

О. В. Токаревський¹, С. М. Кондратьєв¹,
З. М. Алексєєва¹, Н. В. Рибалка²

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

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

Аспекти безпеки та оптимізації довгострокового зберігання радіоактивних відходів на майданчику «Вектор»

Проаналізовано зв'язки між варіантом остаточного захоронення та потребами в довгостроковому зберіганні радіоактивних відходів з огляду на пропозиції щодо можливих змін схеми класифікації РАВ у цілях захоронення. Розглянуто концептуальний підхід до проектування сховищ для зберігання довгоіснуючих РАВ на майданчику комплексу виробництв «Вектор» та підходи щодо застосування вимог нормативних документів, принципів і критеріїв радіаційної безпеки в проектуванні сховищ для довготривалого зберігання РАВ та оцінки рівня їх безпеки.

Ключові слова: зона відчуження; довгоіснуючі відходи, критеріїв радіаційної безпеки.

А. В. Токаревский, С. Н. Кондратьев, З. М. Алексеева, Н. В. Рыбалка

Аспекты безопасности и оптимизации долговременного хранения радиоактивных отходов на площадке «Вектор»

Проанализированы связи между вариантом окончательного захоронения и потребностями в долгосрочном хранении радиоактивных отходов с учетом предложенной относительно возможных изменений схемы классификации РАО в целях захоронения. Рассмотрены концептуальный подход к проектированию хранилищ для хранения долгоживущих РАО на площадке комплекса производств «Вектор» и подходы к применению требований нормативных документов, принципов и критериев радиационной безопасности при проектировании хранилищ для длительного хранения РАО и оценке уровня их безопасности.

Ключевые слова: зона отчуждения; долгосуществующие отходы, критерии радиационной безопасности.

© О. В. Токаревський, С. М. Кондратьєв, З. М. Алексєєва, Н. В. Рибалка, 2015

Одним з основоположних принципів безпечного поводження з радіоактивними відходами [1] є необхідність врахування взаємозалежності між всіма стадіями поводження з РАВ — від їх утворення до захоронення включно, зокрема в діяльності, пов'язаній з довгостроковим зберіганням радіоактивних відходів.

Кінцевою метою будь-якої системи поводження з РАВ є ізоляція їх від навколишнього середовища і біосфери в сховищах, тип яких визначається рівнем і тривалістю потенційної небезпеки відходів.

За законодавством України [2], довгоіснуючі відходи підлягають захороненню тільки в стабільних геологічних формаціях. Відповідно до діючої класифікації [3, 4], до довгоіснуючих відходів будуть віднесені як певна кількість експлуатаційних відходів атомних станцій, так і значні обсяги РАВ чорнобильського походження, які характеризуються підвищеним вмістом довгоіснуючих радіонуклідів.

Передбачається, що до створення геологічного сховища довгоіснуючі РАВ зберігатимуться в спеціальних сховищах для довготривалого зберігання. В Україні планується побудувати низку таких сховищ на майданчику комплексу виробництв (КВ) «Вектор» у Чорнобильській зоні відчуження [5, 6], зокрема для довготривалого зберігання довгоіснуючих середньоактивних відходів (ДІ-САВ) та високоактивних відходів (ВАВ), осклованих ВАВ після переробки відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) українських АЕС, а також для відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання (ВДІВ).

Постачання на майданчик «Вектор» кондиційованих довгоіснуючих РАВ здійснюватиметься поступово (орієнтовно протягом 100 років), а тривалість їх зберігання і потрібні для цього потужності визначатимуться терміном введення в експлуатацію національного геологічного сховища, створення якого заплановано програмними та стратегічними документами України [5, 6]. На сьогоднішній день в Україні ще не розроблено концепцію проекту геологічного сховища.

Нещодавно проведено дослідження в рамках проекту INSC-U4.01/08-C, за результатами яких розроблено пропозиції щодо вдосконалення класифікації РАВ в Україні в цілях захоронення, яка базується на оцінках довгострокових ризиків захоронення [7]. Застосування для поводження з РАВ оновленої класифікації в цілях захоронення дасть змогу суттєво зменшити обсяги відходів, які потребуватимуть довготривалого зберігання, та уникнути в подальшому захоронення великих обсягів РАВ у геологічному сховищі.

Ціль статті — розглянути основні аспекти, на які треба звернути увагу під час організації довгострокового зберігання радіоактивних відходів в Україні, та концептуальний підхід до створення сховищ для зберігання довгоіснуючих РАВ на майданчику «Вектор».

Окрему увагу присвячено аналізу зв'язків між захороненням РАВ та довгостроковим зберіганням довгоіснуючих РАВ з огляду на пропозиції щодо можливої модифікації класифікації РАВ у цілях захоронення. Вирішення цього питання сприятиме оптимізації інтегрованої схеми поводження з РАВ у цілому, зокрема з точки зору довготривалого зберігання відходів.

У подальшому планується виконати детальний аналіз окремих аспектів безпеки, висвітлених у цій статті.

Концептуальний підхід до проектування сховищ

Враховуючи, що переробка та постачання на майданчик «Вектор» кондиційованих довгоіснуючих РАВ здійснюватиметься поступово (можливо, протягом 100 років), доцільно, щоб концепція сховищ довгоіснуючих РАВ враховувала їх поетапне будівництво та розширення відповідно до очікуваного постачання кондиційованих довгоіснуючих РАВ. При цьому терміни зберігання довгоіснуючих РАВ на подальших етапах розширення сховищ можуть зменшуватися, враховуючи фактичний стан створення геологічного сховища.

Детальний прогноз постачання кондиційованих РАВ на весь термін є неможливим через низку невизначеностей, але цілком можливо зробити укрупнений прогноз постачання РАВ від різних джерел їх утворення (обсяги, загальні активності, найважливіші характеристики з погляду на забезпечення безпеки). Цього може бути достатньо для розроблення загального концептуального проекту та визначення послідовності будівництва сховищ для довготривалого зберігання РАВ.

Така концепція може впливати на проектні рішення сховищ (наприклад, на компоновку з урахуванням можливого розширення зон, споруд, комунікацій, конфігурацію систем для поведіння з упаковками РАВ, інженерні бар'єри). Тому, як варіант, можна розробити загальний концептуальний проект сховищ для довгострокового зберігання РАВ з оптимізованими проектними рішеннями щодо зон зберігання, споруд, інфраструктури тощо.

Щоб проілюструвати зазначений концептуальний підхід, можна розглянути, наприклад, питання поведіння з деградованими та пошкодженими упаковками РАВ. Згідно з [1], у проекті сховища має бути передбачено обладнання для поведіння з такими упаковками, щоб усунути можливі наслідки розгерметизації упаковок РАВ. У наявній документації на перші сховища для довгострокового зберігання РАВ [8–10] цю вимогу не враховано (крім сховища для осклованих ВАВ). Як варіант вирішення цього питання, для системи сховищ КВ «Вектор» може бути створена єдина ділянка для поведіння з пошкодженими або деградованими упаковками певних типів.

Іншим важливим питанням є зв'язок довгострокового зберігання довгоіснуючих РАВ з подальшим їх захороненням у геологічному сховищі. На сьогодні це питання коректно не вирішене, оскільки в Україні немає концепції проекту геологічного сховища. Розроблення цієї концепції доцільно прискорити відповідно до завдань, визначених у [5, 6].

Загальна характеристика сховищ для довгострокового зберігання РАВ

Наведемо стислий опис сховищ для довготривалого зберігання довгоіснуючих РАВ та поточний стан їх створення на майданчику КВ «Вектор» у Чорнобильській зоні відчуження.

Сховище осклованих ВАВ. На АЕС України на сьогоднішній день експлуатуються реактори двох типів: ВВЕР-440 та ВВЕР-1000.

Згідно з [10], передбачається будівництво сховища для проміжного зберігання осклованих ВАВ після переробки ВЯП українських АЕС з реакторами ВВЕР-440. Сховище призначене для приймання, підготовки до зберігання та проміжного довгострокового зберігання осклованих ВАВ.

Проектна потужність сховища — 550 м³ (1008 упаковок). Проектний термін приймання ВАВ до сховища — 30 років, термін зберігання упаковок ВАВ — не більше 100 років.

Питання довгострокового зберігання осклованих ВАВ від переробки ВЯП реакторів ВВЕР-1000 залишається відкритим.

Сховища ДІ-САВ та ВАВ. У [8, 9] передбачено «одностадійне» будівництво сховища (тобто без введення пускових комплексів) та фіксований термін зберігання всіх ДІ-САВ та ВАВ протягом 100 років. Це не є оптимальним рішенням у контексті наведених вище пропозицій щодо концептуального підходу стосовно доцільності поетапного введення нових потужностей для зберігання з урахуванням фактичного графіка надходження РАВ.

При цьому у [8, 9] наведено однакові вимоги до конструкції як сховищ для ДІ-САВ, так і сховищ для ВАВ. Різниця полягає лише в типах контейнерів, які передбачається використовувати у сховищах.

У [8, 9] не наведено конкретних розмірів сховищ для ДІ-САВ та ВАВ, а також обсягів РАВ, що можуть бути розміщені в них.

Централізоване сховище відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання (ЦСВДІВ). Сховище призначене для приймання, ідентифікації, сортування, обробки, паспортизації та подальшого роздільного зберігання відпрацьованих джерел альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання закритого типу (ВДІВ) до їхньої передачі на захоронення, зокрема частково і до геологічного сховища. Термін експлуатації ЦСВДІВ становить 50 років, охоплюючи строк зберігання.

До ЦСВДІВ планується передавати ВДІВ, що в даний момент перебувають на зберіганні на спецкомбінатах ДК УкрДО «Радон», а також ті, що використовуються різними установами та підприємствами України.

Будівництво сховища закінчено, найближчим часом воно буде введене в експлуатацію.

Під час експертизи документації з обґрунтувань безпеки ЦСВДІВ рекомендовано, розробляючи підходи до сортування ВДІВ у сховищі, виходити з часу досягнення критеріїв приймання для захоронення в приповерхнево-му сховищі. ВДІВ, що не можуть бути захоронені в приповерхнево-му сховищі, мають відсортовуватися окремо та в подальшому підлягатимуть захороненню в геологічному сховищі. Однак при цьому може виникнути питання щодо подальшого поведіння з ВДІВ, які підлягають захороненню в геологічному сховищі, якщо таке сховище не буде введене в експлуатацію до завершення строку експлуатації ЦСВДІВ (50 років).

Аналіз потреб у довготривалому зберіганні довгоіснуючих РАВ

Вихідні дані, на яких базуються оцінки потреб у сховищах для довготривалого зберігання РАВ, характеризуються значними розбіжностями та невизначеностями. Так, у [11] для визначення потреб у потужностях для довготривалого зберігання ДІ-САВ виходили з припущення, що до цього типу відходів будуть віднесені близько 10 % усіх низькоактивних відходів (НАВ) та САВ аварійного походження. За такого припущення очікувана кількість ДІ-САВ оцінюється приблизно в 127000 м³. Окремо оцінювали необхідні потужності сховищ для довготривалого зберігання ВАВ (приблизно 100000 м³), а також осклованих ВАВ після переробки ВЯП

(330 м³ від реакторів ВВЕР-440 та близько 1000 м³ від реакторів ВВЕР-1000). При цьому в оцінці в явному вигляді не враховано ДІ-САВ та ВАВ від експлуатації АЕС України.

У [7, 12, 13] запропоновано дещо інший підхід до розподілення обсягів РАВ усіх категорій активності (які накопичені або прогножуються в Україні) на типи за критерієм допустимості їх захоронення відповідно у поверхневих, приповерхневих або геологічних сховищах. Для відходів, що генеруються у штатному режимі експлуатації об'єктів атомної промисловості, приймалося, що до РАВ, які підлягають захороненню в глибоких геологічних формаціях, відноситимуться тільки відходи категорії ВАВ (як теплогенеруючі, так і низькотемпературні, зокрема і ВЯП, що не переробляється, у разі його визначення відходами). Очевидно, що до довгоіснуючих РАВ можуть бути віднесені й певні обсяги НАВ та САВ, якщо вміст довгоіснуючих радіонуклідів у їх складі перевищуватиме допустимі концентрації для захоронення у приповерхневих сховищах. Однак зроблене в [7, 12] припущення можна вважати консервативним, оскільки певну частку ВАВ можна буде віднести до короткоіснуючих РАВ, якщо у складі таких ВАВ міститимуться винятково короткоіснуючі радіонукліди.

Беручи до уваги радіонуклідний склад аварійних РАВ чорнобильського походження, в [7, 12] до довгоіснуючих віднесено всі середньо- та високоактивні РАВ. Водночас усі НАВ аварійного походження розглядалися як короткоіснуючі з урахуванням можливості встановлення менш жорстких критеріїв приймання таких відходів на захоронення у приповерхневі сховища Чорнобильської зони відчуження.

Таким чином, оцінки у [7, 12] є більш повними та значно консервативнішими щодо обсягів ДІ-САВ, ніж у [11].

Виходячи з наведених у [7, 11, 12] даних, проаналізуємо достатність запланованих потужностей сховищ для довгострокового зберігання довгоіснуючих відходів — осклованих ВАВ, ДІ-САВ та ВАВ*.

Стосовно ДІ-САВ та ВАВ, у [11] є згадка з посиланням на ТЕО 2-ї черги КВ «Вектор» [13] про те, що місткість модулів для зберігання становитиме 13 000 м³ для ДІ-САВ та 3 500 м³ для ВАВ. Проте ці дані не знаходять підтвердження в [8, 9].

Водночас, за грубими оцінками, наведеними в [12], обсяги ДІ-САВ, які потребують довгострокового зберігання, становитимуть близько 670 тис. м³, обсяги ВАВ — близько 59 тис. м³ (52 тис. м³ аварійних та 6,3 тис. м³ експлуатаційних РАВ).

Незважаючи на зазначені невизначеності з місткості модулів сховищ, очевидно, знадобиться велика кількість модулів за умов, що:

застосовуватиметься чинна класифікація РАВ відносно способу їх захоронення;

всі ДІ-САВ та ВАВ одночасно зберігатимуться у сховищах КВ «Вектор».

Обсяги осклованих ВАВ від переробки ВЯП реакторів ВВЕР-440 дорівнюють приблизно 330 м³ [11]. Тому можна вважати, що місткість сховища (550 м³) для довгострокового зберігання ВАВ є достатньою для зберігання осклованих ВАВ від реакторів ВВЕР-440. При цьому, як зазначалося вище, питання переробки та довгострокового зберігання ВАВ від переробки ВЯП реакторів ВВЕР-1000 залишається відкритим.

* До аналізу не включено потреби у зберіганні високоактивних ВДІВ, оскільки питання довгострокового зберігання таких ВДІВ, принаймні на найближчі 50 років, вирішено (зберігання у ЦСВДІВ).

Проектні критерії та вимоги

Сховища для довгострокового зберігання довгоіснуючих РАВ розміщуватимуться на майданчику «Вектор», у межах якого протягом багатьох років заплановано вести паралельно будівництво, експлуатацію, зняття з експлуатації (закриття) об'єктів з переробки, а також сховищ для зберігання та захоронення РАВ [13]. На майданчику «Вектор» вже побудовано спеціально обладнане приповерхнє сховище для захоронення 50 тис. м³ перероблених НАВ та САВ Чорнобильської АЕС і, крім того, як зазначалося, — ЦСВДІВ. Закінчується будівництво двох приповерхневих сховищ для захоронення РАВ чорнобильського походження (ТРВ-1 та ТРВ-2) загальною місткістю 20,5 тис. м³. У подальшому заплановано звести ще ряд сховищ для захоронення РАВ від експлуатації та зняття з експлуатації діючих АЕС України, інших ядерних установок, перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему.

Критерії радіаційного захисту. Однією з основних вимог до проектування сховищ для довгострокового зберігання РАВ на майданчику «Вектор» є забезпечення дотримання критеріїв радіаційного захисту з урахуванням розміщення на майданчику сукупності об'єктів з переробки, зберігання та захоронення РАВ.

Радіаційно-гігієнічні регламенти з радіаційного захисту, визначені чинними документами України [3, 14], обмежують поточне і потенційне опромінення персоналу та населення.

Стосовно поточного опромінення, нормами радіаційної безпеки України [3, 14] встановлено ліміти доз опромінення персоналу і населення. Зокрема, річна індивідуальна ефективна доза опромінення населення від усіх індустриальних джерел іонізуючого випромінювання не повинна перевищувати 1 мЗв [14]. Також встановлено квоти ліміту дози поточного опромінення населення від окремих об'єктів, призначених для поводження з РАВ (кожного окремого сховища для зберігання РАВ, об'єкта з переробки РАВ та сховища для захоронення РАВ на етапі його експлуатації та на період після завершення інституційного контролю). Стосовно потенційного опромінення, в [3] визначено референтні ймовірності критичних подій та відповідні допустимі значення ефективних доз потенційного опромінення персоналу і населення.

Щоб обґрунтувати достатність радіаційного захисту на період експлуатації сховищ для довгострокового зберігання РАВ на майданчику «Вектор», у [15] пропонується розглядати впливи: на персонал, який безпосередньо працює на майданчику «Вектор»; на персонал, який працює на суміжних з майданчиком «Вектор» об'єктах у межах зони відчуження (ЗВ); на критичні групи населення, яке може проживати за межами ЗВ.

Як критерій обмеження доз поточного опромінення критичних груп населення від сукупності всіх об'єктів на майданчику «Вектор» у період експлуатації сховищ для довгострокового зберігання рекомендовано використовувати квоту від ліміту дози, а саме 0,3 мЗв/рік. Береться до уваги, що особи з критичних груп населення, ймовірно, можуть опромінюватися, крім майданчика «Вектор», ще й внаслідок наявності інших джерел випромінювання в зоні відчуження (зокрема, ПЗРВ «Буряківка» та забруднення самої ЗВ).

Із застосуванням у процесі проектування кожного окремого об'єкта КВ «Вектор» санітарно-гігієнічних

регламентів, визначених чинними нормами радіаційної безпеки України, а саме: 0,08 мЗв/рік для об'єкта з переробки або сховища для зберігання РАВ та 0,04 мЗв/рік для окремого сховища для захоронення РАВ, — може виявитися, що загальний вплив на критичну групу населення від усіх об'єктів на майданчику перевищить критерій 0,3 мЗв/рік. Враховуючи цю обставину, рекомендовано виконати інтегровану оцінку впливу від усіх об'єктів та, виходячи з неї, визначити (відкоригувати) квоти для кожного окремого об'єкта [15, 16].

Опромінення персоналу регламентується відповідно до вимог [3, 14]. Персонал КВ «Вектор» розглядається як персонал категорії А, а персонал суміжних об'єктів рекомендується розглядати як персонал категорії Б [15, 16]. Можливо, що найкритичнішим у розробці проектів сховищ для довготривалого зберігання буде саме критерій обмеження радіологічних впливів на персонал суміжних об'єктів (2 мЗв/рік), оскільки поблизу майданчика «Вектор» заплановано побудувати Централізоване сховище для зберігання ВЯП. Цей факт необхідно враховувати в процесі проектування сховищ для довгострокового зберігання РАВ.

У [15] визначено обмеження доз потенційного опромінення від усіх об'єктів, призначених для поводження з РАВ на майданчику «Вектор», залежно від імовірності критичної події відповідно до вимог [14]. Зокрема, річна доза потенційного опромінення населення і персоналу суміжних об'єктів (якщо ймовірність критичної події лежить в інтервалі $1 \cdot 10^{-2} \dots 2 \cdot 10^{-5}$ /рік) не повинна перевищувати 50 мЗв. Беручи це до уваги, в [15, 16] рекомендовано проводити інтегровані оцінки наслідків таких вихідних подій, які можуть одночасно впливати на всю систему об'єктів (наприклад, екстремальні природні події — землетрус, смерч) з урахуванням загальних активностей РАВ, які одночасно можуть зберігатися в сховищах на майданчику «Вектор».

Вимоги до інженерних бар'єрів. Інженерні бар'єри сховищ мають забезпечувати надійну ізоляцію довгоіснуючих РАВ протягом терміну довгострокового зберігання, тобто дотримання перелічених вище радіаційно-гігієнічних регламентів, з можливістю подальшого вилучення упаковок РАВ з метою захоронення [1, 17].

Щоб виконати цю вимогу, мають забезпечуватися, зокрема: 1) довговічність інженерних бар'єрів до 100 років (або на передбачений проектом термін експлуатації сховища); 2) стійкість інженерних бар'єрів до впливів, обумовлених можливими природними та техногенними подіями.

Як основні інженерні бар'єри під час довгострокового зберігання РАВ можна розглядати контейнери, що забезпечують ізоляцію РАВ та споруди для зберігання упаковок РАВ. Тому треба буде підтвердити здатність системи «контейнер+споруда» забезпечувати надійну ізоляцію РАВ протягом періоду зберігання з урахуванням фізико-хімічних процесів усередині упаковок РАВ та можливих впливів на будівельні конструкції сховища в період зберігання РАВ. Так, для зберігання ДІ-САВ протягом 100 років планується використовувати залізобетонні контейнери типу КТЗ-3.0. У проектах сховищ для захоронення РАВ на майданчику «Вектор» передбачається, що ці контейнери виконуватимуть бар'єрну функцію (з певною деградацією) протягом 300 років. Проте потребує підтвердження їх прийнятності для довгострокового зберігання РАВ, враховуючи відмінності впливів на контейнер під час зберігання та під час захоронення, а також необхідність вилучення

контейнерів після закінчення проектного терміну зберігання та подальшого передавання на захоронення.

Первинні упаковки з осклованими ВАВ від переробки ВЯП українських АЕС передбачено розміщувати в контейнери з нержавіючої сталі, які герметизуються за допомогою зварювання. Така упаковка може забезпечити достатню довговічність ізоляції РАВ, але за умови сумісності нержавіючої сталі з матеріалом первинних упаковок.

Для ВДІВ, що розміщуватимуться в ЦСВДІВ, інженерними бар'єрами (системою «контейнер+споруда») будуть конструктивні елементи сховища, які виконують, зокрема, функцію біозахисту (прямки та комірки зберігання), а також сертифіковані контейнери та капсули, в яких зберігатимуться ВДІВ.

Оцінюючи стійкість інженерних бар'єрів сховища, потрібно виконувати, зокрема, розрахункові оцінки потенційного опромінення внаслідок реалізації малоімовірних екстремальних зовнішніх подій. При цьому як критерії оцінки мають використовуватися радіаційно-гігієнічні регламенти обмеження потенційного опромінення (наприклад, для неперевищення дози потенційного опромінення населення та персоналу суміжних об'єктів 50 мЗв/рік рекомендується консервативно забезпечити запобігання руйнуванню бар'єрів контейнерів у разі впливів зовнішніх подій, які можуть відбутися з імовірністю до $2 \cdot 10^{-5}$ /рік).

Природними подіями, які можуть призвести до найбільших впливів на інженерні бар'єри одночасно всіх або кількох сховищ, розміщених на майданчику «Вектор», є землетрус та смерч. Максимальний розрахунковий землетрус з імовірністю 10^{-4} /рік має інтенсивність 6 балів за шкалою MSK. Максимальні смерчі, що можуть відбуватися в районі розташування майданчика «Вектор», мають клас F3.0 (імовірність 10^{-6} /рік). Стійкість до цих впливів упаковок РАВ, а також модулів та (або) будівлі сховища може бути забезпечена за сучасного рівня розвитку інженерних технологій. Тому рекомендується враховувати вимоги щодо стійкості до зазначених екстремальних природних зовнішніх подій.

Водночас забезпечення стійкості у разі таких техногенних подій, як падіння літака або вибух, є проблематичним. Щоб запобігти можливому падінню літака, рекомендується застосувати заходи щодо заборони польотів над районом розміщення майданчика «Вектор» аналогічно тому, як це передбачається для майданчика Чорнобильської АЕС. У зоні відчуження не планується створювати індустриальні підприємства з вибухонебезпечними технологіями; обсяги одночасного транспортування вибухонебезпечних речовин мають бути обмеженими (це також реалізується на майданчику ЧАЕС).

Таким чином, можливо і необхідно забезпечити стійкість інженерних бар'єрів сховища в разі екстремальних природних подій, а також мінімізацію виникнення техногенних подій організаційними заходами.

Тим не менше, потрібно зробити інтегровані оцінки потенційного опромінення з урахуванням загальних активностей РАВ, що можуть одночасно зберігатися в сховищах на майданчику «Вектор», з одночасними впливами екстремальних подій на всю систему сховищ. Ці оцінки можуть бути використані в обґрунтуванні критеріїв стійкості інженерних бар'єрів сховищ (наприклад, для неперевищення дози потенційного опромінення персоналу суміжних об'єктів 50 мЗв/рік треба забезпечити запобігання руйнуванню бар'єрів контейнерів у разі впливів зовнішніх подій з імовірностями до $2 \cdot 10^{-5}$ /рік).

Оптимізація довгострокового зберігання РАВ на майданчику «Вектор»

Оптимізація графіка надходження довгоіснуючих РАВ на КВ «Вектор». Виходячи з наведеної в [11] інформації, постачання ДІ-САВ та ВАВ до сховищ прогнозується під час зняття з експлуатації енергоблоків ЧАЕС, перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему, ліквідації в ЗВ пунктів тимчасової локалізації РАВ тощо. Ця діяльність і, відповідно, утворення й постачання ДІ-САВ та ВАВ для довгострокового зберігання КВ «Вектор» здійснюватиметься не одночасно, а поступово, протягом приблизно 50—100 років, до створення геологічного сховища.

Враховуючи це, концепція сховищ ДІ-САВ та ВАВ має передбачити їх поетапне розширення відповідно до очікуваного постачання ДІ-САВ та ВАВ. При цьому терміни зберігання ДІ-САВ та ВАВ для подальших етапів розширення сховищ зменшуватимуться, враховуючи наближення терміну створення геологічного сховища.

Аналізуючи питання довгострокового зберігання РАВ на майданчику «Вектор», треба також брати до уваги, що в Україні існують або можуть бути створені й інші об'єкти для довгострокового зберігання РАВ. Тому необхідність і доцільність розширення потужностей сховищ мають бути скоординовані зі стратегічними та програмними завданнями у сфері поводження з РАВ у цілому. Так, на майданчику Чорнобильської АЕС вже введено в експлуатацію тимчасове сховище з проектним терміном зберігання 30 років низько- та середньоактивних довгоіснуючих відходів і високоактивних відходів, які утворюватимуться в процесі сортування РАВ на заводі з переробки твердих відходів ЧАЕС, проведення робіт на об'єкті «Укриття», експлуатації СВЯП-2, зняття з експлуатації ЧАЕС [18]. Обсяги та приблизний термін вилучення РАВ з пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів у ЗВ, а отже, й потреби у сховищах для довготривалого зберігання також чітко не визначені і будуть визначені лише за результатами оцінок безпеки відповідно до прийнятих критеріїв щодо реабілітації забруднених територій [19].

Зазначимо, вирішення перелічених питань впливатиме на потреби в кількості сховищ (потужність сховищ) для довгострокового зберігання РАВ, а також на встановлення відповідних квот лімітів доз для кожного конкретного сховища в межах майданчика «Вектор». Тому доцільно виконати прогнозу оцінку обсягів та послідовності постачання РАВ для довгострокового зберігання на КВ «Вектор» з урахуванням усіх невизначеностей та очікуваного графіка надходження РАВ від різних джерел.

Оптимізація обсягів довгострокового зберігання внаслідок впровадження модифікованої класифікації РАВ у цілях захоронення. Законодавством України передбачено захоронення довгоіснуючих РАВ у геологічних сховищах, що розміщуються в глибинних стабільних геологічних формаціях на глибині сотень метрів і більше від поверхні землі [2—4]. При цьому не виділяють РАВ, які можуть бути захоронені на проміжних глибинах (до кількох сотень метрів), та високоактивні теплогенеруючі РАВ, які мають захоронюватися у стабільних глибоких геологічних формаціях (більше кількох сотень метрів), як це прийнято в міжнародній практиці [20].

З урахуванням рекомендацій щодо модифікації чинної схеми класифікації РАВ у цілях захоронення було показано [7, 12, 21], що введення замість двох типів РАВ (короткоіснуючих та довгоіснуючих, прийнятих для захоронення,

відповідно, у приповерхневих або геологічних сховищах) шести класів РАВ, які можуть бути захоронені в одному з чотирьох типів сховищ, суттєво зменшить обсяги РАВ, які потребуватимуть захоронення в глибинному геологічному сховищі (більше, ніж у 10 разів).

Оскільки поводження з ДІ-САВ та ВАВ потребує суттєвих економічних витрат, пов'язаних не тільки з їх захороненням, але й з проміжним довгостроковим зберіганням, доцільно оптимізувати обсяги та варіанти довготривалого зберігання РАВ з урахуванням пропозицій міжнародних експертів щодо модифікації національної класифікації РАВ у цілях захоронення [7, 12]. Так, за оновленою класифікацією, до класу ВАВ із захороненням у глибокому геологічному сховищі будуть віднесені тільки високоактивні тепловидільні РАВ, питоме тепловиділення яких перевищує $2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-3}$ (оскловані ВАВ після переробки ВЯП, неперероблене ВЯП тощо). Загальні обсяги таких ВАВ оцінюються приблизно в 1200 м^3 РАВ та 3000 т непереробленого ВЯП (у разі, якщо ВЯП декларуватиметься як відходи) [12]. До класу ВАВ також відноситимуться деякі ВДІВ з урахуванням типу та активності конкретного ВДІВ. Усі інші ВАВ, тепловиділення яких менше за $2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-3}$, зокрема ВАВ аварійного походження (з об'єкта «Укриття», проммайданчика ЧАЕС, пунктів захоронення та пунктів тимчасової локалізації РАВ у ЗВ), будуть переведені до класу САВ і зможуть захоплюватися у сховищах на проміжних глибинах (усього близько 60 тис. м^3 РАВ)*.

Зазначимо, що внаслідок наявності у складі РАВ чорнобильського походження (а це основні обсяги РАВ в Україні) трансуранових елементів велика кількість відходів категорії САВ за чинними вимогами має відноситися до довгоіснуючих, тобто потребуватиме зберігання у сховищах для ДІ-САВ. Однак у разі прийняття оновленої класифікації та враховуючи захоронення таких РАВ у межах зони відчуження, САВ чорнобильського походження можуть бути віднесені (принаймні частково) до класу «низькоактивні відходи» (НАВ), які можуть бути захоронені у приповерхневих сховищах, що зменшить потреби в потужностях для довгострокового зберігання РАВ.

Оскільки сховища для довгострокового зберігання ДІ-САВ та ВАВ перебувають лише на стадії розробки проекту або ТЕО, доцільно визначати потреби у відповідних сховищах для довготривалого зберігання з урахуванням оптимізованої схеми поводження з РАВ на основі оновленої класифікації відходів. Зокрема, виходячи з проведеного аналізу, можна розглянути, наприклад, такий варіант:

1. Заплановані в рамках ТЕО сховище для зберігання ДІ-САВ та сховище для зберігання ВАВ об'єднуються в об'єкт, який призначатиметься для всіх РАВ, що відносяться до класу САВ за новою класифікацією. При цьому слід оцінити обсяг таких РАВ, пріоритетність та графік їх надходження.

2. Сховище для зберігання осклованих ВАВ модифікується та розраховується на всі ВАВ, що за новою класифікацією потребують обов'язкового захоронення в глибинних геологічних формаціях. Як показано в [12], обсяг таких ВАВ буде відносно невеликим, хоча й вищим за задекларовану в ТЕО місткість сховища для осклованих ВАВ від реакторів ВВЕР-440. Тому на етапі проектування сховища можна розглянути можливість його подальшої

* Це не відкидає можливості захоронення відходів класу САВ разом з відходами класу ВАВ у глибинному геологічному сховищі.

модифікації та (або) розширення, щоб забезпечити зберігання всього обсягу ВАВ за новою класифікацією.

3. ЦСВДІВ побудовано та вводиться в експлуатацію, але підходи до сортування ВДІВ на потоки бажано переглянути, зокрема в залежності від прийнятності для захоронення конкретних ВДІВ у певному типі сховищ: наприклад, окремо виділяти ВДІВ, що можуть захоронюватися як САВ на проміжній глибині, або ВАВ (якщо такі будуть), що можуть захоронюватися в глибокому геологічному сховищі.

Висновки

1. Доцільно застосувати підхід щодо поетапного створення сховищ для довгострокового зберігання РАВ у рамках єдиної концепції з урахуванням реальних обсягів постачання РАВ, приблизних термінів створення геологічного сховища, а також дозових обмежень, беручи до уваги одночасне існування багатьох радіаційно-небезпечних об'єктів на майданчику «Вектор».

2. З метою оптимізації інтегрованої схеми поводження з РАВ доцільно, створюючи сховища для довгострокового зберігання РАВ, враховувати модифіковану схему класифікації РАВ у цілях захоронення.

3. Обсяги РАВ, що розміщуються на довгострокове зберігання, мають визначатися на основі оцінок інтегрованих впливів (поточного і потенційного опромінення) на персонал та населення з урахуванням загальних активностей нуклідів у РАВ, що можуть одночасно зберігатися в усіх сховищах на майданчику «Вектор».

4. Плануючи потреби довгострокового зберігання РАВ на майданчику КВ «Вектор», доцільно враховувати наявність та плани щодо створення сховищ для довгострокового зберігання РАВ на інших майданчиках, зокрема на ЧАЕС та інших АЕС України.

Список використаної літератури

1. *НП 306.4.143-2008*. Вимоги та правила довгострокового зберігання довгоіснуючих та високоактивних радіоактивних відходів до їх захоронення в глибоких геологічних формаціях // Офіційний вісник України. — 2008. — № 17. — С. 72.

2. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995 № 255/95-ВР // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 1995. — № 27. — С. 198.

3. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Державні гігієнічні нормативи (ДГН 6.6.1-6.6.061-2000). — К., 2000. — 80 с.

4. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ДСП 6.177-2005-09-02) // Офіційний вісник України. — 2005. — № 23. — С. 197.

5. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні // Офіційний вісник України. — 2009. — № 65. — С. 25.

6. Закон України «Про загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з РАВ» від 17.09.2008 № 516-VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2009. — № 5. — С. 130.

7. Предложения по внедрению новой системы классификации РАО в регуляторную структуру Украины : проект INSC-U4.01/08-С, ноябрь 2012. — Электронно-оптический диск (CD-ROM).

8. Задание на проектирование хранилища для СА-ДСО, ред. 3. Проект U4.02/08. — 2011. — 40 с.

9. Задание на проектирование хранилища для ВАО, ред. 3. Проект U4.02/08. — 2011. — 39 с.

10. Технико-экономическое обоснование инвестиций строительства хранилища для промежуточного хранения ВАО, возвращаемых из РФ после переработки отработавшего ядерного топлива Украинских АЭС. — Т. 1 : Общая пояснительная записка. — Желтые Воды : ГП «НТЦ КОРО», 2012. — 160 с.

11. Оценка отходов и исходных данных. Проект U4.02/08. — 2011. — 70 с.

12. Схема классификации радиоактивных отходов для обеспечения долгосрочной безопасности захоронения / Проскура Н. И., Шестопалов В. М., Зинкевич Л. И., Шибецкий Ю. А., Алексеева З. М., Жебровская Е. И. // Ядерна та радіаційна безпека. — 2014. — Вип. 2 (62). — С. 37—43.

13. Техніко-економічне обґрунтування інвестицій у будівництво другої черги комплексу виробництв «Вектор». — Затвердж. розпорядж. КМУ від 23.12.2009 № 1605-р.

14. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. — К. : Укр. центр держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. — 125 с.

15. Проект INSC — UK/TS/39. Підзадача 1a : Керівництво з оцінки загального впливу майданчика «Вектор» з багатьма об'єктами, призначеними для переробки, зберігання та захоронення радіоактивних відходів. — 2013.

16. Комплексна оцінка безпеки поводження з радіоактивними відходами на майданчику «Вектор» / З. М. Алексеева, С. М. Кондратьев — Є. О. Ніколаєв, О. А. Миколайчук, О. А. Макаровська, Н. В. Рибалка // Ядерна та радіаційна безпека. — 2013. — Вип. 2 (58). — С. 43—48.

17. Storage of Radioactive Waste : Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2006. — 67 p. — (IAEA Safety Standards, No. WS-G-6.1).

18. Національна доповідь «Про виконання Україною зобов'язань, що випливають з Об'єднаної Конвенції про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами». — К., 2014.

19. Проект INSC — UK/TS/39. Підзадача 3.1: Керівництво з оцінки безпеки пунктів тимчасової локалізації аварійних радіоактивних відходів в Чорнобильській зоні відчуження. — 2015.

20. Classification of Radioactive Waste : Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2009. — 68 p. — (IAEA Safety Standards, No. GSG-1).

21. Оценка эффективности внедрения в Украине новой схемы классификации радиоактивных отходов / Проскура Н. И., Шестопалов В. М., Зинкевич Л. И., Шибецкий Ю. А., Алексеева З. М., Жебровская Е. И. // Ядерна та радіаційна безпека. — 2015. — Вип. 1(65). — С. 34—40.

22. Закон України «Про правовий режим території, що знала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» // Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР). — 1991. — № 16. — Ст. 198.

References

1. *NP 306.4.143-2008*. Requirements and Rules of Long-Term Storage of Long-Lived and High-Level Radioactive Waste Till Disposal in Deep Geological Formations [Vymohy ta pravyla dovhostrokovoho zberihannia dovhoisnuiuchykh ta vysokoaktyvnykh radioaktyvnykh vidkhodiv do yikh zakhoronennia v hlybokyykh heolohichnykh formatsiakh], Official Journal of Ukraine, 2008, No. 17, 72 p. (Ukr)

2. Law of Ukraine "On Radioactive Waste Management" dated 30 June 1995 No. 255/95-VR [Zakon Ukrainy "Pro povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy" vid 30.06.1995 No. 255/95-VR], Journal of the Verkhovna Rada of Ukraine, 1995, No. 27, 198 p. (Ukr)

3. Radiation Safety Standards of Ukraine. Addition: Radiation Protection against Potential Radiation Sources (NRBU-97/D-2000). State Health and Safety Regulations (DGN 6.6.1-6.6.061-2000) [Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy. Dopovnnennia: Radiatsiinyi zakhyst vid dzherel potentsiinoho oprominennia (NRBU-97/D-2000). Derzhavni hihienichni normatyvy (DGN 6.6.1-6.6.061-2000)], Kyiv, 2000, 80 p. (Ukr)

4. Basic Health and Safety Rules for Radiation Safety in Ukraine (DSP 6.177-2005-09-02) [Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (DSP 6.177-2005-09-02)], Official Journal of Ukraine, 2005, No. 23, 197 p. (Ukr)

5. Radioactive Waste Management Strategy in Ukraine [Stratehiia povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy v Ukraini], Official Journal of Ukraine, 2009, No. 65, 25 p. (Ukr)
6. Law of Ukraine “On National Target Environmental Program of Radioactive Waste Management” No. 516-VI dated 17 September 2008 [Zakon Ukrainy “Pro zahalnoderzhavnu tsiliovu ekolohichnu prohramu povodzhennia z RAV” vid 17.09.2008 No. 516-VI], Journal of the Verkhovna Rada of Ukraine, 2009, No. 5, 130 p. (Ukr)
7. Proposals on Implementation of a New Radioactive Waste Classification System into Regulatory Structure of Ukraine: Project INSC-U4.01/08-C, November 2012 [Predlozheniia po vnedrenniui novoiu sistemy klassifikatsii RAO v reguliatornuui strukturu Ukrainy: Proekt INSC-U4.01/08-C, noiabr 2012], available at CD-ROM. (Rus)
8. Task Order on Design of Storage Facility for Intermediate-Level Long-Lived Waste, Rev. 3, Project U4.02/08 [Zadaniie na proektirovaniie khranilishcha dlia SA-DSO, red. 3. Proekt U4.02/08], 2011, 40 p. (Rus)
9. Task Order on Design of Storage Facility for High-Level Waste, Rev. 3. Project U4.02/08 [Zadaniie na proektirovaniie khranilishcha dlia VAO, red. 3. Proekt U4.02/08], 2011, 39 p. (Rus)
10. Feasibility Study of Investment into Construction of Facility for Interim Storage of Radwaste Returned from the Russian Federation after Processing of Spent Nuclear Fuel from Ukrainian NPPs [Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovaniie investitsii stroitelstva khranilishcha otrabotavshogo yadernogo topliva Ukrainskikh AES], Volume 1: General Explanatory Note, Zheltyie Vody, STC KORO, 2012, 160 p. (Rus)
11. Assessment of Waste and Input Data. Project U4.02/08 [Otsenka otkhodov i iskhodnykh dannykh. Proekt U4.02/08], 2011, 70 p. (Rus)
12. Proskura, N. I., Shestopalov, V. M., Zinkevich, L. I., Shybetskiy, Yu. A., Alekseeva, Z. M., Zhebrovskaia E. I. (2014), “Radioactive Waste Classification for Long-Term Disposal Safety” [Skhema klassifikatsii radioaktivnykh otkhodov dlia obespecheniia dolgosrochnoi bezopasnosti zakhoronniia], Nuclear and Radiation Safety, No. 2(62), pp. 37–43. (Rus)
13. Feasibility Study of Investments into Construction of Vektor Stage II [Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannia investytsii u budivnytstvo druhoi cherhy kompleksu vyrobnystv “Vektor”], approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1605-r dated 23 December 2009. (Ukr)
14. Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97). State Health and Safety Regulations [Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97). Derzhavni hihienichni normatyvy], Kyiv, Ukrainian Center of State Health and Safety Oversight, Ministry of Health of Ukraine, 1997, 125 p. (Ukr)
15. Project INSC — UK/TS/39. Subtask 1a: Guide on Assessing General Impact of the Vector Site with Multiple Facilities Designed for Processing, Storage and Disposal of Radioactive Waste [Proekt INSC — UK/TS/39. Pidzadacha 1a: Kerivnytstvo z otsinky zahalnoho vplyvu maidanchyka “Vektor” z bahatma obiekty, pryznachenyi dlia pererobky, zberihannia ta zahoronennia radioaktyvnykh vidkhodiv], 2013. (Ukr)
16. Alekseeva, Z. M., Kondratiev, S. M., Nikolaiev, Ye. O., Mykolaichuk, O. A., Makarovska, O. A., Rybalka, N. V. (2013), “Comprehensive Assessment of Radioactive Waste Management at the Vector Site” [Kompleksna otsinkabezpeky povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy na maidanchyku “Vektor”], Nuclear and Radiation Safety, 2013, No. 2(58), pp. 43–48. (Ukr)
17. Storage of Radioactive Waste: Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2006, 67 p., (IAEA Safety Standards, No. WS-G-6.1).
18. National Report of Ukraine “On Compliance with Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management” [Natsionalna dopovid “Pro vykonannia Ukrainoiu zoboviazan, shcho vyplyvaiut z Obiednanoi Konventsii pro bezpeku povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy], Kyiv, 2014. (Ukr)
19. Project INSC — UK/TS/39. Subtask 3.1: Guide on Safety Assessment of Radioactive Waste Interim Confinement Points in the Chernobyl Exclusion Zone [Proekt INSC — UK/TS/39. Pidzadacha 3.1: Kerivnytstvo z otsinky bezpeky punktiv tymchasovoi lokalizatsii avariinykh radioaktivnykh vidkhodiv v Chernobylskii zoni vidchuzhennia], 2015. (Ukr)
20. Classification of Radioactive Waste: Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2009, 68 p. (IAEA Safety Standards, No. GSG-1).
21. Proskura, N. I., Shestopalov, V. M., Zinkevich, L. I., Shybetskiy, Yu. A., Alekseeva, Z. M., Zhebrovska, E. I. (2015), “Evaluating the Effectiveness of Implementing New Classification for Radioactive Waste in Ukraine” [Otsenka effektivnosti vnedreniia v Ukraine novoi skhemy klassifikatsii radioaktivnykh otkhodov], Nuclear and Radiation Safety, No. 1(65), pp. 34–40. (Rus)
22. Law of Ukraine “On Legal Status of the Territory Radioactively Contaminated Resulting from the Chernobyl Accident” [Zakon Ukrainy “Pro pravovyi rezhym terytorii, shcho zaznala radioaktivnoho zabrudnennia vnaslidok Chornobylskoi katastrofy”], Journal of the Verkhovna Rada of Ukrainian SSR, 1991, No. 16, Art. 198. (Ukr)

Отримано 23.10.2015.