

В. Г. Батій, В. В. Єгоров, В. М. Рудько, В. М. Щербін

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

КРИТЕРІЙ ЩОДО ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" НА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНУ СИСТЕМУ

Проведено аналіз критеріїв розподілу радіоактивних відходів (РАВ) об'єкта «Укриття» на довго- та короткоіснуючі та за активністю. Показано, що до короткоіснуючих РАВ належать низькоактивні та незначна частина середньоактивних відходів. Сотні тисяч кубічних метрів РАВ на верхніх відмітках належать до довгоіснуючих середньоактивних відходів і організація їхнього захоронення в стабільних геологічних формаціях є нереалістичною задачею. Запропоновано створити спеціальне сховище для таких РАВ, а в стабільних геологічних формаціях захоронювати тільки високоактивні відходи.

Ключові слова: радіоактивні відходи, об'єкт «Укриття», захоронення, критерій приймання, довгоіснуючі відходи, короткоіснуючі відходи.

Вступ

Головним джерелом небезпеки об'єкта "Укриття" ЧАЕС є скупчення паливовмісних матеріалів (ПВМ) [1], що утворились унаслідок запроектої аварії на 4-му енергоблоці.

Зосереджені в об'єкті "Укриття" ПВМ за своїм станом і складом є довгоіснуючими радіоактивними відходами (РАВ). Деякі скупчення ПВМ є потенційно ядерно-небезпечними. Тобто якщо ПВМ залишатимуться всередині об'єкта "Укриття" в неконтрольованому стані, він взагалі ніколи не зможе бути звільнений від ядерного регулювання та контролю [2].

Вилучення ПВМ на сьогодні вважається умовою перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему та зняття його з експлуатації [3]. Перехід до зняття з експлуатації об'єкта "Укриття" може вважатися завершеним лише тоді, коли ПВМ будуть переведені в ядерно-безпечний стан та поставлені на контрольоване зберігання або передані на захоронення у стабільних геологічних формаціях.

На даний час розпочалася практична діяльність із перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему. Ця діяльність здійснюється відповідно до вимог законів України [4, 5] та "Стратегії перетворення об'єкта "Укриття" [3].

Перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему досягається шляхом реалізації трьох основних етапів [3].

Етап 1 - стабілізація стану існуючого об'єкта, підвищення експлуатаційної надійності та довговічності конструкцій та систем, що забезпечують стабілізацію та контроль показників безпеки об'єкта "Укриття".

Етап 2 - створення додаткових захисних бар'єрів (у першу чергу конфайнмента), що забезпечують необхідні умови для демонтажу нестабільних будівельних конструкцій та технічної діяльності на етапі 3 та безпеку персоналу, населення та довкілля, підготовчі інженерно-технічні роботи, спрямовані на розроблення технологій вилучення з об'єкта "Укриття" ПВМ на етапі 3, створення інфраструктури для поводження з РАВ об'єкта "Укриття";

Етап 3 - вилучення з об'єкта "Укриття" ПВМ та інших довгоіснуючих РАВ, їхнє кондиціонування з подальшим зберіганням і захороненням у сховищах РАВ відповідно до діючих стандартів, зняття з експлуатації об'єкта "Укриття".

Наразі в рамках міжнародного проекту "План здійснення заходів на об'єкті "Укриття" (ПЗЗ) завершено роботи, пов'язані зі стабілізацією будівельних конструкцій об'єкта "Укриття", будується новий безпечний конфайнмент (НБК), розроблено концептуальні рішення щодо демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта "Укриття" за допомогою систем та обладнання НБК.

Однак у ході реалізації ПЗЗ питання, що стосуються розробки стратегії та технологій вилучення ПВМ з об'єкта "Укриття", були виключені з розгляду. Практично не проводилися роботи щодо опрацювання рішень із вилучення ПВМ з об'єкта "Укриття", подальшого поводження з ними, включно до розміщення в тимчасових сховищах або захоронення.

У даній роботі обґрунтовуються можливі діапазони РАВ, вилучення яких з об'єкта "Укриття" дозволить перетворити його на екологічно безпечну систему.

© В. Г. Батій, В. В. Єгоров, В. М. Рудько, В. М. Щербін, 2015

Критерії розділення потоків коротко- та довгоіснуючих, середньоактивних та високоактивних РАВ

Для оцінки критеріїв розділення потоків короткоіснуючих низько- та середньоактивних РАВ, що будуть направлятися на захоронення у приповерхневих сховищах, та довгоіснуючих РАВ, що будуть направлятися на довготермінове зберігання з наступним захороненням у стабільних геологічних формаціях, доцільно використати критерії приймання на приповерхневому сховищі комплексу виробництв «Вектор» (КВ «Вектор») [6], оскільки там можуть приймати на захоронення тільки короткоіснуючі низько- та середньоактивні РАВ.

В якості головного параметра, що буде аналізуватися, доцільно використати масовий вміст урану $C(U) \%$ у РАВ, оскільки дані по кількості ПВМ у різних приміщеннях наведено в одиницях маси урану [1]. Крім того, радіонуклідний склад РАВ об'єкта "Укриття" наводиться в одиницях питомої активності Бк/г(U) [1].

Для нуклідів, що є визначальними для екологічної безпеки РАВ об'єкта "Укриття" (середньопаливний склад, перерахований на 2050 р.), був розрахований (рис. 1) вміст урану в РАВ, при якому питома активність радіонукліда дорівнює критерію приймання на КВ «Вектор». Найбільш критичним (мінімальне з усіх радіонуклідів значення вмісту урану в РАВ $3 \cdot 10^{-4} \%$) виявився ^{241}Am (критерій приймання 87,6 Бк/г)/

Оцінки, отримані на основі розрахунків за методом Монте-Карло [7], показали, що потужність експозиційної дози (ПЕД) на поверхні 200 л бочки з такими РАВ буде становити (на 2050 р.) приблизно 3 мР/год. Отже, виконати первинне сортування за ПЕД в умовах гамма-фону центрального залу (ЦЗ) (гамма-фон до 500 Р/год на 2050 р.) буде практично неможливо.

Те, що найбільш критичним виявився саме ^{241}Am , а не будь-який інший трансурановий радіонуклід, може бути використано у процесі сортування поза межами ЦЗ, тому що дозволить уточнювати кореляційні відношення між вмістом ^{241}Am та ^{137}Cs (виміряти вміст якого в контейнері з РАВ простіше за все) за допомогою гамма-спектрометрії без застосування радіохімічних методів.

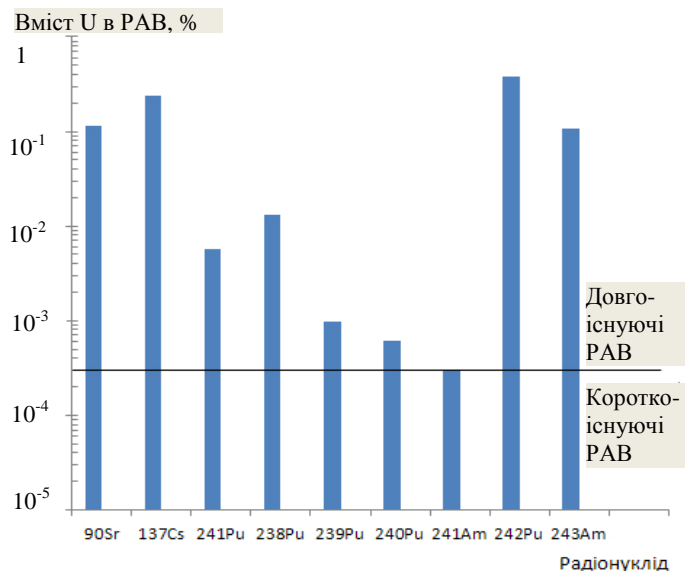


Рис. 1. Вміст урану в РАВ, при якому питома активність радіонукліда дорівнює критерію приймання на КВ «Вектор».

Критерії розділення потоків середньоактивних та високоактивних РАВ

На рис. 2 показано залежність вмісту урану від сумарної питомої активності всіх альфа-радіонуклідів у РАВ об'єкта "Укриття" та співвідношення класифікацій за активністю та часом існування. Границя розділу короткоіснуючих та довгоіснуючих РАВ відповідає сумарній питомій альфа-активності 140 Бк/г (на 2050 р.), що відповідає вмісту урану $\approx 3 \cdot 10^{-4} \%$. Видно, що короткоіснуючі РАВ належать до низькоактивних відходів та незначної частини діапазону середньоактивних відходів (від 10 до 140 Бк/г). Більша частина діапазону середньоактивних відходів (від 140 до 10^5 Бк/г) та всі високоактивні відходи належать до довгоіснуючих РАВ. Границя розділу середньоактивних та високоактивних відходів - вміст урану $\approx 0,2 \%$. ПЕД на поверхні бочки з такими РАВ буде близько 2 Р/год (на 2050 р.). Отже, високоактивні відходи від середньоактивних відходів реально відділяти навіть в умовах ЦЗ (з використанням колімованих дозиметрів).

Оцінка характеристик РАВ ЦЗ

Як було показано в [2], найбільш проблемною є зона вилучення ПВМ із ЦЗ та сумісних приміщень. Вона характеризується найбільшою кількістю ПВМ та супутніх РАВ та найбільшою їхньою неоднорідністю.

Згідно з [1, 8], кількість паливного пилу в підпокрівельному просторі є від 1 до 5 т (U). Щільність нефіксованого поверхневого забруднення ураном, що містяться в пилу ЦЗ, знаходиться в інтервалі 1 - 200 мг/м², середня щільність 37 мг/м², відношення фіксованого забруднення до повного забруднення близько 2 %. Таким чином, щільність повного поверхневого забруднення ураном знаходиться в інтервалі 0,05 - 10 г/м², середня щільність дорівнює 1,85 г/м².

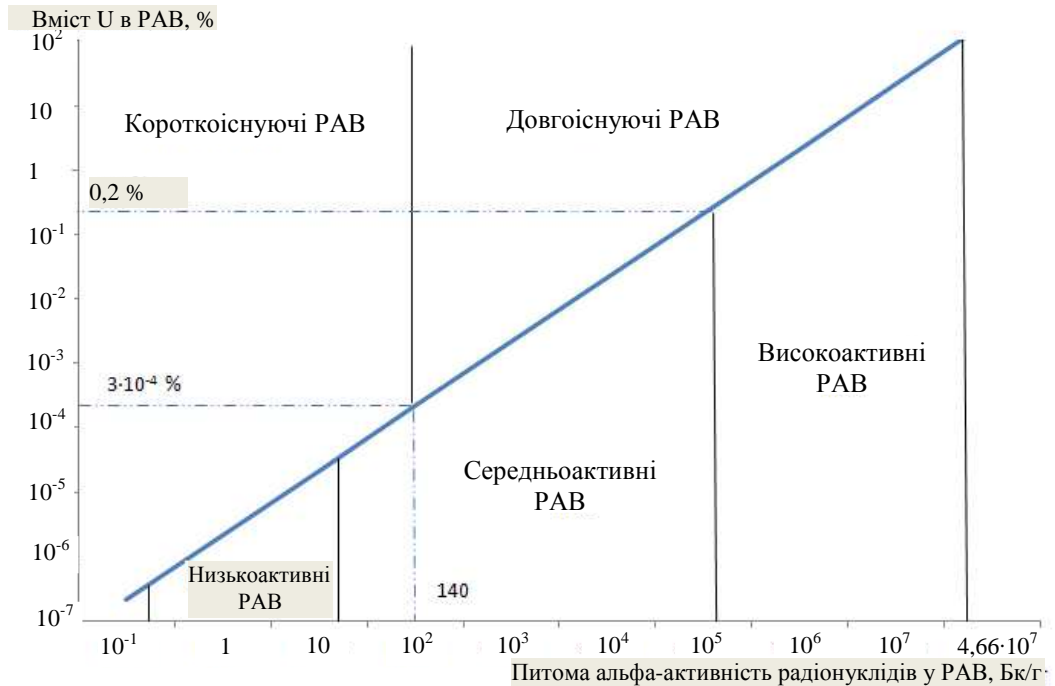


Рис. 2. Залежність вмісту урану від сумарної питомої активності всіх альфа-радіонуклідів у РАВ об'єкта "Укриття".

Як було показано в [9], загальна маса засипки при ліквідації аварії становить до 15 тис. т. Як-що прийняти (консервативно), що 5 т паливного пилу забруднило засипку, то середній вміст урану в засипці буде $3,3 \cdot 10^{-2} \%$. Якщо вважати, що неоднорідність забруднення засипки така ж, як неоднорідність поверхневого забруднення, то вміст урану в засипці змінюється в інтервалі від $8,9 \cdot 10^{-4}$ до $1,8 \cdot 10^{-1} \%$. З цього випливає, що вся засипка повинна бути віднесена до довгоіснуючих середньоактивних відходів: вміст урану вище $3 \cdot 10^{-4} \%$ (границя розділу короткоіснуючих та довгоіснуючих РАВ) та менше $2,0 \cdot 10^{-1} \%$ (границя розділу середньоактивних та високоактивних відходів). Враховуючи консервативність наведених оцінок (використовувалося максимальне значення, а крім того частина пилу знаходиться на будівельних конструкціях та обладнанні), можна стверджувати, що в самій засипці високоактивних відходів немає (за винятком окремих фрагментів активної зони під засипкою).

Для аналізу критеріїв розподілу потоків короткоіснуючих та довгоіснуючих РАВ у випадку поверхнево забруднених РАВ була, як приклад, використана спрощена модель: фрагмент крупногабаритного обладнання або металоконструкцій (матеріал – сталь, питома маса $7,86 \text{ г/см}^3$) або залізобетонних конструкцій (матеріал – бетон, питома маса $1,8 \text{ г/см}^3$). Було проаналізовано два випадки – фрагмент забруднений з усіх сторін і торцеві поверхні не забруднені (наприклад, при вирізання фрагмента з конструкції).

Для кожного рівня поверхневого забруднення ураном знаходилася гранична товщина, коли вміст урану досягав величини $3 \cdot 10^{-4} \%$, тобто границі між короткоіснуючими та довгоіснуючими РАВ. Для рішення такої задачі необхідно побудувати функцію залежності товщини фрагмента від щільності поверхневого забруднення при фіксованій величині вмісту урану у фрагменті $c = 3 \cdot 10^{-4} \%$.

Вміст урану можна виразити як

$$c = \frac{m_U}{M}, \quad (1)$$

де m_U – маса пилу, що містить уран на поверхні конструкції, г; M – загальна маса конструкції, г. Маса пилу дорівнює

$$m_U = d \cdot S, \quad (2)$$

де d – щільність повного поверхневого забруднення ураном, $г/м^2$, S – площа забрудненої поверхні конструкції, $м^2$.

Якщо торцева поверхня конструкції не є забрудненою, то

$$S = 2ab, \tag{3}$$

де a і b – довжина та ширина конструкції, $м$.

Виходячи з формул (1 – 3), можна записати

$$M = \frac{d \cdot 2 \cdot a \cdot b}{c}. \tag{4}$$

З іншого боку, можна записати, що

$$M = 10^6 \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot h, \tag{5}$$

де h – товщина конструкції, $м$, ρ – щільність матеріалу конструкції, $т/м^3$.

Коефіцієнт 10^6 враховує переведення тонни в грами.

Виходячи з формул (4) та (5),

$$h = \frac{2d \cdot a \cdot b}{10^6 \cdot c \cdot \rho}. \tag{6}$$

У випадку, коли торці теж забруднені, площа забрудненої поверхні конструкції складається з верхньої і нижньої поверхонь та площі торців:

$$S = 2ab + 2h \cdot (a + b). \tag{7}$$

Проводячи аналогічні перетворення, отримуємо

$$h = \frac{2d}{10^6 \cdot c \cdot \rho - 2d \cdot (1/a + 1/b)}. \tag{8}$$

Видно, що для конструкцій з великою площею формула (8) наближається до формули (6), тобто зникає залежність від a та b (площею забруднених торців можна знехтувати).

Залежність граничної (довгоіснуючі – короткоіснуючі РАВ за критерієм питомої активності) товщини сталевго фрагмента (розміром 1×1 м із забрудненою торцевою поверхнею) від щільності поверхневого забруднення наведено на рис. 3. Видно, що навіть при мінімальній щільності забруднення до короткоіснуючих РАВ можуть бути віднесені тільки дуже масивні конструкції, товщиною більше 5 см (усі інші конструкції будуть віднесені до довгоіснуючих РАВ). Реально це може означати, що до короткоіснуючих РАВ зможуть бути віднесені тільки масивні фрагменти розвантажувально-завантажувальної машини, мостового крану тощо. Більшість металевих конструкцій буде віднесено до довгоіснуючих РАВ.

Аналогічна залежність для залізобетонного фрагмента наведено на рис. 4. Видно, що навіть при мінімальній щільності забруднення до короткоіснуючих РАВ можуть бути віднесені тільки дуже масивні конструкції товщиною більше 20 - 30 см. Забруднені з усіх сторін фрагменти залізобетонних конструкцій будуть віднесені до довгоіснуючих РАВ (середня щільність забруднення в ЦЗ $1,85$ $г/м^2$).

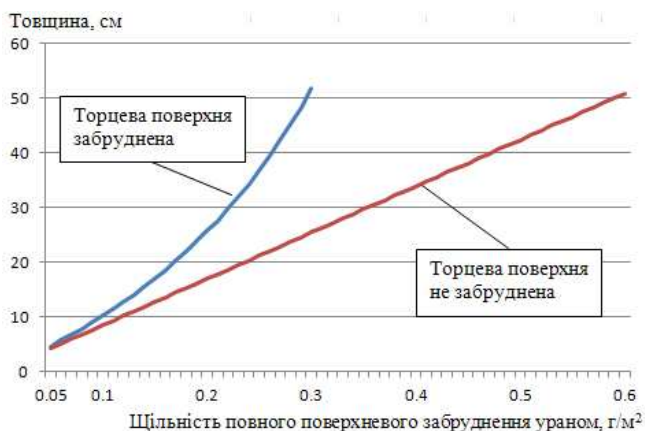


Рис. 3. Залежність граничної товщини сталевго фрагмента (випадок із забрудненими торцевими поверхнями) від щільності поверхневого забруднення.



Рис. 4. Залежність граничної товщини залізобетонного фрагмента (випадок із забрудненими торцевими поверхнями) від щільності поверхневого забруднення.

Аналогічний аналіз було проведено для визначення критеріїв розділення на високоактивні та середньоактивні РАВ (вміст урану 0,2 %).

На рис. 5 наведено відповідні залежності для металевих фрагментів, на рис. 6 – для залізобетонних фрагментів.



Рис. 5. Залежність граничної товщини сталевих фрагментів від щільності поверхневого забруднення.



Рис. 6. Залежність граничної товщини залізобетонних фрагментів від щільності поверхневого забруднення.

З наведених даних видно, що до високоактивних відходів буде належати тільки дуже незначна частина поверхнево забруднених РАВ.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що використання існуючих норм приводить до того, що до довгоіснуючих РАВ потрібно віднести значну частину РАВ об'єкта «Укриття» з багатьма його будівельними конструкціями. Організація тимчасового зберігання з наступним захороненням такої кількості (десятки тисяч кубічних метрів) РАВ є нереальною задачею. Доцільно поставити задачу організації спеціального сховища та спеціальних умов для захоронення низькоактивних та середньоактивних відходів об'єкта «Укриття» з вмістом урану до 0,2 %. Тимчасовому зберіганню підлягають високоактивні відходи з вмістом урану більше 0,2 %, у тому числі ПВМ (вміст урану більше 1%).

Висновок

1. Розраховано вміст урану в РАВ, при якому питома активність радіонуклідів, визначальних для екологічної безпеки РАВ об'єкта «Укриття», дорівнює критерію приймання на приповерхневому сховищі КВ «Вектор». Критерій приймання є критерієм розподілу потоків короткоіснуючих низькоактивних і середньоактивних відходів та довгоіснуючих РАВ.

2. Найбільш критичним радіонуклідом (мінімальне з усіх значення вмісту урану в РАВ $3 \cdot 10^{-4}$ %) є ^{241}Am (критерій приймання 87,6 Бк/г).

3. Використання ^{241}Am у процесі сортування РАВ поза межами ЦЗ дозволить уточнювати кореляційні відношення між вмістом ^{241}Am та ^{137}Cs за допомогою гамма-спектрометрії без застосування радіохімічних методів.

4. На основі аналізу залежності вмісту урану від сумарної питомої активності всіх альфа-радіонуклідів у РАВ показано співвідношення класифікацій за активністю та часом існування. Границя розділу короткоіснуючих та довгоіснуючих РАВ відповідає сумарній питомій альфа-активності 140 Бк/г.

5. Показано, що до короткоіснуючих РАВ належать низькоактивні та незначна частина середньоактивних відходів. Більша частина середньоактивних відходів та високоактивні відходи належать до довгоіснуючих РАВ. Границя розділу середньоактивних та високоактивних відходів - вміст урану $\approx 0,2$ %.

6. Аналіз даних по забрудненню в ЦЗ показав, що середній вміст урану в засипці $3,3 \cdot 10^{-2}$ % і він змінюється в інтервалі від $8,9 \cdot 10^{-4}$ до $1,8 \cdot 10^{-1}$ %. З цього витікає, що вся засипка повинна бути віднесена до довгоіснуючих середньоактивних відходів: вміст урану вище $3 \cdot 10^{-4}$ % та менше $2,0 \cdot 10^{-1}$ %.

7. Аналіз поверхнево забруднених фрагментів конструкцій та обладнання показав, що навіть при мінімальній щільності забруднення до короткоіснуючих РАВ можуть бути віднесені тільки окремі найбільш масивні конструкції. Більшість конструкцій буде віднесено до довгоіснуючих РАВ. По-

казано, що до високоактивних РАВ буде належати тільки дуже незначна частина поверхнево забруднених фрагментів конструкцій.

8. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що використання існуючих норм приводить до того, що до довгоіснуючих РАВ потрібно віднести значну частину РАВ об'єкта «Укриття», включно з багатьма його будівельними конструкціями. Організація тимчасового зберігання з наступним захороненням такої кількості РАВ є нереальною задачею.

9. Враховуючі особливий статус забрудненої території навколо ЧАЕС, можна ставити задачу організації спеціального підземного (але не обов'язково в стабільних геологічних формаціях) сховища та спеціальних умов для захоронення довгоіснуючих середньоактивних РАВ об'єкта «Укриття» з вмістом урану від $3 \cdot 10^{-4}$ до 0,2 %.

10. Тимчасовому зберіганню з подальшим захороненням у стабільних геологічних формаціях підлягають тільки високоактивні РАВ з вмістом урану більше 0,2 %, у тому числі ПВМ (вміст урану більше 1 %).

11. Кінцевою метою перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему має бути його перетворення в приповерхневе сховище короткоіснуючих РАВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ОСБ ОУ 2008*. Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие». - ЧАЭС, 2008. - 436 с.
2. *Батий В. Г., Щербин В. Н., Щуленникова А. В.* Анализ возможных путей обращения с топливосодержащими материалами после завершения строительства нового безопасного конфайнмента // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. - 2014. - Вып. 23. - С. 32 - 44.
3. *Стратегия* преобразования объекта «Укрытие», принятая решением Межведомственной комиссией по комплексному решению проблем Чернобыльской АЭС, протокол № 2 от 12 марта 2001 г.
4. *Закон України* „Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему”.
5. *Закон України* „Про загальнодержавну програму зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему”.
6. *Критерії* приймання радіоактивних відходів на захоронення в спеціально обладнаному приповерхневому сховищі твердих радіоактивних відходів (СОПСТРВ).
7. *Батий В.Г., Егоров В.В., Рудько В.М. и др.* Расчет нейтронного и гамма-излучения топливосодержащих материалов // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. - 2004. - Вып. 1. - С. 80 - 87.
8. *Анализ* текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: Отчет о НИР / МНТЦ «Укрытие». - Арх. № 3836. - Чернобыль, 2001. - 337 с.
9. *Бицкий А.А., Гайко В.Б., Грищенко А.В. и др.* Классификация радиоактивных материалов, находящихся в объекте "Укрытие" как форм РАО // Отчет МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Инв. 07/01. - Чернобыль, 1992. - 45 с.

В. Г. Батий, В. В. Егоров, В. М. Рудько, В. М. Щербин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

КРИТЕРИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТА "УКРЫТИЕ" В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНУЮ СИСТЕМУ

Выполнен анализ критериев разделения радиоактивных отходов (РАО) объекта "Укрытие" на долго- и краткосуществующие и по их активности. Показано, что к краткосуществующим РАО принадлежат низкоактивные и незначительная часть среднеактивных отходов. Сотни тысяч кубических метров РАО на верхних отметках принадлежат к долгосуществующим среднеактивным отходам. Организация захоронения таких отходов в стабильных геологических формациях является нереалистичной задачей. Предложено создать специальное хранилище для таких РАО, а в стабильных геологических формациях захоранивать только высокоактивные отходы.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, объект "Укрытие", захоронение, критерии принятия, долгосуществующие отходы, краткосуществующие отходы.

V. G. Batiy, V. V. Yegorov, V. M. Rudko, V. M. Shcherbin

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

CRITERIA OF TRANSFORMATION OF OBJECT "UKRYTTYA" IN ENVIRONMENTALLY SAFE SYSTEM

The analysis of criteria of division of radioactive wastes (RAW) of object "Ukryttya" is executed on short-lived and long-lived, and their activity. It is shown that to short-lived RAW underactive belong and insignificant part of me-

dium-activity waste. Hundreds of thousands of m³ of RAW on overhead marks belong to long-lived medium-activity wastes. Organization of burial place of such wastes in stable geological structures is an unrealistic task. It is suggested to create the special depository for such RAW, and buried in stable geological structures high-activity wastes only.

Keywords: radioactive wastes, object "Ukryttya", burial place, criteria of acceptance, long-lived wastes, short-lived wastes.

REFERENCES

1. *RSS Object "Shelter" 2008*. Report on the state of safety object "Shelter". - ChNPP, 2008. 436 p. (Rus)
2. *Batiy V. G., Shcherbin V. M., Shchulepnikova A. V.* Analysis of possible ways of the fuel containing materials after the completion of the new safe confinement construction // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly)*. - 2014. - Iss. 23. - P. 32 - 44. (Rus)
3. *The strategy of converting an object of "Shelter", the decision-making of the Interdepartmental Commission of on complex decision of problems of ChNPP, protocol № 2 from 12 March 2001.* (Rus)
4. *Law of Ukraine "On general principles of further exploitation and removal from exploitation of Chornobyl' AEC and transformation of the destroyed fourth power unit of this AEC to the environmentally sound system".* (Ukr)
5. *Law of Ukraine "On the national program of removal from exploitation of Chornobyl' AEC and transformation of object of "Shelter" to the environmentally sound system".* (Ukr)
6. *Criteria of acceptance of radioactive wastes are on a burial place in the specially equipped near-surface depository of hard radioactive wastes (SENDHRAW).* (Ukr)
7. *Batiy V. G., Yegorov V. V., Rudko V.V. et al.* Estimate of neutron- and gamma radiation of fuel containing materials // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly)*. - 2004. - Iss. 1. - P. 80 - 87. (Rus)
8. *Analysis of the current safety "Shelter" and forward-looking assessment of the situation: Repor SRW/ ISTC "Shelter".* - Arch. № 3836. - Chornobyl, 2001. - 337 p. (Rus)
9. *Bitsky A. A., Gaiko V.B., Grishchenko A.V. et al.* Classification of radioactive materials in the "Shelter" as a form of waste // *Report ISTC "Shelter" NAS of Ukraine. Inv. 07/01.* - Chornobyl, 1992. - 45 p. (Rus)

Надійшла 04.02.2015

Received 04.02.2015