

С. М. Кондратьєв<sup>1</sup>, Г. П. Борозенець<sup>1</sup>,  
І. В. Ярмош<sup>1</sup>, Т. Я. Кутузова<sup>2</sup>, Ю. В. Чепурний<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ, Україна

## Поводження з радіоактивними відходами на атомних електростанціях України. Стан та проблеми

*Розглянуто застосовувані на атомних електростанціях України методи та підходи щодо поводження з радіоактивними відходами, а також перспективні технології, які будуть задіяні після завершення будівництва на майданчиках АЕС комплексів з переробки радіоактивних відходів.*

*Ключові слова: радіоактивні відходи; поводження з радіоактивними відходами; кубовий залишок; сольовий плав; установки з переробки радіоактивних відходів.*

**С. Н. Кондратьев, Г. П. Борозенец, И. В. Ярмош, Т. Я. Кутузова, Ю. В. Чепурный**

### Обращение с радиоактивными отходами на атомных электростанциях Украины. Состояние и проблемы

*Рассмотрены применяемые на атомных электростанциях Украины методы и подходы к обращению с радиоактивными отходами, а также перспективные технологии, которые будут задействованы после завершения строительства на площадках АЭС комплексов по переработке радиоактивных отходов.*

*Ключевые слова: радиоактивные отходы; обращение с радиоактивными отходами; кубовый остаток; солевой плав; установки по переработке радиоактивных отходов.*

© С. М. Кондратьєв, Г. П. Борозенець, І. В. Ярмош, Т. Я. Кутузова, Ю. В. Чепурний, 2016

До радіоактивних відходів (РАВ) належать «матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені діючими нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається» [1]. РАВ утворюються в результаті практичної діяльності з використання ядерної енергії. Об'єм утворення РАВ, їх номенклатура, типи та види (морфологічний та радіонуклідний склад, активність, інші фізико-хімічні характеристики) залежать від видів практичної діяльності.

Основними виробниками РАВ є атомні електростанції. У середньому на українських АЕС на 1 млрд-кВт-год виробленої електроенергії, залежно від типу реактора, утворюється до 27 м<sup>3</sup> твердих РАВ (ТРВ) та 35 м<sup>3</sup> рідких РАВ (РРВ) [2].

Показник утворення РАВ — відношення об'єму утворених РАВ за звітний період (рік) [м<sup>3</sup>] до встановленої потужності [МВт] — є важливою характеристикою ефективності роботи АЕС, оскільки фінансові затрати для поводження з РАВ (тимчасове зберігання, кондиціонування, переробка та захоронення) віднедавна входять до собівартості виробництва електроенергії. Тому АЕС приділяють значну увагу мінімізації утворення РАВ у технологічному процесі виробництва електроенергії.

Відповідно до українського законодавства [3], РАВ тимчасово зберігаються у виробника до передавання на захоронення. Для тимчасового зберігання РАВ служать спеціальні об'єкти (сховища), які забезпечують їх ізоляцію від навколишнього середовища, фізичний захист і радіаційний моніторинг, а також можливість подальшого вилучення, переробки, перевезення та захоронення.

Проектом АЕС передбачається спорудження сховищ для тимчасового зберігання РАВ різних типів та категорій. Об'єм сховищ має забезпечувати зберігання проектних об'ємів РАВ, які утворюються протягом проектного терміну експлуатації АЕС. Приймаючи рішення про можливість продовження експлуатації енергоблоків, враховують наявність достатніх вільних об'ємів сховищ. Наявність достатніх вільних об'ємів сховищ забезпечується заходами з мінімізації РАВ та їх переробки безпосередньо на майданчику АЕС.

Мета цієї публікації — надати стислий аналіз діючої на АЕС України системи поводження з РАВ з огляду на оптимізацію інтегрованої схеми поводження з ними (охоплюючи захоронення) відповідно до кращої практики поводження з РАВ та рекомендацій [4, 5].

### Типи, види та категорії РАВ

Для вирішення практичних задач поводження з РАВ, щоб забезпечити радіаційну безпеку, дотриматися технологічних вимог тощо, РАВ поділяють (класифікують) за певними ознаками та властивостями (радіаційними, фізико-хімічними, механічними тощо.).

Загальні підходи до класифікації РАВ в Україні [6]:

1. З огляду на агрегатний стан, РАВ поділяють на тверді (ТРВ) та рідкі (РРВ).

2. Залежно від допустимості захоронення РАВ у сховищах різних типів, розрізняють два типи РАВ: короткоіснуючі (досягають рівнів звільнення від регулюючого контролю через 300 років) та довгоіснуючі (досягають рівнів звільнення після 300 років).

3. За рівнем вилучення та (або) звільнення радіонуклідів у складі РАВ від регулюючого контролю (значення

максимальної питомої активності), РАВ поділяють на чотири групи.

4. За питомою активністю РАВ, кожна з чотирьох груп відходів поділяють на три категорії: низько-, середньо- та високоактивні відходи (НАВ, САВ та ВАВ, відповідно). Для гамма-випромінюючих РАВ з невідомим радіонуклідним складом допускається проводити класифікацію на НАВ, САВ та ВАВ відповідно до значень потужності поглиненої в повітрі дози на відстані 0,1 м від поверхні РАВ.

Застосування прийнятих в Україні підходів до класифікації РАВ та відповідних критеріїв розподілення РАВ на категорії забезпечує поведження з РАВ на майданчиках АЕС, однак при цьому, по-перше, існують певні складнощі у забезпеченні узгодженості з подальшими стадіями поведження з РАВ, зокрема із захороненням, а по-друге, спеціалізовані підприємства не завжди мають змогу використати найбільш економічно виправданий спосіб захоронення залежно від довгострокових ризиків, пов'язаних з тим або іншим типом РАВ [7].

### Джерела утворення РАВ на АЕС

У процесі експлуатації АЕС генеруються всі типи та категорії РАВ.

Основними джерелами ТРВ є: матеріали, які утворюються під час ремонтних та регламентних робіт з обслуговування елементів технологічного обладнання; засоби індивідуального захисту персоналу; будівельне сміття в зоні суворого режиму; деталі обладнання та трубопроводів, відпрацьовані фільтри спецвентиляції тощо. Основні об'єми ТРВ (понад 80 %) утворюються під час технічного обслуговування та ремонту, а також реконструкції (модернізації) енергоблоків. Більшість у складі ТРВ — це ганчір'я, теплоізоляція, метал, фрагменти бетонних конструкцій (75—80 %) [2].

Основним джерелом РРВ є трапні води (радіоактивно забруднені стоки, які потрапляють через трапи до системи спецканалізації), а саме: неорганізовані протікання першого контуру; протікання басейну витримки; води дезактивації приміщень, обладнання тощо; скиди з душових, саншлюзів тощо; скиди з лабораторій, зокрема пробовідбір; регенераційні й обмивальні води блочної установки знесолювання та фільтрів установок спецводоочищення (СВО); експлуатаційні промивання обладнання реагентами, промивання випарних апаратів. РРВ складаються з кубового залишку (КЗ) — продукту переробки трапних вод на випарних установках, а також відпрацьованих фільтроматеріалів (іонообмінні смоли) і шламів. До РРВ також належить сольовий плав (СП) [6] — продукт переробки КЗ на установках глибокого упарювання (УГУ).

### Поведження з РАВ на АЕС України

#### Загальна інформація

На даний час на діючих АЕС України процедура поведження з ТРВ містить збирання у місцях утворення, сортування за категоріями активності та способом переробки (пресування, спалювання тощо), пакування в первинну тару (пластикові пакети, крафт-мішки тощо) та розміщення на тимчасове зберігання в спеціально обладнаних сховищах.

ТРВ сортується на три категорії (НАВ, САВ, ВАВ), в основному — за критерієм потужності дози без урахування критеріїв прийнятності РАВ до подальшого захоронення. Впровадження сортування РАВ за критерієм питомої активності з визначенням радіонуклідного складу перебуває на початковій стадії, що пояснюється як відсутністю в достатній кількості спектрометричного обладнання, так і наявністю певних методичних складностей (відсутні методики вимірювань). Після сортування ТРВ направляються на тимчасове зберігання у відповідні відсіки сховищ. ТРВ завантажуються у сховище як навалом, так і у контейнерах. Розміщення ТРВ у контейнери (як правило, 200-літрові сталеві бочки, оброблені антикорозійним покриттям) у подальшому спрощує процедуру їх вилучення.

На ДСП «Чорнобильська АЕС» сховище ТРВ закрито, тому експлуатаційні ТРВ (НАВ та САВ) направляються без переробки на захоронення у сховище «Буряківка».

Поведження з РРВ на діючих АЕС передбачає такі операції: збирання та переробку трапних вод; переробку КЗ на УГУ з отриманням СП (продукт, що містить кристалогідрати солі борної кислоти з концентрацією близько 660 г/л, який при охолодженні переходить у твердий стан); зберігання відпрацьованих фільтроматеріалів. Для забезпечення вільних об'ємів для зберігання КЗ останній піддається багаторазовому повторному випарюванню, що призводить до підвищення сольовістості в КЗ і, як наслідок, до відкладання твердих сольових осадів. У подальшому можуть виникнути проблеми щодо вилучення таких відкладень і, відповідно, поведження з ними.

Оскільки проектами діючих АЕС не передбачалося використання УГУ, на АЕС відсутні спеціальні сховища для зберігання СП. На сьогодні контейнери з СП розміщують у відсіки сховищ ТРВ, що призводить до зменшення вільних об'ємів сховищ, призначених для зберігання експлуатаційних ТРВ.

Відпрацьовані фільтри іонообмінних смол зберігаються у спеціальних баках під шаром води [8].

Щоб мінімізувати утворення РАВ та забезпечити необхідні об'єми сховищ ТРВ та РРВ, на АЕС встановлюються *контрольні рівні утворення радіоактивних відходів* (КР) для різних категорій РАВ у штатному режимі експлуатації та в разі проведення ремонтних робіт.

Аналіз річних звітів поведження з РАВ АЕС України показує відсутність перевищень об'ємів фактичного утворення ТРВ над відповідними КР; в цілому спостерігається тенденція до зменшення утворення всіх типів (категорій) ТРВ [2].

### Зберігання РАВ на АЕС України, динаміка утворення та накопичення

**Тимчасове зберігання ТРВ.** Для тимчасового зберігання напрацьованих РАВ проектами АЕС передбачається спорудження спеціальних сховищ. Конструкція сховищ має забезпечувати надійну ізоляцію відходів від потрапляння їх у довкілля та виробничі приміщення АЕС, а також захищати персонал від негативного впливу іонізуючого випромінювання.

Сховища ТРВ — це залізобетонні споруди, в яких об'єднано відсіки зберігання відходів певних категорій (НАВ, САВ, ВАВ). Для завантаження відходів над кожним відсіком розташовано люки. Залежно від призначення відсіку кожний люк має свою конфігурацію та закривається залізобетонними плитами. Операції, пов'язані

з відкриттям (закриттям) люків та завантаженням відходів, виконуються за допомогою крана.

До недавнього часу завантаження ТРВ у відсіки сховища відбувалося навалом, без сортування за видами їх подальшої переробки (пресування, спалювання тощо). Відходи з таких відсіків після їх вилучення вимагатимуть попереднього сортування перед переробкою.

На сьогодні АЕС України впроваджують методи тимчасового зберігання ТРВ у контейнерах з урахуванням методів подальшої переробки, що значно покращує технологічні умови поводження з ними перед переробкою (вилучення з відсіків, транспортування до установок з переробки) та мінімізує дозові навантаження на персонал.

**Тимчасове зберігання РРВ.** Сховища РРВ — це металеві або облицьовані металом залізобетонні конструкції, розміщені в захисних залізобетонних боксах. Конструкція сховища РРВ та набір функціонального обладнання мають відповідати вимогам [8], зокрема:

- приміщення, в яких розміщується обладнання СРВ, належать до категорії таких, що не обслуговуються;

- приміщення повинні мати надійну гідроізоляцію із забезпеченням видалення можливих протікань;

- баки обладнуються системами дубльованого контролю за рівнем відходів та пристроями для взяття проб з різної глибини;

- баки обладнуються системами перекачування відходів з одного в інший;

- приміщення обладнуються системою спецвентиляції;

- приміщення розташування баків обладнуються системою автоматичної сигналізації появи вологи;

- обов'язкова наявність резервного бака на випадок аварій чи аварійних ситуацій.

Бокси, в яких розміщуються баки, з метою гарантування нерозповсюдження РРВ у довкілля та у виробничі приміщення облицьовуються корозійностійкою сталлю на висоту можливого розливу рідини.

Як зазначалося, на АЕС (крім Южно-Української) експлуатуються установки глибокого упарювання КЗ, що забезпечує достатньо вільних об'ємів у баках тимчасового зберігання КЗ. Поряд з тим, відсутність на АЕС спеціальних сховищ для розміщення контейнерів з СП (проектами АЕС не передбачалося їх будівництво) стримує об'єм переробки КЗ. Так, саме через відсутність сховищ для зберігання СП зменшується переробка КЗ на Запорізькій АЕС. Вирішення даної проблеми передбачається будівництвом легкого сховища ангарного типу.

Ситуація із заповненням баків для зберігання відпрацьованих сорбентів (іонообмінні смоли), враховуючи відсутність технологій переробки останніх, значно складніша — ступінь заповнення баків становить 50...90 % [2]. Низкою документів передбачається розробка технології кондиціонування відпрацьованих фільтрувальних матеріалів та шламів, що зберігаються на АЕС, і впровадження пілотної установки [9, 10]. Перспективним у цьому плані може бути метод зневоднення відпрацьованих сорбентів шляхом центрифугування з подальшим їх зберіганням у контейнерах.

#### *Методи поводження з ТРВ та РРВ на АЕС України*

Методи, які застосовуються на АЕС України для попередньої обробки РАВ (деактивація, збирання та сортування РАВ), наведено вище. На цей час на АЕС відсутня комплексна переробка РАВ, в експлуатації перебувають

окремі установки поводження з РАВ (на Запорізькій АЕС — установка спалювання та пресування ТРВ, на Южно-Українській — установка пресування). Ці установки не можуть вирішити проблему в цілому, оскільки кінцевий продукт переробки РАВ потребує додаткового кондиціонування перед захороненням. До того ж, недостатньо враховується взаємозалежність між різними стадіями поводження з РАВ. Продукт, отриманий після такої переробки, є лише «напівфабрикатом», тобто він є непридатним безпосередньо для захоронення і вимагає додаткового кондиціонування.

На Рівненській та Хмельницькій АЕС взагалі відсутні установки переробки ТРВ, тому ТРВ після сортування розміщуються у відповідні відсіки сховища.

На даний час у тимчасових сховищах АЕС накопичено значні об'єми неперероблених ТРВ. Проблема вивільнення об'ємів тимчасових сховищ набуває особливої актуальності в світлі реалізації державної політики щодо необхідності продовження проектних термінів експлуатації блоків АЕС.

Часткове вирішення цієї проблеми можливе завдяки будівництву окремих установок, призначених для поводження з РАВ. Найбільш ефективним способом переробки ТРВ є спалювання та суперпресування окремих їх типів, що дозволяє значно (від 5 до 50 разів) зменшити початковий об'єм РАВ. Після такої переробки РАВ, по-перше, вивільнюються додаткові об'єми сховища, по-друге, поліпшуються умови безпечного зберігання, але в майбутньому ці відходи вимагатимуть кондиціонування перед остаточним їх захороненням.

Більш складна ситуація на АЕС склалася у сфері поводження з РРВ. Згідно з вимогами нормативних документів [1], РРВ перед захороненням мають концентруватися та переводитися в твердий стан. Найприйнятнішими з економічної та технологічної точок зору методами отвердження РРВ є цементация та бітумування, але відповідні установки для цього на АЕС відсутні.

Використання УГУ для переробки КЗ дає змогу вивільнити додаткові об'єми сховищ РРВ (первісний об'єм КЗ зменшується приблизно в 10 разів), але СП за чинним законодавством [1] не прийнятний для захоронення, оскільки він належить до рідких РАВ [6]. СП для захоронення в майбутньому доведеться переводити у твердий стан. На сьогодні технології та установки переведення СП у твердий стан на АЕС України відсутні, що може призвести в подальшому до певних технологічних проблем.

На Хмельницькій АЕС експлуатується установка центрифугування трапних вод (УЦ), яка призначена для вилучення твердих домішок, що покращує умови експлуатації випарних агрегатів установок спецводоочищення (СВО-3). Крім того, як показали результати дослідницької експлуатації УЦ, активність значною мірою концентрується у виділеному шламi, що сприяє зменшенню дозових навантажень на персонал.

Починаючи з 1999 року на Хмельницькій АЕС експлуатується також установка спалювання радіоактивно забрудненого масла. Потужність цієї установки достатня для його утилізації.

Із 2001 по 2002 роки на Рівненській АЕС експлуатувалася установка бітумування КЗ (бітуматор роторний плівковий РБ-800). За період експлуатації отримано 739 упаковок (200-літрові бочки) бітумного компаунду. На даний час установку бітумування законсервовано.

Для кардинального вирішення проблеми щодо поводження з РРВ на АЕС України необхідно впроваджувати такі технології переведення їх у твердий стан, які би

забезпечували отримання продукту, прийняттого для його остаточного захоронення без додаткової переробки. Найоптимальнішим методом вбачається включення РРВ у цементну матрицю. При цьому переробка (цементування) КЗ відповідного солевмісту має відбуватися безпосередньо, відкидаючи стадію утворення СП.

### Перспективи у сфері переробки РАВ

**Основні технології переробки РАВ.** Найпоширенішими методами переробки РАВ у країнах з розвинутою атомною енергетикою (з огляду на вимоги безпеки) є такі [11]:

1. Пресування ТРВ гідравлічними пресами високого тиску (зусилля 15–20 тис. т). Для такої переробки придатні металева стружка, термоізоляційні матеріали, негорюче обплетення електрокабелів тощо. Це дає змогу зменшити початковий об'єм, залежно від типу РАВ, до 5 разів. Спресовані ТРВ можуть у подальшому бути іммобілізовані та направлені на захоронення [12–14].

2. Спалювання горючих ТРВ та РРВ. Спалюванню підлягають відходи органічного походження та інші горючі РАВ. Метою спалювання є переведення РАВ у інертний стан (зольний залишок), що поліпшує умови безпеки тимчасового зберігання та подальшого захоронення, а також значно зменшує початковий об'єм РАВ (до 50 разів). Як правило, зольний залишок направляється на пресування та іммобілізацію. Частіше за все, з огляду на фінансові та технологічні чинники, як іммобілізуюча субстанція використовується цементний розчин [12, 14].

3. Переведення РРВ у твердий стан включенням їх в іммобілізуючу матрицю. Для отримання кінцевого продукту цементування із заданими радіологічними та фізико-хімічними характеристиками, РРВ (кубовий залишок, іонообмінні смоли, перлітно-намівні фільтри) змішують у певних пропорціях з цементним розчином та спеціальними добавками. Після затвердіння отриманий компаунд може направлятися на тимчасове зберігання чи захоронення [15].

Іншим досить розповсюдженим методом переведення КЗ у твердий стан є бітумування. У цьому разі КЗ випаровується до сухого залишку (порошкоподібна субстанція) при високій температурі на стінках бітуматора та змішується з розплавленою бітумною масою. Так само можуть іммобілізуватися інші типи РРВ (іонообмінні смоли та перлітно-намівні фільтри). Окремі характеристики бітумного компаунду, зокрема стійкість до вилугування радіонуклідів, вищі, ніж характеристики цементного компаунду, але цементування з погляду технологічності та економічних затрат більш прийнятне.

Радикальне вирішення проблем переповнення сховищ ТРВ можливе лише за впровадження на АЕС, ще до початку етапу життєвого циклу «зняття з експлуатації АЕС», комплексної переробки ТРВ, результатом чого було би не лише зменшення їх початкових об'ємів, а й отримання кінцевого продукту переробки з характеристиками, що уможливають його остаточне захоронення.

У проектах діючих АЕС України не закладено комплексного підходу до питань поводження з РАВ, вирішення їх відкладалося на невизначений час. Чинним законодавством [9, 10] передбачається ближчим часом на АЕС України будівництво та введення в експлуатацію комплексів з переробки твердих НАВ (КПТРВ).

**Комплекс з переробки ТРВ на Запорізькій АЕС.** Комплекс з переробки ТРВ на Запорізькій АЕС призначений

для переробки низько- та частково середньоактивних ТРВ (до 300 мкГр/год), що є виправданим, оскільки до цих категорій відходів належить найбільше накопичених ТРВ [2, 12]. Пуск в експлуатацію комплексу передбачається в 2016 році. На даний час завершується монтаж технологічного обладнання та проводиться його випробування.

КПТРВ складається з таких основних технологічних установок:

спалювання твердих та рідких горючих РАВ (відпрацьоване радіоактивно забруднене масло) продуктивністю 30 кг/год для ТРВ та 12 кг/год для РРВ. Після спалювання РАВ отримують зольний залишок;

суперкомпактора для пресування ТРВ, що придатні за своєю структурою та складом для пресування (зокрема зольний залишок). Час процесу пресування регулюється, максимальне зусилля пресування — 1500 т/с, продуктивність — 8 бочок/год, ефективність зменшення об'єму залежить від типу ТРВ. Після пресування бочок отримують брикети відповідної висоти;

фрагментації великогабаритних та довгомірних фрагментів ТРВ з можливістю направлення їх (за потреби) на дезактивацію;

вилучення ТРВ з відсіків сховищ.

До складу КПТРВ входить також система радіаційного та хімічного моніторингу викидів для контролю вмісту радіоактивності та хімічно шкідливих речовин у відхідних газах УС.

Як видно, продуктом переробки ТРВ на технологічних установках КПТРВ Запорізької АЕС є спресовані та розміщені у вторинні упаковки брикети. Доцільно у складі КПТРВ передбачити установку цементування.

Потрібно провести аналіз відповідності кінцевого продукту переробки критеріям приймання на захоронення у сховищі «Вектор».

**Комплекс з переробки ТРВ на Рівненській АЕС.** Комплекс з переробки ТРВ на Рівненській АЕС також призначений для переробки низько- та частково середньоактивних ТРВ (до 300 мкГр/год) [13]. Закінчення будівництва та пуск в експлуатацію КПТРВ заплановано на 2016 рік. На даний час проводяться монтаж технологічного обладнання та його випробування.

Проектом КПТРВ передбачається обладнання його такими технологічними установками:

вилучення ТРВ з відсіків сховищ;

сортування та фрагментації ТРВ;

суперпресування ТРВ (через відсутність у складі КПТРВ установок спалювання пресуватимуть також горючі РАВ органічного походження);

переробки відпрацьованого масла;

цементування спресованих брикетів;

дезактивації металу.

Для отримання кінцевого продукту переробки ТРВ до складу цього комплексу потрібно ввести установку спалювання, оскільки цементування органічних (горючих) ТРВ може створити певні складнощі їх захоронення.

**Комплекси з переробки ТРВ на Хмельницькій та Южно-Українській АЕС.** Створення на Хмельницькій АЕС [16] та Южно-Українській [17] АЕС комплексів з переробки ТРВ передбачено Законом України «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами» [10].

Станом на сьогодні проектна документація з будівництва КПТРВ на Хмельницькій АЕС пройшла комплексну державну експертизу з позитивним результатом. Готується проект постанови Кабінету Міністрів України

про будівництво КПТРВ (початок будівництва планується на 2016 рік).

До складу КПТРВ входять такі технологічні установки та системи: вилучення ТРВ з відсіків сховища, сортування і фрагментації, спалювання, пресування, цементування, вимірювання активності, дезактивації металу, контролю та обліку РАВ.

Реалізація проекту передбачається в два етапи: перший — введення в експлуатацію установок сортування та фрагментації, спалювання, пресування та вимірювання активності, другий — введення в експлуатацію установок вилучення, цементування та дезактивації металу.

Проектна документація з будівництва КПТРВ на *Южно-Української АЕС* пройшла комплексну державну експертизу та направлена на доопрацювання з урахуванням експертних зауважень. Рішення про початок робіт з реалізації проекту перенесено на 2017 рік.

Проект також планується реалізувати в два етапи: перший — введення в експлуатацію технологічних установок та систем сортування, пресування, сушіння, характеристики (система вимірювання бочок), другий — введення в експлуатацію установок спалювання, плавлення зольного залишку, системи емісійного контролю.

**Поводження з РАВ на Чорнобильській АЕС.** На Чорнобильській АЕС споруджені та знаходяться на етапі введення в експлуатацію завод з переробки рідких радіоактивних речовин (ЗПРРВ) та промисловий комплекс з переробки твердих радіоактивних відходів (ПКПТРВ).

*ЗПРРВ* призначається для переробки накопичених на майданчику Чорнобильської АЕС рідких радіоактивних речовин, а також відходів, які утворюватимуться на етапі зняття з експлуатації енергоблоків №№ 1, 2 та 3 [14].

На *ЗПРРВ* покладено виконання таких функцій:

вилучення накопичених відходів з баків зберігання за допомогою спеціальних систем вилучення; подавання вилучених відходів по трубопроводах на установки переробки на *ЗПРРВ*;

попередня обробка відходів з метою задоволення вимогам подальших етапів технологічного процесу;

зменшення об'ємів РРВ концентруванням (упарюванням) РРВ;

отримання кінцевого продукту переробки шляхом ствердіння попередньо оброблених відходів методом цементування в 200-літрових металевих бочках;

витримування бочок з кінцевим продуктом та розміщення їх у спеціальні транспортні пакувальні комплекти (ТУК); радіологічний моніторинг бочок та ТУКів;

контроль і повернення на установки Чорнобильської АЕС вторинних рідких відходів, очищених технологічних середовищ та продуктів систем забезпечення за умови відповідності їх встановленим нормативам.

На *ЗПРРВ* перероблятимуться три основні потоки відходів: випарні концентрати; пульпа перлітних наливних фільтрів; іонообмінні смоли.

Кінцевим продуктом переробки РРВ на *ЗПРРВ* є цементний компаунд, який складається з попередньо оброблених відходів (концентрований кубовий залишок, зневоднені смоли та перлітна пульпа) і сухих складників (цемент, вапно, пісок, добавки). Після змішування продукт заливається в 200-літрові бочки, які після витримування герметично закриваються.

Кінцевий продукт має відповідати певним вимогам за радіонуклідним складом, парціальною та повною активністю, хімічними та механічними властивостями.

*ПКПТРВ* призначений для переробки та кондиціонування низько- та середньоактивних короткоіснуючих ТРВ, накопичених у сховищі ТРВ за період експлуатації блоків Чорнобильської АЕС, і відходів, які утворюватимуться на етапі зняття з експлуатації блоків №№ 1, 2 та 3.

Проект комплексу передбачає спорудження трьох об'єктів (лотів):

лот-1: установка для вилучення твердих відходів (УВТВ) усіх категорій з відсіків сховища твердих радіоактивних відходів (СТРВ). Усі роботи з проникнення до відсіків, вилучення, фрагментації та завантаження ТРВ у контейнери виконуватимуться без прямої участі персоналу, за допомогою дистанційно керованого обладнання. Тверді відходи в закритому транспортному контейнері надходять на *ЗПТРВ*;

лот 2: завод із сортування ТРВ усіх категорій і переробки низько- та середньоактивних твердих відходів (*ЗПТРВ*). На *ЗПТРВ* встановлюватимуться системи та обладнання для сортування, фрагментації, пресування, упаковки відходів, установки спалювання, цементування, облаштування дільниці технічного обслуговування, дезактивації, санпропускники та інші допоміжні системи;

лот 3: спеціально обладнане приповерхнє сховище низько- та середньоактивних твердих відходів (СОПСТРВ).

Короткоіснуючі НАВ та САВ перероблятимуться й пакуватимуться для подальшого захоронення в СОПСТРВ, а довгоіснуючі НАВ та САВ і високоактивні відходи пакуватимуться та направлятимуться на проміжне зберігання в спеціально переобладнані відсіки сховища рідких і твердих РАВ (СРТВ) Чорнобильської АЕС.

Значна частина накопичених на Чорнобильській АЕС відходів мають аварійне походження, тобто містять ізотопи урану та трансуранових елементів (альфа-активні довгоіснуючі радіонукліди), допустимий вміст яких для захоронення у приповерхневих сховищах строго обмежується [6, 7]. Враховуючи це, особливу увагу в технологічному ланцюгу поводження з ТРВ відіграє процес сортування за їх радіаційними характеристиками, щоб отримати кінцевий продукт переробки, прийнятний для захоронення в СОПСТРВ. Проект передбачає радіаційний контроль відходів на сортувальному лотку та на подальших етапах поводження з ними.

## Висновок

Нинішній стан поводження з РАВ на АЕС України характеризується створенням сучасної інфраструктури та пошуком оптимальних шляхів зменшення обсягів РАВ, що утворюються та тимчасово зберігаються на майданчиках АЕС.

Відсутність сучасних високотехнологічних установок з комплексної переробки ТРВ та РРВ призводить до значного заповнення сховищ для їх зберігання та ризиків недостатності обсягів сховищ. Для вирішення наявних проблем потрібно прискорити будівництво на АЕС комплексів з переробки ТРВ та РРВ, що дало би змогу отримувати кінцевий продукт переробки, прийнятний для остаточного захоронення у сховищах приповерхневого (поверхневого) типу, та забезпечити переробку основної маси накопичених РАВ на майданчиках АЕС до завершення етапу їх експлуатації відповідно до основоположного принципу безпеки щодо неперекладання надмірного тягаря стосовно поводження з РАВ на майбутні покоління.

## Список використаної літератури

1. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995 №255/95-ВР // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 1995. — № 27.
2. Звіт з поводження з РАВ у ДП НАЕК «Енергоатом» за 2014 рік / Державне підприємство «Національна енергогенеруюча компанія «Енергоатом». — К., 2015. — 87 с.
3. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80>
4. Predisposal Management of Radioactive Waste: Safety Standards. — Vienna : IAEA, 2010. — 67 p. — (IAEA General Safety Requirements, № GSR, Part 5).
5. Disposal of Radioactive Waste: Safety Standards. — Vienna : IAEA, 2011. — 83 p. — (IAEA, Specific Safety Requirements, NSSR-5).
6. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ДСП 6.177–2005-09–02) // Офіційний вісник України. — 2005. — № 23. — С. 197.
7. Classification of Radioactive Waste Safety Standards. — Vienna : IAEA, 2009. — 68 p. — (General Safety Guide. IAEA, № GSG-1).
8. Санитарные правила при проектировании и эксплуатации атомных электростанций (СП АС-88). [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.gosthelp.ru/text/SPAS8893Sanitarnypravila.html>
9. Комплексна програма поводження з радіоактивними відходами у ДП «НАЕК «Енергоатом» на період 2012–2016 рр. : ПМ-Д.0.18.174–12 / Державне підприємство «Національна енергогенеруюча компанія «Енергоатом». — К., 2012. — 100 с.
10. Закон України «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з РАВ» від 17.09.2008 № 516-VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2009. — № 5. — Ст. 130.
11. The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste for protecting people and the environment: Safety Standards. — Vienna : IAEA, 2008. — 79 p. — (IAEA safety Guide, № GS-G-3/3).
12. ОП «Запорожская АЭС» : Создание комплекса по переработке РАО. Реконструкция : Проект : ЦУА-432–001-РАО.ПЗ / Харьковский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект». — 2012. — 654 с.
13. Ривненская АЭС : Комплекс по переработке радиоактивных отходов : Проект / Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект». — Т. 1: Общая пояснительная записка : 38–965.201.001-ПЗ01. — 2012. — 407 с. — (Инв. № подл. 299993).
14. Промышленный комплекс по переработке твердых радиоактивных отходов ЧАЭС (ПКОТРО ЧАЭС) : Промежуточный отчет по анализу безопасности установки извлечения твердых отходов / Институт поддержки эксплуатации АЭС; В. Зайтов. — Гл. 1 : Общие сведения. — 2002. — 447 с. — (Номер документа DNR-101638–01; Субконтракт № 88/200000–141/1).
15. Завод по переработке жидких радиоактивных отходов : Отчет по анализу безопасности. Окончательная редакция 3 / Чернобыльская АЭС; В. Шербин; В. Рудко; В. Батий и др. — 361 с.
16. Строительство комплекса по переработке радиоактивных отходов на Хмельницкой АЭС : Проект / Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект». — Т. 1: Пояснительная записка : 43–243.201.001-ПЗ. — 2015. — 271 с. — (Заказчик : ГП «НАЭК «Енергоатом», ОП «Хмельницька АЭС»; № документа 1084–14).
17. ОП «Южно-Украинская АЭС» : Строительство комплекса переработки твердых радиоактивных отходов (КПТРО). Первая очередь : Проект / Харьковский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект» : ЮАТ-432–02-РАО.ПЗ. — 2013. — 198 с. — (Инв. № подл. 23963).

## References

1. The Law of Ukraine “On Radioactive Waste Management” No. 255/95-VR dated 30 June 1995 [Zakon Ukrainy “Pro povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy” vid 30.06.1995 No. 255/95-VR], Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 1995, No. 27. (Ukr)

2. Report on Radioactive Waste Management in NAEK Energoatom of 2014 [Zvit z povodzhennia z RAV u DP NAEK “Energoatom” za 2014 rik], National Nuclear Energy Generating Company Energoatom, Kyiv, 2015, 87 p. (Ukr)

3. Law of Ukraine “On Nuclear Energy Use and Radiation Safety” [Zakon Ukrainy “Pro vykorystannia yadernoi enerhii ta radiatsiinu bezpeky”], available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (Ukr)

4. Predisposal Management of Radioactive Waste: Safety Standards, Vienna, IAEA, 2010, 67 p. (IAEA General Safety Requirements, No. GSR, Part 5).

5. Disposal of Radioactive Waste, Safety Standards, Vienna, IAEA, 2011, 83 p. (IAEA, Specific Safety Requirements, NSSR-5).

6. Basic Health and Radiation Safety Rules of Ukraine (DSP 6.177–2005-09–02) [Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (DSP 6.177–2005-09–02)], Official Bulletin of Ukraine, 2005, No. 23, P. 197. (Ukr)

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

8. Health and Safety Rules during Design and Operation of Nuclear Power Plants (SP AS-88) [Sanitarnye pravila pri proektirovanii i ekspluatatsii atomnykh elektrostantsii (SP AS-88)], available at: <http://www.gosthelp.ru/text/SPAS8893Sanitarnypravila.html> (Rus)

9. Comprehensive Program of Radioactive Waste Management in NAEK Energoatom for 2012–2016: PM-D.0.18.174–12 [Kompleksna prohramma povodzhennia z radioaktyvnymy vidkhodamy u DP NAEK “Energoatom” na period 2012–2016 rr.: PM-D.0.18.174–12], National Nuclear Energy Generating Company Energoatom, Kyiv, 2012, 100 p. (Ukr)

10. Law of Ukraine “On National Target Environmental Program for Radioactive Waste Management” No. 516-VI dated 17 September 2008 [Zakon Ukrainy “Pro Zahalnodержавnu tsiliovu ekolohichnu prohramu povodzhennia z RAV” vid 17.09.2008 № 516-VI], Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2009, No. 5, P. 130

11. The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste for Protecting People and the Environment, Safety Standards, Vienna, IAEA, 2008, 79 p. (IAEA Safety Guide, No. GS-G-3/3).

12. Zaporizhzhya NPP: Construction of Radioactive Waste Processing Facility. Reconstruction: Design: TsUA-432–001-RAO.PZ [OP “Zaporozhskaia AES”: Sozdanie kompleksa po pererabotke RAO. Rekonstruktsiia: Proekt: TsUA-432–001-RAO.PZ], Kharkiv Scientific Research and Design Institute “Energoprojekt”, 2012, 654 p. (Rus)

13. Rivne NPP: Radioactive Waste Processing Facility: Design [Rivnenskaia AES: Kompleks po pererabotke radioaktyvnykh otkhodov: Proekt], Kyiv Scientific Research and Design “Energoprojekt”, V. 1: General Explanatory Note: 38–965.201.001-PZ01, 2012, 407 p. (Inv. No. 299993). (Rus)

14. Zaitov, V. (2002), “Industrial Complex for Solid Radioactive Waste Management at ChNPP (ChNPP ICSRM): Intermediate Safety Analysis Report for Solid Waste Retrieval Facility and Solid Radioactive Waste Treatment Plant” [Promyshlennyi kompleks po pererabotke tviordkykh radioaktyvnykh otkhodov ChAES (PKOTRO ChAES): Promezhutochnyi otchiot po analizu bezopasnosti ustanovki izvlecheniia tviordkykh otkhodov i zavoda po pererabotke tviordkykh radioaktyvnykh otkhodov], NPP Operational Support Institute, Chapter 1, General Information, 447 p. (Document No. DNR-101638–01; Subcontract No. 88/200000–141/1). (Rus)

15. Shcherbin, V., Rudko, V., Batiy, V. “Liquid Radioactive Waste Treatment Plant. Safety Analysis Report. Final Revision 3” [Zavod po pererabotke zhydkykh radioaktyvnykh otkhodov: Otchiot po analizu bezopasnosti], Chornobyl NPP, 361 p. (Rus)

16. Construction of Radioactive Waste Treatment Plant at Khmelnytsky NPP: Design” [Stroitelstvo kompleksa po pererabotke radioaktyvnykh otkhodov na Khmelnitskoi AES: Proekt], Kyiv Scientific Research and Design “Energoprojekt”, V.1, Explanatory Note, 43–243.201.001-PZ, 2015, 271 p. (Client: NAEK Energoatom, Khmelnytsky NPP, Document No. 1084–14). (Rus)

17. South-Ukraine NPP. Construction of Solid Radioactive Waste Treatment Plant. First Stage: Design [OP “Yuzhno-Ukrainskaia AES: Stroitelstvo kompleksa pererabotki tviordkykh radioaktyvnykh otkhodov (KPTRO). Pervaia ochered: Proekt], Kharkiv Scientific Research and Design Institute “Energoprojekt”, YuAT-432–02-RAO.PZ, 2013, 198 p. (Inv. No. 23963). (Rus)

Отримано 26.01.2016