі експлуатації та зняття з експлуатації установок з переробки та сховищ для зберігання РАВ та в процесі експлуатації сховищ для захоронення РАВ (розміщення відходів і закриття). На підставі

одержаних обсягів скидів та викидів та з урахуванням розподілення в часі етапів життєвого циклу окремих об'єктів визначають загальний вплив на персонал, що працює на майданчику «Вектор». При цьому необхідно довести, що контрольний рівень (КР) річної ефективної дози 14 мЗв (та окремо КР для внутрішнього та зовнішнього опромінення) не буде перевищено. Оцінюють також річні ефективні дози опромінення персоналу суміжних об'єктів, консервативно припускаючи, що персонал постійно працює на об'єкті біля границі майданчика «Вектор»². Розраховується також сумарна річна ефективна доза поточного опромінення осіб КГ населення, що умовно проживає на границі ЗОД (або в точках виходу забруднення), яка порівнюється з критерієм обмеження дози від майданчика в цілому (0,3 мЗв/рік).

Потенційні впливи майданчика «Вектор» у період I визначають оцінюванням наслідків вихідних подій, які можуть призвести до критичних подій на всіх об'єктах (або їх більшості) майданчика «Вектор». Розглядають максимальний розрахунковий землетрус (з імовірністю 10^{-4} /рік), екстремальні природні події (вітер та смерч). Враховуючи обмежену діяльність у ЗВ, слід організаційно-технічними заходами практично виключити техногенні події (вибух і пожежа на майданчику та за його межами). Для кожної екстремальної події вибирають випадки найнебезпечнішого викиду (найбільшої активності викиду та/або викид найнебезпечніших радіонуклідів) і оцінюють ефективні дози потенційного опромінення населення, що проживає на границі ЗОД, та персоналу суміжних об'єктів.

Загальний вплив майданчика «Вектор» на населення у віддаленому майбутньому після закриття сховищ (періоди II та III) рекомендовано оцінювати за методологію ISAM [7]. Відповідно, аналіз складається із взаємопов'язаних кроків:

1. Аналізуються особливості, події та процеси (ОПП), які можуть ініціювати вихід радіонуклідів з відходів та їх перенесення через геосферу і біосферу до людини або впливають на швидкість виходу і перенесення радіонуклідів.

2. Визначаються найбільш критичні (з точки зору наслідків) комбінації ОПП, які мають бути оцінені в контексті впливів на функціонування сховищ.

3. Ідентифікуються потенційно важливі сценарії, які потребують послідовної оцінки.

4. Для кожного сценарію розробляються, обґрунтовуються та верифікуються моделі, аналізуються наявні вихідні бази даних і комп'ютерні коди для аналізу систем захоронення та моделювання їх поведінки.

5. Для кожної з розроблених моделей розраховуються наслідки значущих сценаріїв.

6. Оцінюються невизначеності одержаних результатів розрахунків та визначаються ті параметри й допущення, які максимально впливають на кінцевий результат оцінки.

7. Результати порівнюються з відповідними критеріями.

Для кожного типу сховищ на майданчику «Вектор» на основі обраного переліку ОПП визначають сценарії нормальної еволюції (СНЕ), альтернативні сценарії та сценарії ненавмисного вторгнення. Залежно від імовірності ОПП, що формують сценарій, кожний з них відносять до сценаріїв, що призводять до поточного або потенційного опромінення, як це встановлено вимогами НРБУ-97/Д-2000 [12].

Визначаючи сценарії СНЕ, розглядають лише ті ОПП, що завжди присутні, або ті, які найімовірніше протікатимуть після закриття сховища. СНЕ відповідає так званому

проектному сценарію, за яким система функціонує відповідно до концептуального проекту. Функції безпеки бар'єрів систем захоронення змінюються з часом відповідно до концептуального проекту. Вважається, що зовнішні ОПП, які можуть впливати на функції безпеки, відповідають тим, що існують на момент оцінювання впливів. У сценаріях нормальної еволюції враховуються поступова деградація компонентів системи захоронення відповідно до передбаченого проектом часу служби відповідних компонентів, вилугування радіонуклідів за межі інженерних бар'єрів, їх міграція у довкіллі та використання забрудненої води в біосфері на границі з геосферою. Впливи наслідків цих сценаріїв розраховують для осіб з КГ населення, що: 1) проживає на границі ЗОД, існуючої на момент проведення розрахунків, та вживає воду з локального джерела (колодязя); 2) проживає поблизу річок Прип'ять або Уж та використовує питну воду і забруднену територію для ведення сільського господарства.

Дози від кожного сховища розраховують окремо для кожної КГ залежно від часу та визначають сумарну дозу від усіх сховищ окремо для кожної КГ.

Визначаючи сценарії прискореної деградації, аналізують менш імовірні ОПП, які призводять до прискореної деградації бар'єрів сховища, але були виключені з розгляду в процесі визначення СНЕ. Зокрема, слід розглянути вплив землетрусів на сховище (більш рання деградація інженерних бар'єрів) і геосфери, зміни клімату, процеси ерозії, екстремальні вітер та смерч. Наслідки альтернативних сценаріїв аналізують аналогічно до наслідків СНЕ.

Визначаючи сценарії ненавмисного вторгнення, враховують, що вторгнення може статися будь-коли після завершення адміністративного контролю майданчика «Вектор» (період II), і розглядають існування зменшеної ЗВ як засіб пасивного контролю території майданчика. Для довготривалого періоду після завершення існування ЗВ та, відповідно, ЗОД, необхідно враховувати постійне проживання населення на майданчику, можливе забруднення його території, а також можливі види діяльності на майданчику (наприклад, будівельні роботи, геологорозвідувальні роботи, буріння свердловин через тіло сховища, водокористування).

Висновки

Враховуючи заплановане розміщення майже всіх РАВ України в сховищах на майданчику «Вектор» у Чорнобильській зоні відчуження, необхідно виконати комплексну оцінку безпеки поводження з РАВ на цьому майданчику, зокрема оцінку загального радіаційного впливу сховищ на людину і навколишнє середовище у довготривалій перспективі.

У «Керівництві з оцінки впливів на навколишнє середовище та на населення майданчика «Вектор» з багатьма установками для переробки, зберігання та захоронення РАВ» застосовано системний підхід, що базується на врахуванні принципів і критеріїв радіаційного захисту, забезпеченні багатобар'єрного захисту за рахунок функцій безпеки окремих об'єктів та зони відчуження як елементів пасивного контролю обмеження доступу на майданчик «Вектор».

Комплексна оцінка дасть змогу обґрунтовано приймати рішення про безпеку та послідовність розміщення на майданчику установок з переробки, сховищ для

² Загальна річна доза опромінення цього персоналу від майданчика «Вектор» як персоналу категорії Б не повинна перевищувати 2 мЗв [11].

довготривалого зберігання та приповерхневих сховищ для захоронення РАВ, гарантуватиме, що впливи на окремі категорії людей не перевищуватимуть допустимих рівнів поточного і потенційного опромінення, зокрема у віддаленому майбутньому.

Список використаної літератури

1. Policies and Strategies for Radioactive Waste Management, NW-G-1.1 / IAEA. — 2009.
2. Disposal of Radioactive Waste Specific Safety Requirements / IAEA, SSR-5. — 2011.
3. Про ратифікацію Об'єднаної конвенції про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами: Закон України від 20.04.2000 № 1688-III.
4. Fundamental Safety Principles, SF-1 / IAEA. — 2006.
5. Закон України «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2009. — № 5.
6. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні. — Розпорядження КМУ від 19.08.2009 № 990-р.
7. Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities: Volume 1-2 / IAEA. — 2004.
8. Оцінка безпеки установок та діяльності, GSR: Part 4 / IAEA. — 2009.
9. The Safety Case and Safety Assessment for Predisposal Management of Radioactive Waste : Draft Safety Guide DS-248 / IAEA. — 2011.
10. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 1995. — № 27.
11. Державні гігієнічні нормативи: Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).
12. ДГН 6.6.1 — 6.5.061-2000. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000).
13. Вимоги до вибору майданчика для розміщення сховищ для захоронення радіоактивних відходів (НП 306.4.149-2008).
14. Вимоги та правила довгострокового зберігання довгоіснуючих та високоактивних радіоактивних відходів до їх захоронення в глибоких геологічних формаціях (НП 306.4.143-2008).
15. Рекомендації щодо встановлення критеріїв приймання кондиційованих радіоактивних відходів на захоронення у приповерхневих сховищах (РД 306.4.098-20040).
16. Закон України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» // Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР). — 1991. — № 16.
17. Перша черга комплексу виробництв по дезактивації, транспортуванню, переробці та захороненню радіоактивних відходів з територій, забруднених в результаті аварії на ЧАЕС (кодова назва «Вектор». I етап — захоронення радіоактивних відходів): Проект (концептуальний) / МНС. — 1997.
18. Про схвалення техніко-економічного обґрунтування інвестицій у будівництво другої черги комплексу виробництв «Вектор». — Розпорядження КМУ від 23.12.2009 № 1605-р.
19. Disposal of Radioactive Waste Specific Safety Requirements / IAEA, SSR-5. — 2011.
20. Biosphere Modelling and Assessment, IAEA: Report on BIOMASS «Reference Biosphere» for solid radioactive waste». — 2003.

Отримано 29.03.2013.