

ПРОБЛЕМИ РАДІАЦІЙНИХ ВІДХОДІВ *

Левченко О. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Виконано аналіз впливу джерел утворення радіоактивних відходів на навколишнє середовище. Показано, що отримання електричної та теплової енергії за рахунок атомних електричних станцій пов'язано з забрудненням довкілля та негативним впливом на біосферу і людину.

Ключові слова: джерела іонізуючого випромінювання, радіоактивні речовини, промислові викиди, вплив на довкілля і людину.

Abstract. The influence of sources radioactive waste generation on the environment has been analyzed. It has been shown that the generation of electrical and thermal energy from nuclear power plants is associated with environmental pollution and negative impacts on the biosphere and humans.

Keywords: ionizing radiation sources, radioactive substances, industrial emissions, environmental and human impact.

Вступ. Функціонування атомних електростанцій (АЕС) закономірно пов'язане не тільки з їх безпосередньою потенційною ядерною загрозою для населення і територій, а й з утворенням радіоактивних відходів, які становлять головну екологічну небезпеку для навколишнього середовища і життєдіяльності людини. Метою даної статті є огляд сучасного стану проблеми радіоактивних відходів, вирішення якої вимагає рішучих дій.

Джерела утворення радіоактивних відходів

У процесі експлуатації ядерних енергетичних установок і підприємств ядерного паливного циклу джерелами радіоактивних відходів (РАВ) є радіоактивні речовини, що утворюються в результаті ділення ядер ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , а також у результаті активації нейтронами різних матеріалів, які знаходяться в активній зоні, як продукти реакцій (n, γ) , (n, α) і (n, p) [1].

Суміш продуктів поділу складається переважно з 35 хімічних елементів, більшість з яких складають короткоживучі радіонукліди (табл. 1). Через 10 років активність визначається переважно ^{90}Sr і ^{137}Cs , але небезпека для навколишнього середовища від α -випромінювачів зберігається тисячоліттями [2].

Найбільш радіаційно-небезпечними джерелами забруднень виробничих приміщень, персоналу та навколишнього середовища є технологічні процеси радіохімічної переробки ядерного палива при вилученні з нього урану, плутонію, нептунію та інших найцінніших радіонуклідів [3].

Таблиця 1.

Основні види радіонуклідів, що утворюються на АЕС з реакторами типу ВВЕР и РБМК

Радіонукліди	Активність, ТБк	%	Радіонуклід	Активність, ТБк	%
¹³³ Xe	2046,1	8,19	¹³¹ I	932,4	3,73
¹⁴⁰ Ba	1912,9	7,66	¹³² I	1365,3	5,47
¹⁴⁰ La	1912,9	7,66	¹⁰³ Ru	1143,3	4,58
⁹⁵ Zr	1820,3	7,29	¹⁴¹ Ce	1768,6	7,08
⁹¹ Y	1809,2	7,25	¹⁴⁴ Ce	987,9	3,96
⁹⁵ Nb	1783,4	7,14	¹⁴³ Pr	1676,1	6,71
¹⁰³ Rh	1143,3	4,58	¹⁴⁴ Pr	987,9	3,96
⁸⁹ Sr	1413,4	5,66	¹³⁶ Cs	1,924	0,01
⁹⁰ Sr	52,91	0,21	¹³⁷ Cs	39,96	0,16
¹³² Te	1365,3	5,47	¹⁴⁷ Nd	806,6	3,23
Сумарна активність продуктів поділу				24969,89	100

Газоподібні радіоактивні відходи – щодо газоподібних радіоактивних відходів термін «відходи» в Україні не застосовується, а використовується термін «викиди» – газо-аерозольні викиди (ІРГ, І2, ЗН, І4С, аерозольні викиди ізотопів стронцію – ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr і цезію – ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs та ін.).

Рідкі радіоактивні відходи (контурна вода, конденсат турбін з підсмоктуваною охолоджуючою водою в конденсаторах, протікання технічної води, води від відмивання приміщень і обладнання, розчини від дезактивації обладнання, пульпи перліту та іонообмінних смол).

Рідкі радіоактивні відходи поділяються на: трапні води; кубові залишки після переробки трапних вод; відпрацьована пульпа фільтроперліта – наливних механічних фільтрів очищення теплоносія контуру багаторазової примусової циркуляції; організовані протікання; неорганізовані протікання; іонообмінні смоли установок водоочищення.

Тверді радіоактивні відходи (обладнання, що вийшло з ладу, будівельне сміття, що не підлягає дезактивації, спецодяг, ганчір'я, відпрацьовані джерела іонізуючого випромінювання, пластикат та ін.). Тверді радіоактивні відходи поділяються на ті, що пресуються (одяг, гума, пластикати, теплоізоляція, папір, фільтри); і ті, що не пресуються (дерево, фільтри-рамки, трубопроводи, скло, інструменти, труби/вентилі, бетонні блоки); та ті, що спалюються (папір, дерево), металеві.

Радіоактивні речовини утворюються на АЕС в активній зоні реактора в результаті ядерної реакції поділу ядер ²³³U, ²³⁵U і ²³⁹Pu. Це головне джерело утворення радіоактивних речовин на АЕС. Крім цього, вони утворюються і в результаті реакцій активації потоком нейтронів різних матеріалів, що знаходяться в активній зоні реактора при роботі його на потужності, як продукти реакцій (n, γ), (n, α) і (n, p).

Активність продуктів поділу ядерного палива надзвичайно велика і стає

тим більшою, чим довше працював реактор на потужності. Велика частина утворюваних радіонуклідів має короткий період напіврозпаду, тому після зупинки реактора вони досить швидко розпадаються. Проте багато продуктів поділу мають період напіврозпаду від декількох годин до десятків, сотень і більше років, що й обумовлює радіаційну небезпеку ядерного реактора. За нормальної експлуатації АЕС накопичені в реакторі радіоактивні речовини практично не можуть потрапити в навколишнє середовище завдяки цілій низці захисних бар'єрів на шляху їх можливого виходу. Кожен фізичний бар'єр проектується і виготовляється з урахуванням спеціальних норм і правил для забезпечення його підвищеної надійності.

У процесі здійснення технологічного процесу рівень захисту фізичних бар'єрів забезпечується за рахунок підтримки робочих параметрів АЕС в заданих проектних межах, за яких бар'єри піддаються загрозі ушкодження. На ефективність рівнів захисту істотно впливає розвиненість властивостей внутрішньої самозахисності реакторної установки, тобто властивостей, що визначають стійкість до небезпечних відхилень параметрів технологічного процесу і здатність до відновлення параметрів у межах допустимих значень [3].

Поводження з радіоактивними відходами

Будь-яка діяльність у галузі поводження з радіоактивними відходами в Україні регулюється Законом України «Про поводження з радіоактивними відходами» [4]. Відповідно до цього Закону поводження з радіоактивними відходами – це діяльність, пов'язана із збиранням, переробкою, транспортуванням, зберіганням та захороненням радіоактивних відходів (РАВ). Вимоги до захоронення РАВ викладені (все ж у недостатній мірі) в Законі України «Про поводження з РАВ», НД 306.604-95 «Захоронення радіоактивних відходів у приповерхневих сховищах», СПОРО-88. Вимоги до захоронення РАВ, викладені в СПАС-88 і ПРБ-АС-89, потребують перегляду, оскільки вони суперечать нинішнім законодавством України.

На даний час вимоги до упаковок РАВ, що передаються на захоронення, ще знаходяться в стадії розробки.

Збір радіоактивних відходів здійснюється силами і засобами підприємства, на якому утворюються радіоактивні відходи, окремо від звичайного сміття і суворо окремо з урахуванням:

- фізичного стану (тверді, рідкі);
- походження (органічні, неорганічні, біологічні);
- періоду напіврозпаду радіонуклідів, які знаходяться у відходах (до 15 діб, більше 15 діб);
- вибухо- і вогнебезпечності (небезпечні, безпечні).

Система поводження з радіоактивними відходами повинна включати в себе збір відходів, тимчасове їх зберігання, переробку, видалення і захоронення. Повинні бути призначені особи відповідальні за збір та передачу на захоронення радіоактивних відходів на підприємстві, які зобов'язані вести облік радіоактивних відходів. На кожен партію радіоактивних відходів, переданих на поховання, повинен бути оформлений паспорт.

Контейнери для радіоактивних відходів мають бути типовими. Розмір і конструкція контейнерів визначається типом та кількістю радіоактивних відходів, видом і енергією випромінювання радіонуклідів. Внутрішні поверхні контейнерів для багаторазового використання повинні плавно сполучатися, бути гладкими, виконаними зі слабо сорбційного матеріалу, що допускає обробку кислотами і спеціальними розчинами, і мати достатню механічну міцність. Контейнери повинні закриватися кришками. Конструкція контейнерів повинна забезпечувати їх механізоване навантаження і вивантаження. Потужність дози випромінювання на відстані 1 метр від збірника з радіоактивними відходами допускається не більше 10 мбер/год.

Транспортування, переробка та захоронення радіоактивних відходів проводиться пунктами захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) або спеціалізованими комбінатами. Зберігання РАО грає важливу роль у поводженні з відходами.

Зберігання радіоактивних відходів означає розміщення РАВ у об'єкті і у придатному місці, в якому забезпечується їх ізолювання від навколишнього природного середовища, фізичний захист і радіаційний моніторинг, з можливістю подальшого вилучення, переробки, транспортування та захоронення.

Захоронення радіоактивних відходів – розміщення радіоактивних відходів у об'єкті, у придатному місці в постійному сховищі призначене для поводження з РАВ без наміру їх подальшого використання і вилучення в майбутньому.

На АЕС зберігання рідких і твердих РАВ здійснюється відповідно у сховищах рідких відходів (СРВ) і сховищах твердих відходів (СТВ). Зберігання РАВ може здійснюватися як за місцем їх утворення, так і за місцем переробки та захоронення РАВ.

Сховища радіоактивних відходів споруджують, як правило, на території АЕС не ближче 500 м від відкритих водойм. При цьому місцевість не повинна бути заболочена і рівень ґрунтових вод повинен бути низьким. Навколо пункту захоронення передбачають санітарно-захисну зону.

Захоронення РАВ у тимчасових ПЗРВ, як правило, забороняється. Але в окремих випадках допускається захоронення РАВ у тимчасових могильниках. Таким прикладом може бути захоронення РАВ у процесі ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС в 1986 році. Пункти тимчасової локалізації та захоронення РАВ (ПТЛРВ і ПЗРВ) створювалися в 1986-1987 роках військами цивільної оборони при проведенні дезактиваційних робіт навколо 4-го блоку ЧАЕС і прилеглої до нього території. Ці поховання споруджувалися без проектної документації, не мають достатніх інженерних захисних споруд і перекриттів, створювалися без урахування гідрогеологічних умов на їх територіях. Для кожного ПТЛРВ і ПЗРВ неможливо виділити власну санітарно-захисну зону, тому що вся територія зони відчуження потрапляє під визначення, викладене в ОСП-72/87. Зони спостереження в її дослівному розумінні тут не існує взагалі. Видалення РАО з тимчасових могильників зони

відчуження ЧАЕС, їх переробка та захоронення є актуальною проблемою і в даний час і в майбутньому. Ступінь радіаційної небезпеки при збиранні, транспортуванні, переробці та захороненні радіоактивних відходів залежить від наступних основних факторів:

- величини активності;
- виду і енергії випромінювання;
- ступеня токсичності радіоактивних речовин, що містяться у відходах;
- періоду напіврозпаду радіонуклідів;
- фізичного стану відходів (рідкі, тверді);
- виду і стану тари.

ТРВ та РРВ, що містять короткоживучі нукліди з періодом напіврозпаду до 15 діб, витримують протягом часу, що забезпечує зниження активності до безпечних рівнів, а потім видаляють як звичайне сміття на організовані звалища, а РРВ – в господарсько-побутову каналізацію за умови обов'язкового радіаційного контролю.

Відпрацьоване ядерне паливо АЕС, яке не підлягає переробці, після відповідної витримки зберігається в спеціальних сховищах відпрацьованого ядерного палива (СВЯП), обладнаних технічними засобами вилучення палива з цього сховища.

Протягом усього часу зберігання або захоронення РАВ регулярно здійснюється контроль та їх станом, радіаційною обстановкою у сховищах і навколишньому природному середовищу.

У необхідних випадках для установ встановлюються допустимі скиди радіоактивних речовин у поверхневі водойми.

У господарсько-побутову каналізацію допускається скидання радіоактивних стічних вод з концентрацією, що перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) для води не більше ніж у 10 разів, якщо забезпечується їх десятикратне розведення нерадіоактивними стічними водами в колекторі даної установи, а сумарне скидання радіоактивних речовин у водойму не перевищить встановленого допустимого рівня. У випадку малих кількостей рідких радіоактивних відходів (менше 200 л), а також у разі неможливості їх розведення, відходи повинні збиратися у спеціальні ємності для подальшого видалення та захоронення.

При видаленні стічних вод безпосередньо із установ або загальноміської каналізації у відкриті водойми концентрація радіоактивних речовин у стічних водах біля місця спуску їх у водойму не повинна перевищувати ГДК для води.

Забороняється видалення рідких радіоактивних відходів в поглинаючі ями, колодязі, свердловини, на поля зрошення, поля фільтрації, у системи підземного зрошення.

Проекти діючих АЕС України розроблялися в 70-х роках, коли питанням поводження з РАВ не приділялося належної уваги. Проектами АЕС були передбачені контейнери для поводження з РАВ усіх груп активності, але реальне втілення отримали тільки контейнери та обладнання для високо- і частково середньоактивних відходів. Розробники документації і заводи з

виготовлення контейнерів перебували в Росії, що і визначило відсутність досвіду і готовності українських заводів до виготовлення контейнерів після розпаду Союзу. У ситуації, що склалася, одним з перших кроків на шляху створення стратегії контейнерного парку України, був аналіз технологій поводження з твердими відходами на АЕС, аналіз існуючого контейнерного парку АЕС, аналіз проєктованих на АЕС установок із поводження з РАВ, аналіз зарубіжного досвіду щодо застосування різного типу контейнерів і, виходячи з цього, оцінка потреб АЕС в різних типах контейнерів.

У звіті Інституту підтримки експлуатації АЕС «Вимоги та рекомендації щодо вибору першочергових типів контейнерів для збору, зберігання і переробки РАВ АЕС України» [5] відзначено, що поводження з РАВ, які утворюються при експлуатації АЕС, здійснюється на основі тимчасових дозволів на експлуатацію енергоблоків АЕС. Наведені нижче дані щодо динаміки утворення і кількості РАВ на АЕС України, взяті з вищевказаного звіту як найбільш достовірні. Річний приріст обсягів РАВ на АЕС України, в середньому, становить 4-6% для ТРВ та 11-13% для РРВ від проєктних обсягів сховищ.

Найбільш несприятлива ситуація з ТРВ склалася на Південно-Українській АЕС (10% вільного об'єму сховищ ТРВ 1 гр.) і по РРВ – на Рівненській АЕС (22% вільного об'єму сховищ) і якщо не приймати відповідних заходів ці станції зможуть пропрацювати не більше 1-2 років.

На АЕС України практично відсутній повний технологічний цикл поводження з РАВ. Станції дуже бідно оснащені установками з переробки РАВ. Стан поводження з РРВ на АЕС України у великій мірі пов'язаний з відсутністю повного технологічного циклу з переробки РРВ до отримання знезараженого продукту. Використання установок глибокого упарювання УГУ-500 на Запорізькій і Хмельницькій АЕС не вирішує проблему переробки РРВ. На Рівненській АЕС є установка бітумірування, яка не працює з 1996 року через відсутність ліцензії на її експлуатацію.

Що стосується переробки ТРВ (спалювання, пресування і т.д.) з метою зменшення обсягів ТРВ, то тільки на Запорізькій АЕС є установка спалювання. Установки пресування є тільки на Південно-Українській та Запорізькій АЕС [5].

Для вирішення цих проблемних питань на АЕС України проєктуються комплекси щодо поводження з РАВ, що передбачають сортування відходів за видом подальшої переробки; попереднє пресування відходів у бочці; суперпресування попередньо спресованих відходів і затарювання в залізобетонний контейнер для захоронення; спалювання горючих відходів та відпрацьованих сорбентів; затарювання відходів, що не перероблюються, в бочки для встановлення їх у контейнер для поховання; цементування кубових залишків і заливка цементною масою відходів, затарених у залізобетонний контейнер для поховання [6].

У наступних статтях даної серії* заплановано навести більш докладну інформацію про проєктовані комплекси з поводження з РАВ на АЕС України.

Література

1. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика (2-е изд.). М.: Наука, 1980. 728 с.
2. Проблеми радіаційної медицини та безпеки України в ХХІ столітті: історичне минуле та сучасні завдання / А.М. Сердюк, Д.А. Базика, І.П. Лось та ін. // Науковий журнал МОЗ України. № 1 (2). 2013. С. 7-18.
3. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю. К.: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005. 487 с.
4. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995 № 255/95-ВР.
5. Звіт Інституту підтримки експлуатації АЕС «Вимоги та рекомендації щодо вибору першочергових типів контейнерів для збору, зберігання і переробки РАВ АЕС України», ІПЕ АЕС, НАЕК «Енергоатом», Київ, 2000.
6. Вимоги до упаковок для довгострокового зберігання та захоронення високоактивних радіоактивних відходів від переробки відпрацьованого ядерного палива від 11.03.2009 р. № 229/16245.

* Стаття продовжує серію публікацій про проблеми радіаційної безпеки, розпочату в попередньому збірнику конференції