

Аналіз аспектів безпеки захоронення відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання

■ **Токаревський О. В.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1064-7911>

■ **Фузік К. В.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4820-8949>

■ **Кондратьєв С. М.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2405-4313>

■ **Алексєєва З. М.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1373-353X>

Джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) широко використовуються в усьому світі в сільському господарстві, промисловості, медицині та різних сферах досліджень.

Якщо подальша експлуатація ДІВ не передбачається та приймається рішення щодо переведення відпрацьованих ДІВ (ВДІВ) до категорії радіоактивних відходів (РАВ), то має бути забезпечена можливість довгострокового зберігання та захоронення ВДІВ як РАВ відповідно до застосованих нормативних вимог. Захоронення ВДІВ як РАВ є завершальною стадією безпечного та надійного поводження з ними.

У цій роботі розглядаються різні аспекти захоронення ВДІВ, переведених до категорії РАВ. Аналізуються підходи до захоронення ВДІВ, що рекомендуються Міжнародним агентством з атомної енергії (МАГАТЕ), переваги та недоліки різних варіантів захоронення ВДІВ. Аналізується поточний стан поводження з ВДІВ в Україні, наводяться рекомендації щодо наступних кроків для вирішення актуальних питань з безпечного захоронення ВДІВ в Україні.

Ключові слова: відпрацьовані джерела іонізуючого випромінювання, радіоактивні відходи, захоронення, безпека, сховище для захоронення, варіанти захоронення.

© Токаревський О. В., Фузік К. В., Кондратьєв С. М., Алексєєва З. М., 2020

Загальний опис та схема поводження з ВДІВ

ДІВ широко використовуються в усьому світі в медицині, промисловості, сільському господарстві та різних сферах досліджень. На сьогодні у світі накопичено мільйони ДІВ. Незважаючи на переважно невеликі розміри, ДІВ можуть мати дуже

високі активності (до 10^{17} Бк в джерелах промислового та медичного призначення).

ДІВ, строк експлуатації яких закінчився, та ДІВ, подальша експлуатація яких не передбачається, називаються ВДІВ. Після завершення строку експлуатації ДІВ є різні шляхи подальшого поводження з ними – повторне використання з продовженням строку експлуатації, переробка, повернення

постачальнику або переведення ВДІВ до категорії РАВ. Водночас активність ВДІВ може залишатися дуже високою, і вони становлять небезпеку для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Якщо подальша експлуатація ДІВ не передбачається та приймається рішення щодо переведення ВДІВ до категорії РАВ, то має бути забезпечена можливість довгострокового зберігання та захоронення ВДІВ як РАВ відповідно до застосованих нормативних вимог. Захоронення ВДІВ як РАВ є завершальною стадією безпечного та надійного поводження з ними [1], [2].

У цій статті розглядаються різні аспекти захоронення ВДІВ, які переведено до категорії РАВ.

Підходи до захоронення ВДІВ, рекомендовані МАГАТЕ

Вибір стратегії захоронення ВДІВ. Забезпечення безпеки використання ДІВ, прийняття відповідних законів та нормативно-правових актів, створення національної інфраструктури для поводження з ДІВ та здійснення регулюючого контролю мають першочергове значення для захисту людей та навколишнього середовища від будь-яких супутніх радіаційних ризиків. Також надзвичайно важливим є збереження регулюючого контролю та планування поводження з ДІВ після завершення строку їхньої експлуатації. Враховуючи, що поводження з ВДІВ пов'язане з ризиками потенційного опромінення, відсутність ефективного та постійного контролю ВДІВ може призвести до серйозних аварій, зловмисних актів або до появи покинутих джерел навіть за умови, що країни мають ефективне законодавство в сфері забезпечення радіаційної безпеки, належні системи радіаційного захисту та поводження з РАВ [3], [4].

З метою зменшення ризиків, пов'язаних з ВДІВ, кожна країна, в якій використовуються ДІВ, повинна розробити національну політику та стратегію, яка міститиме довгострокові зобов'язання щодо всіх аспектів безпечного поводження з ВДІВ у масштабах всієї країни.

Не існує універсальної стратегії поводження з ВДІВ, яку можна було б застосовувати для конкретної країни без урахування її національної специфіки. Під час визначення національної стратегії поводження з ВДІВ для конкретної країни потрібно враховувати:

- стан законодавства та нормативної бази;
- наявність ядерної енергетичної програми;
- кількість та характеристики ВДІВ у країні;
- наявні фінансові та людські ресурси;
- те, чи є країна постачальником ДІВ.

Зауважимо, що аналіз потреб захоронення ВДІВ може виконуватися коректно лише за наявності даних щодо кількості, радіонуклідного складу та характеристик усіх ВДІВ, які переведені та плану-

ються для переведення до категорії РАВ. Тому, ще одним важливим аспектом планування поводження з ВДІВ у країні є створення та функціонування національних реєстрів ДІВ та РАВ із забезпеченням відповідної кореляції даних між двома реєстрами.

Відповідно до [1], під час поводження з ВДІВ, кожній країні рекомендується використовувати диференційований підхід, розглядаючи можливі варіанти поводження з ВДІВ та обираючи найбільш оптимальний з них. Прийняті в країні політика та стратегія поводження з ВДІВ мають своєчасно забезпечити наявність необхідних фінансових та організаційних ресурсів та інфраструктури (зокрема, за необхідності, варіанти довгострокового зберігання ВДІВ), а також своєчасну розробку та впровадження національної програми захоронення ВДІВ.

ВДІВ, переведені до категорії РАВ, можуть бути захоронені або разом з іншими РАВ в існуючих чи запланованих сховищах для захоронення РАВ (після проведення, за необхідності, адаптації проєкту сховища для прийняття ВДІВ на захоронення), або в сховищах, спеціально спроектованих і побудованих для захоронення саме ВДІВ. За певних умов, сховище для захоронення ВДІВ може розміщуватися на одному майданчику з існуючим сховищем для захоронення РАВ.

Найбільш прийнятне рішення для конкретної країни буде залежати від низки факторів, зокрема, кількості, складу та характеристик ВДІВ і відповідних потреб у захороненні, а також кількості, складу та характеристик РАВ, що утворюються від інших видів діяльності, і для яких сховища для захоронення вже існують або їх заплановано створити. Також необхідно враховувати аспекти поточної та планованої діяльності в конкретній країні щодо використання ядерних технологій, дослідницьких робіт та/або виробництва ядерної енергії.

Підходи до класифікації ВДІВ як РАВ для цілей захоронення. Потреби захоронення ВДІВ мають аналізуватися з урахуванням вимог безпеки захоронення РАВ. На першій стадії аналізу, ВДІВ необхідно віднести до певного класу РАВ, щоб зрозуміти відповідні потреби в захороненні. Складність полягає в тому, що підходи до класифікації ДІВ та РАВ суттєво різняться.

ДІВ класифікуються за категоріями з урахуванням ризику, який становить джерело, що вийшло з-під контролю (джерела, які віднесені до категорії 1 становлять найвищий ризик для здоров'я людини, до категорії 5 – найнижчий ризик) [5]. Це відрізняється від підходу до класифікації РАВ за класами, яка використовується з метою прийняття стратегічних рішень щодо вибору прийнятних варіантів їхнього захоронення [6]:

- 1) звільнені відходи – відповідають критеріям звільнення від регулюючого контролю;

2) дуже короткоіснуючі РАВ – можуть знаходитися на зберіганні до кількох років з метою подальшого звільнення від регулюючого контролю після зменшення активності внаслідок природного радіоактивного розпаду радіонуклідів;

3) дуже низькоактивні РАВ (ДНАВ) – можуть бути захороненні в сховищах траншейного типу з обмеженим регулюючим контролем;

4) низькоактивні РАВ (НАВ) – можуть бути захороненні в приповерхневих сховищах з інженерними бар'єрами;

5) середньоактивні РАВ (САВ) – можуть бути захороненні в сховищах на середніх глибинах від десятків до декількох сотень метрів;

6) високоактивні РАВ (ВАВ) – можуть бути захороненні в сховищах в глибоких геологічних формаціях на глибинах від декількох сотень метрів.

Для визначення прийнятного варіанту захоронення конкретних ВДІВ, необхідно розглянути класи РАВ, до яких потрібно відносити ВДІВ, переведені до категорії РАВ. Коли ВДІВ стають РАВ, до них мають застосовуватися всі принципи безпеки поводження з РАВ.

ВДІВ дуже різняться між собою за фізичними та радіологічними характеристиками, такими як радіонуклідний склад, період напіврозпаду, загальні та питомі активності. Ці характеристики визначають клас РАВ, до якого мають належати ВДІВ, та, відповідно, тривалість і надійність утримання та ізоляції, для конкретного типу сховища для захоронення. Очевидно, що ВДІВ з більш високою активністю та ті, що містять радіонукліди з більшим періодом напіврозпаду, потребують більшого ступеня утримання та ізоляції.

З міркувань безпеки може виявитися доцільним віднести всі ВДІВ до більш «високого» класу (якому відповідають ВДІВ з найвищими активностями) та захоронити їх у відповідному сховищі. Водночас, врахування фінансових аспектів, загальної кількості ВДІВ у країні, а також можливість використання існуючих сховищ для захоронення

РАВ «нижчого» класу може стати причиною розміщення ВДІВ у декількох придатних для цього сховищах для захоронення РАВ.

Як зазначено в [2], однозначної відповідності між категоріями ВДІВ та класами РАВ, до яких ці ВДІВ мають належати, встановити неможливо. Для прийняття зважених рішень, варто добре розуміти запропоновану МАГАТЕ систему класифікації РАВ [6], оцінити радіологічні характеристики ВДІВ, прив'язати їх до цієї системи, та обрати варіант, який забезпечить безпечно та ефективно захоронення цих ВДІВ.

Фактори, що впливають на вибір варіанту захоронення ВДІВ

Врахування природного розпаду радіонуклідів. Оскільки потреби захоронення ВДІВ повинні оцінюватися на основі вимог безпеки, встановлених для захоронення РАВ [7], необхідно виконувати оцінку ВДІВ, що підлягають захороненню, враховуючи характеристики відповідних радіонуклідів.

У [8] продемонстровано порівняння типових активностей ВДІВ з рівнями звільнення, встановленими в документі МАГАТЕ [9] через різні проміжки часу (на момент виробництва, через 300 та 1000 років) (Рисунки 1 – 3).

Порівняння (Рисунки 1 – 3) носить ілюстративний характер, проте можна зробити певні висновки щодо деяких «ключових» радіонуклідів. Активність ВДІВ з Co-60 через 300 років впаде значно нижче рівнів звільнення, тому такі ВДІВ можна безпечно захоронювати в приповерхневих сховищах (за умов дотримання вимог експлуатаційної безпеки). Водночас активність ВДІВ з Cs-137 та Sr-90 через 300 років все ще буде перевищувати рівні звільнення (а для деяких ВДІВ – і через 1000 років), тому захоронення таких ВДІВ у приповерхневих сховищах є проблематичним з погляду забезпечення довгострокової безпеки людини та навколишнього середовища.

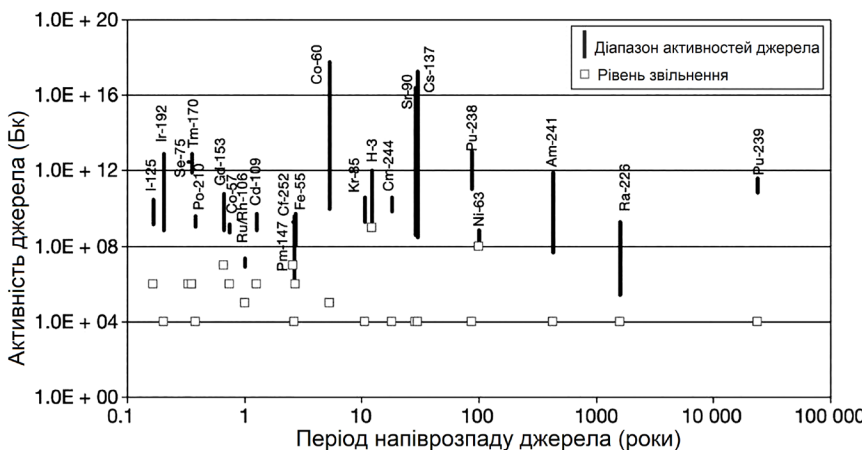


Рисунок 1 – Діапазони активностей ДІВ для радіонуклідів з різними періодами напіврозпаду на момент виробництва цих ВДІВ

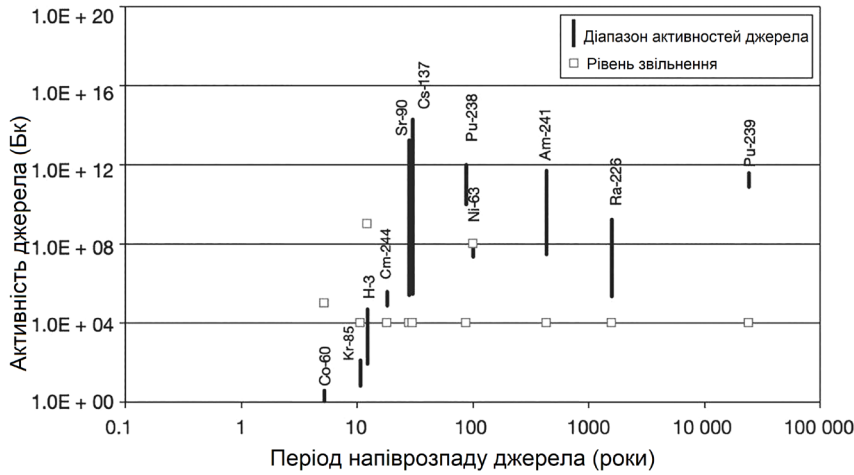


Рисунок 2 – Зміна діапазонів активностей ДІВ для радіонуклідів з різними періодами напіврозпаду через 300 років з моменту виробництва цих ВДІВ

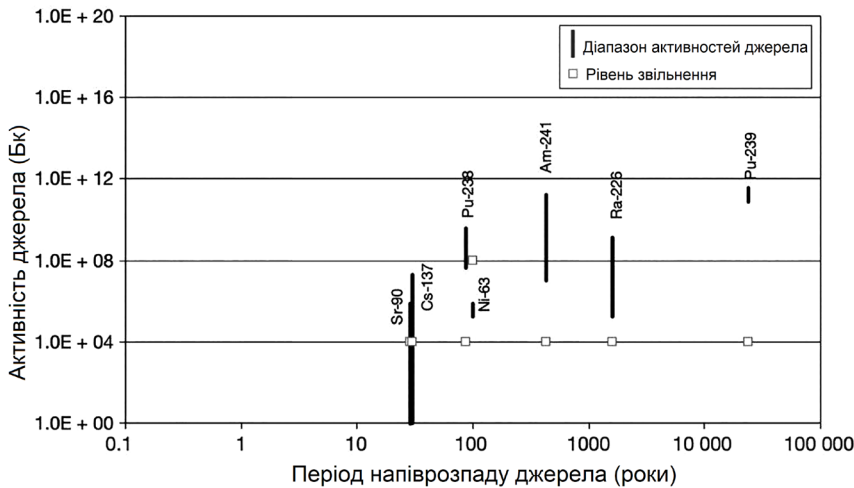


Рисунок 3 – Зміна діапазонів активностей ДІВ для радіонуклідів з різними періодами напіврозпаду через 1000 років з моменту виробництва цих ВДІВ

Водночас під час виконання аналізу ВДІВ, що підлягають захороненню, потрібно звертати особливу увагу не тільки на загальну активність та період напіврозпаду, але й на питому активність, яка в деяких випадках може бути дуже високою, що важливо враховувати в процесі оцінки довгострокової безпеки приповерхневих сховищ для захоронення РАВ. Іншим важливим фактором є тривалість адміністративного контролю, яка відіграє значну роль у визначенні допустимих вмісту та активності довгоіснуючих радіонуклідів у складі РАВ, що надходять на захоронення до приповерхневого сховища.

ВДІВ, які не є прийнятними для захоронення в приповерхневих сховищах через те, що їхня питома активність перевищує критерії приймання або їхня активність не зменшиться до прийнятних значень унаслідок радіоактивного розпаду протягом періоду адміністративного контролю, можуть бути прийнятними для захоронення на більших глибинах у сховищах, розміщених та спроектованих належним чином.

Критерії приймання РАВ на захоронення. ВДІВ, що класифікуються як РАВ, потрібно кондиціонувати; при тому, властивості та характеристики сформованих упаковок мають бути такими, щоб забезпечити прийнятність для захоронення в конкретному сховищі. Загальні критерії прийнятності РАВ для захоронення в конкретних типах сховищ можна визначати ще до того, як буде обрано майданчик для конкретного сховища для захоронення, та використовувати як проєктні вимоги для розробки конкретних критеріїв приймання РАВ до цього сховища.

На практиці, критерії приймання для ВДІВ, як і для інших типів РАВ, повинні визначатися так, щоб результати оцінки безпеки сховища для захоронення РАВ під час експлуатації та після його закриття відповідали застосовним вимогам безпеки (наприклад, обмеження доз опромінення / ризиків для населення та персоналу). Водночас, конкретні критерії приймання РАВ, з кількісними значеннями допустимих активностей щодо конкретних радіонуклідів, можуть бути встановлені лише на основі

комплексної оцінки безпеки конкретного сховища для захоронення РАВ та мають бути затверджені державним регулюючим органом у сфері ядерної та радіаційної безпеки. Під час експлуатації сховищ для захоронення РАВ, рішення щодо приймання на захоронення конкретних кондиціонованих ВДІВ приймається шляхом порівняння характеристик сформованих упаковок з критеріями приймання до цих сховищ.

Варіантами для захоронення ВДІВ можуть бути або існуючі сховища для захоронення РАВ, або такі, що лише плануються до створення. Так чи інакше, питання адаптації захоронення ВДІВ до більш широкої інфраструктури поводження з РАВ має бути розглянуто. У першому випадку з використанням критеріїв приймання до існуючого сховища для захоронення, затверджених державним регулюючим органом у сфері ядерної та радіаційної безпеки, визначаються конкретні ВДІВ, які можуть бути прийняті на захоронення. Якщо РАВ у формі ВДІВ спочатку не планувалося приймати на захоронення до конкретного сховища, прийнятність таких ВДІВ для захоронення може бути обґрунтована шляхом проведення додаткової цільової оцінки безпеки та підтверджена державним регулюючим органом у сфері ядерної та радіаційної безпеки. У другому випадку, під час розробки проєктних вимог для створення нового сховища для захоронення рекомендується з самого початку розглянути можливість захоронення в сховищі ВДІВ, переведених до категорії РАВ.

Отже, критерії приймання РАВ є ще одним інструментом визначення того, чи можуть бути конкретні ВДІВ прийняті для захоронення в конкрет-

ному сховищі, чи потрібно для цього виконувати додаткову оцінку безпеки, сфокусовану саме на ВДІВ, або ж необхідно розробити альтернативні варіанти захоронення таких ВДІВ.

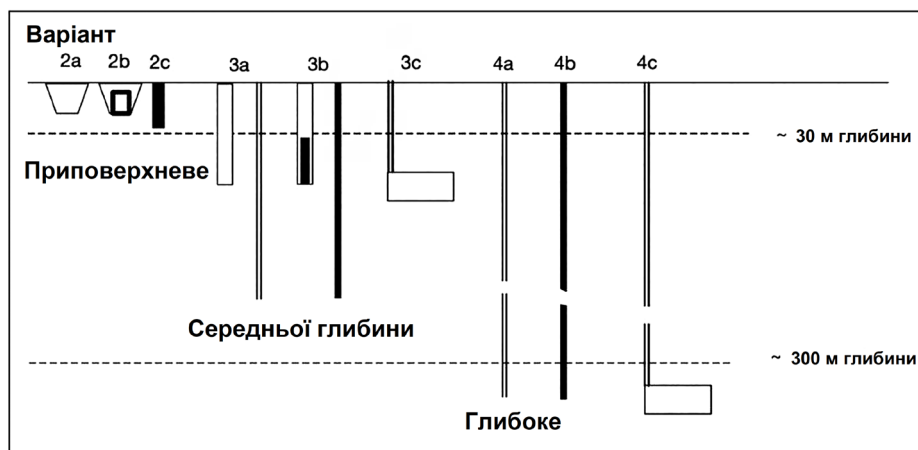
Варіанти захоронення ВДІВ, їхні переваги та недоліки

За винятком ВДІВ, класифікованих як звільнені від регулюючого контролю відходи або дуже короткоіснуючі РАВ, РАВ у формі ВДІВ мають бути захоронені у відповідних сховищах для захоронення. Можливі варіанти захоронення ВДІВ наведено на Рисунку 4.

На сьогодні в світі досягнуто значного прогресу в захороненні НАВ, і сховища для таких типів РАВ в окремих країнах існують вже кілька десятиріч. Крім того, в деяких країнах вже подані або найближчим часом будуть подані документи на отримання ліцензій на будівництво сховищ для захоронення в глибоких геологічних формаціях, призначених для САВ, ВАВ, а також відпрацьованого ядерного палива, класифікованого як РАВ. Також, проаналізовано належним чином концепцію захоронення у свердловинах, і сховища такого типу запропоновані як варіант для захоронення ВДІВ, класифікованих як РАВ.

Наприклад, для конкретних ВДІВ можна запропонувати такі варіанти захоронення [2]:

1) ВДІВ, активність яких є нижчою за рівні звільнення, наприклад, детектори диму можуть бути захоронені на звичайних звалищах з землею за сипкою, відповідно до схеми поводження зі звільненими відходами, якщо такий клас відходів передбачений національним законодавством;



- 2a – Приповерхневе сховище без інженерних бар'єрів; 2b – Приповерхневе сховище з інженерними бар'єрами;
 2c – Свердловина або шахта невеликої глибини; 3a – Свердловина або шахта середньої глибини без інженерних бар'єрів;
 3b – Свердловина або шахта середньої глибини з інженерними бар'єрами; 3c – Сховище для захоронення РАВ на середніх глибинах; 4a – Глибока свердловина або шахта без інженерних бар'єрів; 4b – Глибока свердловина або шахта з інженерними бар'єрами; 4c – Сховище для захоронення РАВ у глибоких геологічних формаціях.

Рисунок 4 – Концептуальні варіанти захоронення ВДІВ [8]

2) низько- та середньоактивні ВДІВ з дуже короткими періодами напіврозпаду (зазвичай не більше 100 днів) зазнають радіоактивного розпаду до рівнів звільнення протягом кількох років. Оптимальним варіантом є зберігання таких ВДІВ у спеціальних сховищах, призначених для зберігання дуже короткоіснуючих відходів;

3) ВДІВ з дуже низьким рівнем активності, навіть якщо вони можуть містити дуже довгоіснуючі радіонукліди, такі як C-14 (період напіврозпаду 5700 років), Cl-36 (період напіврозпаду 300 тисяч років) та I-129 (період напіврозпаду 17 мільйонів років), що використовуються, наприклад, для калібрування, можуть бути прийнятними для захоронення в сховищах траншейного типу, які використовуються для поводження з ДНАВ;

4) ВДІВ з коротким періодом напіврозпаду (до 30 років, такі як Co-60, Sr-90 та Cs-137) можуть бути захоронені в приповерхневих сховищах за умови, що активність цих ВДІВ зменшиться до граничних значень, визначених в звіті з аналізу безпеки сховища, протягом періоду запланованого адміністративного контролю, та за умови, що виконуються всі критерії щодо питомої активності, які застосовуються для НАВ. За грубою оцінкою, це є справедливим для ВДІВ, активність яких зменшується до значень рівнів звільнення протягом 300 років, а питомі активності не перевищують значень, визначених в звіті з аналізу безпеки сховища;

для високоактивних ВДІВ з короткоіснуючими радіонуклідами, а також ВДІВ, що містять довгоіснуючі радіонукліди, такі як Pu-238 та Ra-226, може знадобитися захоронення в глибоких геологічних формаціях, яке гарантує довгострокову безпеку. Такому варіанту захоронення відповідають сховища для САВ.

Всі наведені вище приклади належать до сховищ для захоронення, призначених для РАВ узагалі. Якщо передбачається створити сховище, призначене для захоронення саме ВДІВ, то сховище свердловинного типу може виявитися найбільш ефективним варіантом, що забезпечує прийнятний рівень захисту [10]. Залежно від характеристик майданчика та глибини, воно може забезпечити рівень ізоляції та утримання, що відповідає вимогам для НАВ або САВ. Таке сховище свердловинного типу може розташовуватися як окремо, так і на одному майданчику з іншим сховищем для захоронення РАВ.

Концепції свердловинного захоронення ВДІВ передбачають розміщення РАВ в інженерній споруді, яка являє собою свердловину відносно малого діаметру, пробурену безпосередньо з поверхні. Сховища для захоронення в свердловинах можуть мати різну конструкцію, а їхня глибина може бути від кількох десятків до сотень метрів. Діаметр свердловин може складати від десятків сантиметрів до більш ніж одного метра, водночас

свердловина може мати обсадні труби. ВДІВ в упаковці, яка є інженерним бар'єром, розміщуються в нижній частині сховища, після чого здійснюється зворотна засипка сховища.

Сховище може складатися з однієї свердловини або групи свердловин, які можуть бути розташовані на одному майданчику разом з іншими об'єктами для поводження з РАВ.

Концепція сховища свердловинного типу має низку сприятливих характеристик з погляду безпеки захоронення саме ВДІВ, а також щодо економічних аспектів [2], зокрема:

забезпечує довгострокову ізоляцію невеликих обсягів РАВ у формі ВДІВ з високою питомою активністю від людини та навколишнього середовища у високонадійних контейнерах;

забезпечує прямий та більш фінансово вигідний доступ до прийнятного геологічного горизонту на необхідній глибині за допомогою наявної та апробованої технології;

потребує невеликої земельної ділянки та обмеженої інфраструктури;

спорудження, експлуатація та закриття сховища можуть бути виконані за короткий проміжок часу;

імовірність ненавмисного вторгнення не велика через малу площу поперечного перерізу свердловини та можливість обрати належну глибину.

Як було показано вище, ВДІВ можуть бути захоронені як разом з іншими РАВ, так і окремо. Якщо ВДІВ у конкретній країні належать до різних класів РАВ, то для їхнього захоронення варто розглядати всі зазначені вище типи сховищ. Загалом, прийнятні рішення щодо захоронення можуть бути знайдені для всіх ВДІВ, що класифіковані як РАВ.

Більш детальну інформацію щодо варіантів захоронення ВДІВ та факторів, які впливають на варіант захоронення, наведено в [8].

Аспекти захоронення РАВ в Україні

Поточна схема поводження з ВДІВ в Україні.

Після завершення строку експлуатації ДІВ в Україні [11], [12] передбачені такі варіанти поводження з ними:

повторне використання (після продовження строку експлуатації ДІВ у встановленому порядку);

повернення ВДІВ відповідно до домовленості постачальнику (у випадку імпортованих ВДІВ – повернення виробнику до країни походження);

переведення до категорії РАВ та передача ВДІВ на спеціалізоване підприємство з поводження з РАВ для зберігання та/або захоронення.

Згідно з даними Головного інформаційно-аналітичного центру обліку РАВ Державного спеціалізованого підприємства «Об'єднання «Радон» (ДСП «Об'єднання «Радон») [13], в Україні вже ста-

ном на 2018 рік було накопичено більше 660000 ВДІВ, переведених до категорії РАВ, з сумарною активністю $2,23 \cdot 10^{16}$ Бк.

Основну кількість ВДІВ, переведених до категорії РАВ, передано до ДСП «Об'єднання «Радон» та розміщено в сховищах на майданчиках цього підприємства. Ці ВДІВ можна розділити на такі основні типи:

ВДІВ, характеристики яких добре відомі та які зберігаються окремо від інших РАВ;

«історичні» ВДІВ, характеристики яких невідомі та які зберігаються окремо від інших РАВ;

«історичні» ВДІВ, які зберігаються у суміші з іншими РАВ (деякі сховища зацементовані);

«історичні» ВДІВ, які розміщені в сховищах колодязного типу (деякі сховища зацементовані).

Водночас, стратегія поводження з останніми двома типами ВДІВ наразі не визначена. Зберігання ВДІВ у зацементованому вигляді у суміші з іншими РАВ та в сховищах колодязного типу призводить до реальних проблем поводження з такими ВДІВ у подальшому – від процесу вилучення ВДІВ із зацементованих сховищ до їхнього захоронення.

Зауважимо, що сховища ДСП «Об'єднання «Радон» не можуть забезпечити безпечне довгострокове зберігання ВДІВ, оскільки ні самі сховища, ні упаковки, в яких зберігаються ВДІВ, не призначені для довгострокового зберігання ВДІВ.

З огляду на це, в Стратегії поводження з РАВ в Україні [14] передбачено проектування, будівництво та введення в експлуатацію сховища для зберігання ВДІВ, розроблення та запровадження технології їхнього упакування для довгострокового зберігання з урахуванням подальшого захоронення.

З метою виконання зазначених вище завдань в Україні створено Централізоване сховище для довгострокового зберігання ВДІВ (ЦСВДІВ).

ЦСВДІВ як об'єкт для безпечного довгострокового зберігання ВДІВ. ЦСВДІВ розташоване на майданчику Комплексу виробництв «Вектор» (КВ «Вектор») в Чорнобильській зоні відчуження. Будівництво ЦСВДІВ завершено в 2015 році за підтримки Департаменту енергетики та кліматичних змін Великобританії.

ЦСВДІВ – об'єкт, який на цей час не має аналогів у світі та є основним елементом щодо вдосконалення усієї системи поводження з ВДІВ в Україні. ЦСВДІВ має забезпечити централізоване розміщення основного обсягу РАВ у формі ВДІВ різних типів та конструкцій, які зараз накопичені на майданчиках ДСП «Об'єднання «Радон», а також ДІВ, які знаходяться у використанні в медицині та промисловості, після переведення їх у категорію РАВ [15].

Технологічний процес поводження з ВДІВ передбачає їх приймання, ідентифікацію, характеристизацію, сортування, кондиціонування та довгострокове зберігання.

Державне спеціалізоване підприємство «Центральне підприємство з поводження з ра-

діоактивними відходами» (ДСП «ЦППРВ») наразі здійснює проведення комплексних «гарячих» випробувань ЦСВДІВ відповідно до ліцензії Державної інспекції ядерного регулювання України (Держатомрегулювання) на право провадження діяльності з переробки та зберігання РАВ.

Технологічний процес на ЦСВДІВ розділено на 5 технологічних потоків, залежно від типу ВДІВ, типу іонізуючого випромінювання та активності ВДІВ. До цих технологічних потоків належать:

ВДІВ типу РІТЕГ (потік 1, для якого передбачено тільки зберігання на ЦСВДІВ);

ВДІВ у біологічному захисті типу БГ та Е (потік 2);
нейтронні ВДІВ (потік 3);

інші ВДІВ з більшою активністю, поводження з якими повинно здійснюватися в гарячій камері (потік 4);

інші ВДІВ з меншою активністю, поводження з якими може здійснюватися в рукавичному боксі (потік 5).

Під час «гарячих» випробувань на ЦСВДІВ дозволяється поводження з ВДІВ потоків 2 – 5, максимальна активність яких в 10 разів менша від проектної. Те саме стосується й максимальної активності сформованих упаковок для довгострокового зберігання. ВДІВ типу РІТЕГ (потік 1) не приймаються на ЦСВДІВ на етапі «гарячих» випробувань через високі значення активностей.

Проектний строк зберігання ВДІВ на ЦСВДІВ складає 50 років. Після завершення цього періоду проектом передбачається передача ВДІВ на захоронення до відповідного типу сховищ для захоронення РАВ (короткоіснуючі РАВ – до приповерхневих, довгоіснуючі РАВ – до сховища в глибоких геологічних формаціях).

Критерії сортування ВДІВ на ЦСВДІВ з урахуванням майбутніх варіантів захоронення. На етапі «гарячих» випробувань критерії сортування ВДІВ для кондиціонування на ЦСВДІВ передбачають розділення ВДІВ на три види:

вид А – ВДІВ в упаковці, які задовольняють критеріям приймання до приповерхневого сховища на момент формування упаковки;

вид Б – ВДІВ в упаковці, які будуть задовольняти критеріям приймання до приповерхневого сховища через 50 років (на момент закриття ЦСВДІВ);

вид В – ВДІВ в упаковці, які не будуть задовольняти критеріям приймання до приповерхневого сховища на момент закриття ЦСВДІВ.

На етапі «гарячих» випробувань, питомі активності ВДІВ в упаковці порівнюються з критеріями приймання РАВ на захоронення до Спеціально обладнаного приповерхневого сховища для захоронення твердих РАВ (СОПСТРВ), яке наразі експлуатується (2 відсіки з 22) ДСП «ЦППРВ» на майданчику КВ «Вектор» в Чорнобильській зоні відчуження.

На сьогодні в процесі «гарячих» випробувань сформовано й розміщено на зберігання на ЦСВДІВ

декілька упаковок для довгострокового зберігання ВДІВ. Ці упаковки містять, в основному, ізотопи Cs-137 та Co-60. Поточний досвід роботи ЦСВДІВ в процесі «гарячих» випробувань свідчить про те, що сформовані упаковки ВДІВ належать до виду В, навіть з урахуванням того, що активність ВДІВ в упаковці є суттєво меншою від проєктної (за умовами проведення «гарячих» випробувань).

Тому можна передбачити, що, в разі подальшого застосування існуючих критеріїв сортування ВДІВ, переважна більшість упаковок ВДІВ з ЦСВДІВ потребуватиме захоронення в глибоких геологічних формаціях. Така перспектива є небажаною, оскільки вартість захоронення в глибоких геологічних формаціях є дуже високою і прямо залежить від об'єму сховища та глибини захоронення. Тому важливо виконати максимально реалістичну оцінку можливості захоронення ВДІВ у приповерхневих сховищах. Одним з ключових питань під час проведення такої оцінки є коректне визначення питомої активності ВДІВ на довгостроковий період. Це питання вже було порушено, зокрема, під час виконання державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки документації з аналізу безпеки ЦСВДІВ.

Підходи до визначення питомої активності ВДІВ. Упродовж строку експлуатації ДІВ їхня питома активність визначається відношенням активності ДІВ до маси їх активної частини.

Зауважимо, що, залежно від типу ДІВ, конфігурація активної частини відносно до всього корпусу ДІВ, може суттєво відрізнятись. У деяких типах ВДІВ (наприклад, типів ИГИ-Ц, ГИД-Ц, ИБН), активна частина захищена надійною міцною оболонкою, тому вихід радіонуклідів за межі цієї оболонки малоімовірний. Тому в оцінках довгострокової безпеки захоронення таких ВДІВ саме маса активної частини ВДІВ повинна використовуватися для визначення їхньої питомої активності.

Водночас для інших типів ВДІВ (наприклад, типів АИП-РИГ, ОСАИ), активна частина знаходиться ближче до поверхні або на поверхні. Тому, для таких ВДІВ вихід радіонуклідів є цілком можливим. Як зазначено у [16], для «поверхневих» ВДІВ, активність матеріалу яких не знаходиться в надійній міцній оболонці і для яких під час довготривалого зберігання досить імовірний вихід активного матеріалу за межі оболонки (гамма- та бета-джерела), для визначення питомої активності можливо використовувати повну масу ВДІВ (суму мас активної частини та оболонки). На основі інформації щодо відношення об'єму активної частини до всього об'єму ВДІВ можна зробити висновок, що такий підхід дозволить обґрунтовано зменшити питому активність деяких ВДІВ на 1 – 2 порядки. Це, зі свого боку, збільшить кількість ВДІВ, які задовольняють критеріям приймання для захоронення в приповерхневих сховищах (а в перспективі – і в сховищі для захоронення ДНАВ).

Перспективною задачею на майбутнє є визначення та обґрунтування конкретних типів та кількості ВДІВ, для яких є застосовним такий підхід.

Можливі варіанти захоронення ВДІВ в Україні.

В Україні впроваджується нова класифікація РАВ, яка поділяє РАВ на чотири класи, залежно від варіанту їхнього захоронення [17], [18]:

ДНАВ – захоронення у поверхневих сховищах без спеціальних інженерних бар'єрів;

НАВ – захоронення у приповерхневих сховищах;

САВ – захоронення в сховищі на середніх глибинах;

ВАВ – захоронення в глибоких геологічних формаціях.

Конкретні підходи до віднесення РАВ до певного класу на цей час не визначені. Відповідно, для зазначених вище чотирьох типів сховищ відсутні критерії прийнятності РАВ на захоронення за питомою активністю.

Наразі в чинному нормативному документі [19] встановлені лише загальні рекомендації щодо визначення допустимої активності РАВ в упаковці. Вказано, зокрема, що для кожного радіонукліда, що входить до складу РАВ, необхідно встановити середні та максимально допустимі значення питомої активності, а також сумарну активність РАВ в окремій упаковці. Допустимі значення активності встановлюються за результатами оцінки безпеки сховища для захоронення на період експлуатації сховища та на довготривалій післяексплуатаційний період.

Отже, на цьому етапі одним з першочергових питань є розробка підходів (методології) для визначення критеріїв прийнятності для захоронення РАВ в різних типах сховищ з урахуванням можливості захоронення ВДІВ у цих сховищах.

Існуючі сховища для захоронення РАВ.

Зараз в Україні в експлуатації знаходяться лише два сховища для захоронення РАВ – СОПСТРВ та Пункт захоронення РАВ «Буряківка» (ПЗРВ «Буряківка»).

Існуючі критерії приймання РАВ на ці сховища не передбачають приймання ВДІВ. ПЗРВ «Буряківка» призначений для захоронення аварійних РАВ Чорнобильського походження і є сховищем без спеціальних інженерних бар'єрів. СОПСТРВ призначено для захоронення РАВ в контейнерах КТЗ-3,0 та 200-літрових бочках. Зі свого боку, проєкт ЦСВДІВ не передбачає кондиціонування ВДІВ у такі упаковки.

У разі розгляду можливості захоронення ВДІВ в цих сховищах, потрібно буде проводити додатковий аналіз безпеки; також може знадобитися внесення відповідних змін до проєктів цих сховищ. Оновлений аналіз безпеки та зміни до проєкту повинні погоджуватися регулюючим органом у сфері ядерної та радіаційної безпеки [18]. Крім того, очевидно, що не всі ВДІВ, накопичені в Україні, зможуть бути захоронені в наявних сховищах (через високу питому активність та/або вміст довгоіснуючих радіонуклідів).

Заплановані сховища для захоронення РАВ. На сьогодні завершується будівництво двох приповерхневих сховищ ТРВ-1 та ТРВ-2 для захоронення РАВ на КВ «Вектор» в Чорнобильській зоні відчуження. Сховище ТРВ-1 призначено для захоронення РАВ у залізобетонному контейнері КТЗ-3,0, тобто в ньому неможливо захоронювати ВДІВ у тих упаковках, в яких вони будуть кондиціоновані та розміщені надовгострокове зберігання на ЦСВДІВ. Модульне сховище ТРВ-2 передбачене для захоронення РАВ навалом, тобто теоретично упаковки ВДІВ можуть розміщуватися в цьому сховищі за умови їхньої відповідності критеріям приймання.

У процесі реалізації індустріального проєкту INSC U4.01/11В «Підтримка при поводженні з радіоактивними відходами на комплексі виробництв «Вектор» в Україні», розроблено та надано на розгляд Держатомрегулюванню оновлені критерії приймання для СОПСТРВ, а також критерії приймання РАВ на захоронення для сховищ для захоронення твердих РАВ ТРВ-1 та ТРВ-2, будівництво яких наразі завершується. Ці критерії приймання також не враховують можливість надходження ВДІВ на зазначені сховища.

Стратегія поводження з РАВ в Україні [14] передбачає також створення нових приповерхневих сховищ для захоронення на КВ «Вектор», сховища для захоронення РАВ у глибоких геологічних формаціях, а також централізованих поверхневих сховищ для ДНАВ з метою економічно виправданого поводження з ними. Всі ці сховища можуть бути придатними для захоронення певних ВДІВ за умови, що ці ВДІВ будуть відповідати критеріям приймання на конкретні сховища.

Утім, ситуація на цей час є такою. Для поверхневого сховища ДНАВ відсутні конкретні проєктні рішення та критерії прийнятності РАВ на захоронення.

Що стосується сховища для захоронення САВ на середніх глибинах, перспективи створення такого сховища в Україні чітко не визначені [18], [17].

Тому можна припустити, що всі упаковки РАВ у формі ВДІВ, активність яких буде перевищувати граничні значення, встановлені в критеріях приймання РАВ на захоронення в приповерхневій сховища, будуть спрямовуватися на захоронення до сховища в глибоких геологічних формаціях.

Створення сховища для захоронення РАВ у глибоких геологічних формаціях в Україні знаходиться на початковому етапі. В межах індустріальних проєктів INSC U4.01/09В «Концепції захоронення радіоактивних відходів в Україні» та U4.01/14В «Розробка національного плану геологічного захоронення радіоактивних відходів в Україні та графік його реалізації» було зроблено лише перші кроки щодо розробки концептуальних варіантів захоронення, критеріїв прийнятності РАВ для запропонованих концепцій

захоронення, дорожньої карти зі створення геологічного захоронення РАВ.

Нині в Україні також не розглядається можливість створення сховища свердловинного типу, призначеного спеціально для захоронення ВДІВ. У разі розгляду можливості створення такого сховища, на нашу думку, доцільно оцінити кількість та об'єм ВДІВ, які не задовольняють критеріям приймання на захоронення в приповерхневому сховищі, а також виконати порівняльну оцінку варіантів захоронення таких ВДІВ у геологічному сховищі та в окремому сховищі, спеціально призначеному для ВДІВ.

Крім того, було б корисним виконати порівняння варіанту захоронення ВДІВ в Україні в окремому сховищі свердловинного типу, спеціально призначеному для ВДІВ, з варіантом захоронення цих ВДІВ у декількох сховищах для захоронення РАВ різних типів.

Висновки та рекомендації

Якщо після завершення строку експлуатації ДІВ, для них не розглядається можливість повторного використання або повернення постачальнику, такі ВДІВ переводяться до категорії РАВ, і поводження з ними повинно здійснюватися відповідно до законодавчих та нормативних вимог щодо поводження з РАВ. Оскільки ВДІВ мають свої відмінності від інших типів РАВ, зокрема, високу питому активність, вкрай важливо забезпечити безпечне поводження з ВДІВ, переведених до категорії РАВ, на всіх етапах, зокрема на етапі захоронення.

В Україні стратегія поводження з ВДІВ передбачає їхнє довгострокове зберігання в централізованому сховищі протягом 50 років з подальшою передачею цих ВДІВ на захоронення. Водночас, на сьогодні чітко не визначені конкретні сховища, в яких будуть захоронюватися ВДІВ, а також не визначені критерії прийнятності для приймання ВДІВ на захоронення.

Вирішення низки актуальних питань поводження з ВДІВ, висвітлених в статті, сприятиме впровадженню комплексного підходу до забезпечення безпечного захоронення ВДІВ в Україні. Водночас певні питання потребують першочергового вирішення з метою удосконалення сортування ВДІВ на ЦСВДІВ з урахуванням їхнього майбутнього захоронення.

Список використаної літератури

1. Guidance on the Management of Disused Radioactive Sources, IAEA, Vienna (2018).

2. Management of Disused Sealed Radioactive Sources, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.3, IAEA, Vienna (2014).
3. Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, IAEA, Vienna (2004).
4. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Loss of an Iridium-192 Source and Therapy Misadministration at Indiana Regional Cancer Center, Indiana, Pennsylvania, on November 16, 1992, NUREG-1480, NRC, Washington, DC (1993).
5. Categorization of Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1344, IAEA, Vienna (2003).
6. Classification of Radioactive Waste, IAEA General Safety Guide No. GSG-1, IAEA, Vienna (2009).
7. Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, IAEA, Vienna (2011).
8. Disposal Options for Disused Radioactive Sources, IAEA Technical Reports Series No. 436, IAEA, Vienna (2005).
9. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
10. BOSS: Borehole Disposal of Disused Sealed Sources. A Technical Manual, IAEA-TECDOC-1644, IAEA, Vienna (2011).
11. НП 306.5.05/2.065-02. Вимоги та умови безпеки (ліцензійні умови) провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання. Затвердж. наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 02.12.2002 р. № 125, зареєстр. в М-ві юстиції України 17.12.2002 за № 978/7266.
12. Положення про Державний реєстр джерел іонізуючого випромінювання і порядок оплати послуг з їх реєстрації. Затвердж. постановою Кабінету Міністрів України від 4.08.1997 р. № 847.
13. Державний реєстр радіоактивних відходів. Державний кадастр сховищ та місць тимчасового зберігання радіоактивних відходів. Звіт за 2018 р. Головний інформаційно-аналітичний центр обліку РАВ Державного спеціалізованого підприємства «Об'єднання «Радон», 2019.
14. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19.08.2009 р. № 990-р.
15. 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. Київ, 2017.
16. Review report on the Centralized Facility for Long-Term Storage of Spent Radioactive Sources, INSC Project U3.01/10 (Component A), UK/TS/46 Task 5 Review Report No. 1970, RISKAUDIT (2015).
17. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами».
18. НП 306.4.219-2018. Загальні положення безпеки при захороненні радіоактивних відходів. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 13.08.2018 р. № 331, зареєстр. в М-ві юстиції України 05.09.2018 р. за № 1008/32460.
19. РД 306.4.098-2004. Рекомендації щодо встановлення критеріїв приймання кондиційованих радіоактивних відходів на захоронення у приповерхневих сховищах. Затвердж. наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 25.10.2004 р. № 160.

References

1. Guidance on the management of disused radioactive sources, IAEA, Vienna, 2018.
2. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.3. Management of disused sealed radioactive sources, IAEA, Vienna, 2014.
3. Code of conduct on the safety and security of radioactive sources, IAEA, Vienna, 2004.
4. NUREG-1480. Nuclear Regulatory Commission, Loss of an Iridium-192 source and therapy misadministration at Indiana Regional Cancer Center, Indiana, Pennsylvania, NRC, Washington, DC, 1993.
5. IAEA-TECDOC-1344. Categorization of radioactive sources, IAEA, Vienna, 2003.
6. IAEA General Safety Guide No. GSG-1. Classification of radioactive waste, IAEA, Vienna, 2009.
7. IAEA Safety Standards Series No. SSR-5. Disposal of radioactive waste, IAEA, Vienna, 2011.
8. IAEA Technical Reports Series No. 436. Disposal options for disused radioactive sources, IAEA, Vienna, 2005.
9. IAEA Safety Series No. 115. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, IAEA, Vienna, 1996.
10. IAEA-TECDOC-1644. BOSS: Borehole disposal of disused sealed sources. Technical Manual, IAEA, Vienna, 2011.
11. NP 306.5.05/2.065-02. Safety requirements and conditions (licensing conditions) for performing activities on using radiation sources approved by Order of the State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine No. 125 dated 02 December 2002 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 17 December 2002 under No. 978/7266.
12. Provision on the State Register of Radiation Sources and registration service payment procedure approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 847 dated 4 August 1997.
13. State Register of Radiation Sources. State Register of Storage Facilities and Interim Radioactive Waste Storage Sites. Report for 2018. Main Information and Analytical Center for Radioactive Waste Accounting of USC Radon, 2019.
14. Radioactive waste management strategy in Ukraine approved by Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 990-r dated 19 August 2009.
15. National report on Ukraine's compliance with its obligations under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Kyiv, 2017.
16. Review report on the Centralized Facility for Long-Term Storage of Spent Radioactive Sources. INSC Project U3.01/10 (Component A), UK/TS/46 Task 5 Review Report No. 1970, RISKAUDIT, 2015.
17. Law of Ukraine "On Radioactive Waste Management".
18. NP 306.4.219-2018. General safety provisions for radioactive waste disposal approved by SNRIU Order No. 331 dated 13 August 2018 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 5 September 2018 under No. 1008/32460.
19. RD 306.4.098-2004. Recommendations on establishing acceptance criteria for conditioned radioactive waste disposal

in near-surface disposal facilities approved by Order of the State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine No. 160 dated 25 October 2004.

Analysis of Safety Aspects of Disused Sealed Radiation Source Disposal

Tokarevskiy O., Fuzik K., Kondratiev S., Alekseeva Z.

State enterprise «State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation safety», Kyiv, Ukraine

Sealed radiation sources (SRS) are extensively used worldwide in agriculture, industry, medicine and different research areas.

If further use of SRS is not envisaged, and the decision is made on declaration of these disused SRSs (DSRS) as radioactive waste (RW), then legislative and regulatory requirements for RW management are fully applicable from that point.

Since DSRSs have essential distinctions from other types of RW, in particular, high specific activity, it is critically important to ensure safe management of DSRS, declared as RW, at all stages of their management including disposal. DSRS disposal as RW is the final phase of SRS lifecycle and final stage of their safe and reliable management.

In this paper, there are considered safety issues for management of DSRS, declared as RW. Approaches to DSRS disposal recommended by IAEA, advantages and drawbacks of different disposal options for DSRS are analyzed.

DSRS disposal needs shall be considered taking into account safety requirements for RW disposal. First, DSRS shall be attributed to specific RW class to address respective disposal needs. This is a challenging issue because the approaches for categorization of SRS and classification of RW are essentially different.

DSRS declared as RW may be disposed of either together with other RW in the existing or planned RW disposal facilities, or in the disposal facilities designed and constructed specially for DSRS.

Current situation with DSRS management in Ukraine is analyzed. DSRS management strategy in Ukraine envisages their long-term storage in the centralized facility for 50 years with subsequent transfer for disposal. At that, there are neither specified disposal facilities where DSRS will be disposed of, nor established generic waste acceptance criteria for DSRS disposal. Recommendations on further steps for solving challenging issues related to safe disposal of DSRS in Ukraine are provided.

Solution of a set of challenging issues related to DSRS management revealed in the paper will promote implementation of comprehensive approach to safe disposal of DSRS in Ukraine.

Key words: disused sealed radiation sources, radioactive waste, disposal, safety, disposal facility, disposal options.

Отримано 05.05.2020.