

**РОЗРОБКА ЗАХОДІВ, ЯКІ ПІДВИЩУЮТЬ ЯДЕРНУ, РАДІАЦІЙНУ ТА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» ТА НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА**

(Тема 2)

**О. О. Ключников, В. О. Краснов, Б. І. Огородников, О. С. Лагуненко**

На основі аналізу даних, що описують можливі сценарії протікання Чорнобильської аварії на стадії утворення лав, визначено два можливих варіанти розвитку подій, що призвели до формування ядерно-небезпечних зон у приміщенні 305/2.

Проведено систематизацію та аналіз результатів вимірювань щільності потоку нейтронів і температури за період 1990 - 2012 рр. з бази даних ІДС «Фініш».

Виконано комплекс досліджень ефективності очищення рідких радіоактивних відходів (РРВ) об'єкта «Укриття» від органічних домішок шляхом використання водного розчину титано-залізного коагулянта.

Проведено дослідження ефективності запропонованого коагуляційно-сорбційного способу очищення РРВ об'єкта «Укриття» від органічних (полімерних) домішок і радіонуклідів.

Протягом 2012 р. виконувався пробовідбір і досліджувалися характеристики аерозолів у приміщеннях об'єкта «Укриття», розташованих близько до скупчень лавоподібних паливовмісних матеріалів (ЛПВМ) на позначці + 6 м, а саме в приміщеннях 211/2, 208/10.

Поставлено довготривалий лабораторний експеримент із дослідження динаміки руйнування ЛПВМ, для якого відібрано зразок чорних ЛПВМ масою 159 мг.

У 2012 р. проводилися спостереження за концентраціями та дисперсним складом радіоактивних аерозолів, що поступають із центрального залу об'єкта «Укриття» в атмосферу через висотну вентиляційну трубу ВТ-2. Проби відбирали в приміщенні 2016/2 через люк у трубі системи «Байпас». Було відібрано 50 проб. Установлено, що продукти Чорнобильської аварії були переважно зосереджені на частинках з АМАД понад 2 мкм.

Виконано первинне дослідження зразків РРВ методами стерилізуючої фільтрації та гамма-спектрометрії. Установлено, що в клітинах мікроорганізмів на органічних частинках розміром більше 0,2 мкм утримується від 29 до 50 % радіоцезію, а у вигляді водорозчинних комплексних з'єднань з органічними речовинами – від 20 до 38 %.

Порівняльні дослідження вмісту кількості мікробних культур у відібраних зразках показали, що іонізуюче випромінювання сприяло функціонуванню мікробного співтовариства у водах об'єкта «Укриття». Отримано достовірні кореляції (0,7 – 0,9) по зв'язаності радіонуклідів приблизно для 40 % досліджених органічних сполук мікробного походження.

Відібрано проби різних ПВМ для визначення ізотопного складу трансуранових елементів. Визначено радіонуклідний та ізотопний склад ЛПВМ із приміщення 012/7.

Проведено експерименти по вилуговуванню радіонуклідів із ЛПВМ, відібраних із приміщення 012/7, водою, що дистилує, і гідрокарбонатним розчином імітатора блокової води. Вивчено динаміку вилуговування <sup>137</sup>Cs з ЛПВМ приміщення 012/7 дистильованою водою і розчином імітатора блокової води.

Для визначення динаміки зміни концентрації макрокомпонентів та об'ємної активності радіонуклідів щомісячно відбиралися проби води в 10 фіксованих точках відбору в приміщеннях 01/3, 001/3, 009/4, 014/2, 017/2 та басейну-барботера, а також періодично в приміщеннях 014/2 і 061/2.

Проведено гамма-, альфа-спектрометричні та бета-радиометричні вимірювання активності радіонуклідів.

**ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ ДІЇ ВНУТРІШНІХ І СТРУКТУРНИХ ЧИННИКІВ, ВІДПОВІДАЛЬНИХ ЗА ПРОЦЕСИ ДЕГРАДАЦІЇ ПВМ ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" В ПЕРІОД ЙОГО ПЕРЕВЕДЕННЯ В ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНУ СИСТЕМУ**

(Тема 3)

**С. В. Габелков**

У 2012 р. дослідження за темою включало в себе продовження робіт з ідентифікації змін пилотгенеруючої здатності ЛПВМ з плином часу в лабораторному експерименті. Також проведено аналіз результатів за темою, на основі якого було створено фізичні моделі спонтанного пилоутворення по-

верхню ПВМ та характеру об'ємного руйнування ПВМ. Як результат всебічного аналізу результатів за темою підготовлено рекомендації з необхідності продовження досліджень.

У результаті проведених досліджень встановлено, що здатність поверхні коричневої, чорної та поліхромної керамік ЛПВМ генерувати пил із характерним розміром часток у нанорозмірному діапазоні становить 2,2 Бк/(см<sup>2</sup>·доба), 1,2 Бк/(см<sup>2</sup>·доба) та 1,8 Бк/(см<sup>2</sup>·доба) відповідно, що у 250 - 400 разів менше, ніж у 1997 р. Визначено активність, яка знімається з ЛПВМ за рахунок стирання їхньої поверхні під час зняття пилу. Вона становить 1,1 Бк/(см<sup>2</sup>·мазок), 1,2 Бк/(см<sup>2</sup>·мазок) та 0,5 Бк/(см<sup>2</sup>·мазок) для коричневої, чорної та поліхромної керамік відповідно. Враховуючи що пилогенеруюча здатність визначалася на базі 55 - 62 діб, а активність знімали з поверхні за 7 мазків, то стало зрозуміло, що активність пилу, який згенерувався на поверхні, перевищує активність, одержану за рахунок стирання поверхні, усього у 8 - 16 разів. У найближчі роки тенденція зменшення пилогенерації ЛПВМ буде зберігатися. Генерація пилу з розміром часток у нанодіапазоні є явищем, що суттєво не впливає та не визначає екологічну небезпеку ЛПВМ.

Створено фізичну модель спонтанного пилоутворення поверхню ПВМ. Інтенсивність пилоутворення визначається співвідношенням величини електростатичного потенціалу та міцності матеріалу ЛПВМ поблизу поверхні. Величина електростатичного потенціалу залежить від току заряджених часток, що визначається β-випромінювання ЛПВМ, та від стікання зарядів з ЛПВМ, яке визначається характеристиками елементів структури (пор та тріщин) матеріалу ЛПВМ.

Створено фізичну модель об'ємного руйнування ПВМ. Деградація фізико-хімічних властивостей визначається деградацією їхньої структури. Матеріали ЛПВМ мають макродефекти з розмірами 65 - 200 мкм, скоріш за все тріщини, та мікродефекти з розмірами менше 20 мкм, скоріш за все мікротріщини та пори. Мікродефекти є результатом самоопромінення ЛПВМ. Макродефекти найімовірніше є результатом збільшення об'єму включень оксидів урану в ЛПВМ за рахунок їхнього окислення. Модель потребує подальшого розвитку та уточнення.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛОГЕНЕРУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПВМ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»** (Тема)

**О. Е. Меленевський, І. О. Ушаков**

Розроблено методику, що дало змогу вперше з часу аварії на ЧАЕС у реальних умовах об'єкта Укриття вимірювати генерацію альфа-активного пилу ЛПВМ приміщення 304/3. Принцип вимірювання ґрунтується на оцінці радіоактивності пилу, що за допомогою стисненого повітря періодично піднімався з виділеної ділянки ЛПВМ та в циклічному режимі осаджувався на набір послідовно аспірованих фільтрів. Для зменшення похибок вимірювань вживалися заходи контролю ступеня очищення виділеної ділянки ЛПВМ та ступеня запиленості повітряного простору в проміжках між вимірюваннями.

Досягнута точність вимірювань дала змогу встановити наступне:

1. Величина сумарної добової альфа-активності радіонуклідів пилу (ААРП), що накопичилася на виділеній ділянці поверхні ЛПВМ, проявила тенденцію росту з часом. За період 19 вересня 2011 р. - 16 жовтня 2012 р. вона збільшилась приблизно на 30 %. Більша швидкість генерації пилу відповідала часу від початку обводнення поверхні ЛПВМ конденсаційною вологою і до її висихання.

2. Сумарна ААРП, генерована виділеною ділянкою поверхні ЛПВМ за періоди 9 грудня 2010 р. - 19 вересня 2011 р. та 20 вересня 2011 р. - 16 жовтня 2012 р., була 252 та 462 Бк відповідно. У припущенні рівномірного руйнування зовнішнього шару ЛПВМ за цей час на пил повинен був перетворитися шар завтовшки 0,9 та 1,5 мкм відповідно.

3. Середня швидкість генерації ААРП за весь період досліджень (670 діб) становила близько  $1,1 \cdot 10^{-3}$  Бк/(см<sup>2</sup>·добу) (або 3,9 кБк/(м<sup>2</sup>·рік). Імовірною причиною генерації пилу є руйнування поверхні ЛТСМ за рахунок розширення вкраплень аварійного UO<sub>2</sub> при його доокисленні киснем повітря. Розрахована величина середньої швидкості генерації ААРП знаходиться між отриманими раніше в лабораторних умовах двома значеннями її, суттєво відрізняючись від обох.

4. У дослідженому діапазоні часу відносна ААРП дрібної фракції росла зі збільшенням часу накопичення пилу, а крупної - падала. У 188-добовому циклі накопичення пилу порівняно з 6-добовим ААРП змінилася у 2,4 та 1,7 рази відповідно. Імовірна причина цього - існування процесу пролонгованого розпаду великих за розміром часток пилу з відривом від їхньої поверхні часток відпаленого аварійного палива.

5. Радіоактивний пил приміщень 304/3 та 210/5, що відрізняються часом знаходження в них конденсаційної вологи, мав близькі значення середніх розмірів часток, але відрізнявся відносним внеском компоненти самих малих розмірів. Цим установлена суттєва залежність концентрації створених альфа-активних частинок пилу від інтенсивності протікання процесу висихання конденсаційної вологи на поверхні ЛПВМ (а не від часу знаходження її на поверхні).

Основний практичний висновок з роботи: звільнення від води капілярної структури ЛПВМ після їхнього висихання в умовах нового конфайнмента призведе до суттєвої інтенсифікації процесу доокислення  $UO_2$  в лаві і, як наслідок, до значного підвищення швидкості утворення альфа-активних частинок пилу (декілька тонн пилу за рік).

## **РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ КОЕФІЦІЄНТІВ РЕАКТИВНОСТІ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

(Тема 9)

**В. І. Борисенко, М. М. Сидорук**

Метою роботи є розробка нових методів визначення параметрів безпеки ядерного реактора - коефіцієнтів реактивності.

Актуальність роботи визначається необхідністю реалізації на АЕС вимог правил ядерної безпеки реакторів з водою під тиском, які діють з 2008 р. та містять нові положення по здійсненню постійного контролю за коефіцієнтами реактивності. Впровадження результатів запропонованої наукової роботи на АЕС є важливою складовою комплексної програми з підвищення безпеки реакторних установок. Під час виконання роботи будуть визначені методи, що дасть змогу визначати коефіцієнти реактивності постійно незалежно від рівня потужності реактора. Розроблені програмно-технічні засоби по визначенню коефіцієнтів реактивності будуть використані у лабораторному макеті системи.

У процесі виконання роботи передбачається:

проведення аналізу та вибір методів рішення задачі неперервного визначення коефіцієнтів реактивності реактора;

розробка вимог до апаратури контролю спектральних складових сигналів детекторів контролю ядерного реактора;

розробка моделі реактора, що враховує зміну потужності внутрішнього джерела нейтронів за рахунок накопичення трансплутонієвих елементів, а також фотонейтронів;

розробка методів і засобів визначення температурного коефіцієнта реактивності. Проведення досліджень;

розробка та обґрунтування пропозицій щодо включення до штатних систем контролю функції оперативного визначення коефіцієнтів реактивності реактора.

Рішення рівнянь кінетики реактора з урахуванням зворотних зв'язків по ефектах реактивності дає змогу знайти співвідношення для визначення температурного коефіцієнта реактивності за температурою теплоносія. Для цього необхідно визначити взаємоспектральну густину потужності сигналів датчиків температури теплоносія та нейтронного потоку, а також автоспектральну густину потужності сигналу нейтронного датчика. Відношення цих величин і є температурним коефіцієнтом реактивності. Проблема полягає у знаходженні в об'ємі реактора місць розташування детекторів, сигнали яких найбільшою мірою задовольняють прийнятій моделі кінетики реактора. Аналогічне рішення може бути знайдено і для визначення інших коефіцієнтів реактивності.

У результаті проведеного аналізу зроблено вибір методів рішення задачі неперервного визначення коефіцієнтів реактивності реактора. Розроблено вимоги до апаратури контролю спектральних складових сигналів детекторів контролю ядерного реактора.

## **СТАТИСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НЕЙТРОННИХ СИСТЕМ ТА ЇХНЄ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ АЕС**

(Тема 10)

**В. М. Павлович, В. В. Рязанов, С. А. Стороженко**

Розроблено та виготовлено вдосконалений апаратурно-програмний комплекс (АПК) з двома нейтронними вимірювальними каналами. Основною визначальною рисою нового вимірювача часу реєстрації подій, що входить в АПК, є фіксація часу реєстрації нейтрона з наносекундною точністю. Це дає змогу застосовувати вдосконалені методики нейтронних вимірювань та обробки даних, тобто перенести аналіз збігів і кореляцій на етап комп'ютерної поствимірювальної обробки результатів, що

суттєво спрощує та здешевлює апаратурно-технічну реалізацію експерименту. Методика проведення багатопараметричних нейтронних вимірювань забезпечує за один цикл вимірювань накопичення достатнього об'єму інформації, необхідного для подальшої автономної обробки за різними алгоритмами, що проводять відбір подій за необхідними часовими кореляціями або іншими ознаками.

Точність вимірювання значно збільшено за рахунок збільшення роздільної здатності (у 25 разів), максимального зниження впливу прорахунків та зниження впливу «мертвого» часу, обумовленого кінцевим часом формування імпульсів, а також застосуванням двоканальної реєстрації нейтронів. Це дозволяє фіксувати у цифровій формі вхідний імпульсний потік та визначати факт збігу подій та інші характеристики під час обробки результатів вимірювань, не використовуючи громіздкі апаратурні методики.

На основі математичного моделювання методом Монте-Карло процесу розмноження нейтронів визначено умови застосування отриманих теоретично виразів у двогруповому наближенні для вимірювання характеристик підкритичних ядерних систем, таких як коефіцієнт розмноження, глибина вигорання палива та ін.

На основі математичного моделювання методом Монте-Карло процесу розмноження нейтронів проаналізовано вплив зовнішніх завод на точність вимірювання підкритичних характеристик розмножуючих систем. Зокрема, проаналізовано вплив монохроматичної завади, білого шуму, деяких кольорових шумів.

На основі стохастичної теорії ядерних реакторів показано, що часові характеристики нестационарних процесів у ядерних реакторах, такі як період реактора, можуть бути пов'язані зі стохастичним часом життя нерівноважних систем.

Досліджено ефективність методики проведення чисельних розрахунків нестационарної хвилі ядерного горіння, а саме можливих спрощень розв'язку сингулярно збуреної системи диференціальних рівнянь, що описує таку хвилю. Отримано залежність розрахованих значень  $K_{\text{эф}}$  від від ступеня зміни величини малого параметра – часу життя швидких нейтронів.

Отримано приблизні оцінки величини зростання реактивності швидкого реактора після його зупинки, що обумовлено «нептунієвим ефектом». Показано, що наближені оцінки відрізняються від точних розв'язків системи диференціальних рівнянь не більше ніж на 5 %.

**РОЗРОБКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСАД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВИХ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ВИЛУЧЕННЯ ПВМ ІЗ ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ"  
З ВИКОРИСТАННЯМ МАЙБУТНЬОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА  
ТА СТВОРЕННЯ ВІДПОВІДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ПОВОДЖЕННЯ  
З НИМИ  
(Тема 11)**

**В. Г. Батій, О. В. Балан, О. С. Лагуненко**

Розроблено багаторівневу систему прийняття технологічних рішень, яка включає концептуальні рішення про можливість/доцільність вилучення ПВМ із різних зон, конкретні технологічні рішення про послідовність робіт, рекомендовані технології, вимоги з доопрацювання інфраструктури нового безпечного конфайнмента (НБК).

Показано необхідність невідкладного вилучення ПВМ із зони 1 (центральний зал (ЦЗ), приміщення вище відмітки +18.000, схема "Е", басейни витримки). Це обумовлено тим, що ТСМ зони 1 головним чином формують радіаційну обстановку в НБК та навколишньому середовищі; радіоактивний пил у цій зоні є основним джерелом забруднення конструкцій та обладнання НБК; найнебезпечніші аварії, що призводять до викидів у навколишнє середовище, пов'язані з наявністю паливного пилу в зоні 1; вилучення ПВМ із цієї зони в принципі неможливе без використання систем НБК і повинно бути завершено протягом життєвого циклу НБК; без вилучення ПВМ із зони 1 неможливо демонтувати будівельні конструкції блока, пошкоджені при аварії і неможливо буде зняти з експлуатації НБК.

Розроблено концептуальні технологічні рішення, які включають: розробку ТЕО щодо можливості/доцільності вилучення ПВМ із нижніх відміток протягом життєвого циклу НБК; розробку проекту вилучення ПВМ із зони 1; створення довготривалого сховища ПВМ на майданчику комплексу "Вектор"; створення інфраструктури вилучення ПВМ; вилучення ПВМ із зони 1; проведення консервації залишків об'єкта Укриття на термін до 300 років або за наявності фінансових можливостей і достатнього часу до зняття з експлуатації НБК.

Запропоновано оригінальне технічне рішення зі стабілізації схеми "Е" за допомогою засипки шахти реактора синтактиком (порожніми алюмосилікатними мікросферами розміром від 5 до 500 мкм). Таке рішення дасть змогу поширено фрагментувати схему "Е", видаляючи, при необхідності, шари синтактика.

Було розроблено загальний технологічний підхід до вилучення ПВМ, заснований на використанні кранів НБК (один із них оснащено мобільним інструментальним майданчиком - МІП) та дистанційно керованих механізмів (ДКМ). Враховуючи великий обсяг підарочного простору і наявність ефективної системи вентиляції для підвищення швидкості видалення ПВМ та супутніх РАО, запропоновано використовувати потужну техніку з дизельними двигунами. Будуть використовуватися два основних типи ДКМ: один для фрагментації, другий для навантаження радіоактивних відходів (РАВ) та ПВМ у контейнер. Попереднє сортування РАВ буде здійснюватися на місці. Великогабаритні будівельні конструкції та обладнання будуть цілком, за допомогою навісного обладнання мостових кранів, без фрагментації доставлятися в технологічний корпус. Сипучі матеріали, фрагменти бетону і конструкцій будуть завантажувати в спеціальні великогобаритні контейнери й доставляти в технологічний корпус. Фрагменти твелів, тепловиділяючих збірок (ТВЗ), технологічних каналів (ТК), ЛПВМ будуть розміщувати в спеціальній захисній контейнер для зменшення потужності експозиційної дози (ПЕД) у процесі переміщення в технологічний корпус. Довгомірні ТК, ТВЗ і твели по можливості будуть фрагментуватися безпосередньо над контейнером для зменшення просипання паливних таблеток.

Видалення ПВМ з недоступних для ДКМ зон (завали на барабанах-сепараторах, площадки обслуговування вузла розвіски та ін.) залежно від конкретних умов можуть проводитися двома способами: одним і двома мостовими кранами. Роботи з видалення ПВМ із зони 1 будуть проводитися в такій послідовності: підготовка майданчика для роботи роботів у ЦЗ; проведення робіт з очищення ЦЗ за допомогою ДКМ; видалення завалів і ПВМ із найбільш високих відміток, у першу чергу з майданчиків вузла розвіски свіжого палива; видалення інших інтенсивних джерел, що впливають на радіаційну обстановку в ЦЗ; проведення робіт із видалення схеми "Е"; проведення робіт із видалення ПВМ з південного басейну витримки (ПБВ) та інших скупчень; видалення скупчення ЛПВМ з верхніх відміток шахти реактора; уточнення радіаційної обстановки в зоні 1; пошук і видалення ПВМ, що залишилися; прийняття рішення про консервацію ПВМ на нижніх відмітках або їхнє видалення.

Запропоновано технологічні рішення з очищення ЦЗ та інших приміщень, видалення ПВМ з ПБВ, видалення схеми "Е", рішення по організації шляхів доступу та видалення ПВМ з нижніх відміток, кондиціонування, паспортизації та тимчасового зберігання видобутих ПВМ, а також щодо удосконалення інфраструктури НБК для вирішення завдань вилучення ПВМ.

## **ОЦІНКА НАСЛІДКІВ ТРАНСГРАНИЧНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ВИПАДКУ АВАРІЙ НА АЕС УКРАЇНИ ПРИ СКЛАДНИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА НЕСПРИЯТЛИВИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

(Тема 12)

**Є. К. Гаргер, М. М. Талерко, Б. С. Пристер**

Проведено добірку екстремальних і синоптичних ситуацій для територій АЕС України з використанням відкритих пакетів серверного програмного забезпечення та методологій OPeNDAP і DODS на основі архівних даних.

Проаналізовано характеристики моделей атмосферного перенесення радіонуклідів, які використовуються в найбільш поширених у світі системах підтримки прийняття рішень у випадку радіаційних аварій.

У системі РОДОС реалізовано набір моделей атмосферного перенесення для різних просторових масштабів. При її побудові для розрахунків трансграничного перенесення викидів у системі визначено модель MATCH (Multi-scale Atmospheric Transport and Chemistry Model). В основі моделі лежить поєднання лагранжевого та ейлерового підходів до розрахунку розповсюдження радіонуклідів, найбільш оптимальне для розв'язання цієї задачі. Проте, за оцінками групи розробників системи РОДОС (Robertson, 2010), параметризація турбулентного перемішування викиду по вертикалі, реалізована в моделі, є занадто спрощеною, і, як висновок, результати моделі є занадто грубими для їхнього використання в умовах аварійного реагування. Враховуючи це, в якості основної моделі в системі РОДОС (у тому числі для оцінок трансграничного перенесення) фактично використовується мезомасштабна модель RIMPUFF (Данія). У ній тривалий викид моделюється послідовністю окремих клу-

бів, активність у кожному з них визначається нормальним розподілом як в горизонтальному напрямку, так і по вертикалі.

У системі ARGOS для оцінок у ближній зоні джерела викиду та на мезомасштабних відстанях використовується модель RIMPUFF, а для трансграничного перенесення – моделі MATCH, DERMA (Данія), MLDP (Канада) та SNAP (Норвегія). Усі вказані моделі трансграничного перенесення використовують підхід, аналогічний до моделі RIMPUFF.

Проведено чисельні розрахунки щодо прогнозу метеорологічних елементів з оцінкою виправданості прогнозів для відібраних синоптичних ситуацій із завчасністю 24 год і підготовка матеріалів для дифузійної моделі атмосферного переносу LEDI.

Чисельні експерименти та попередня оцінка успішності прогнозів полів метеорологічних елементів показали, що використання даних чисельного прогнозу погоди, отриманих із застосуванням відкритої системи MM5, є успішним і може забезпечити необхідну оперативність в оцінці розповсюдження радіоактивних викидів у випадку аварії на АЕС.

За даними проектної документації та звітів ОВОС (оцінка впливу на навколишнє середовище) для АЕС України було сформовано банк сценаріїв радіоактивних викидів в атмосферу внаслідок радіаційних аварій, який містить дані про можливі радіаційні аварії для Хмельницької, Запорізької, Південноукраїнської, Рівненської АЕС.

Для кожної з аварій сформовано сценарій радіоактивного викиду в атмосферу, який складається з даних про:

- а) нуклідний склад викиду (йод, РБГ, цезій, стронцій, рутеній, лантан, рубідій);
- б) фазовий склад викидів радіоїоду (аерозолі, метилйодид  $\text{CH}_3\text{I}$ , молекулярний  $\text{I}_2$ );
- в) активність викиду по кожному з нуклідів;
- г) тривалість викиду;
- д) ефективна висота викиду.

Згідно із зібраними даними, оцінки активності викиду навіть для запроектованих аварій є на кілька порядків меншими, ніж для аварій на ЧАЕС та АЕС Фукусіма. Тому банк сценаріїв радіоактивних викидів в атмосферу внаслідок радіаційних аварій було доповнено даними про викиди при реальних радіаційних аваріях на АЕС „Трімайл-Айленд”, ЧАЕС та АЕС Фукусіма.

## **НАУКОВІ ЗАСАДИ, ТЕХНОЛОГІЇ Й МАТЕРІАЛИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ, ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ, ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРО- І ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ БЛОКІВ АЕС**

(Тема 13)

**Г. М. Федоренко, О. Г. Кенсицький, Н. М. Фіалко**

Розроблено комплекс математичних моделей та проведено комплекс багатофакторних числових експериментів щодо визначення навантажувальної здатності та шляхів її підвищення для потужного турбогенератора при заміні холодоагенту в корпусі (водень/вода, повітря/вода та гелій/вода). На математичній моделі проведено комплекс досліджень по оцінці термомеханічних напружень, що виникають у пазах ротора турбогенератора при виникненні теплового небалансу внаслідок порушення охолодження стрижнів обмотки збудження.

Спільно із Інститутом надтвердих матеріалів НАН України та ДП «Електроважмаш» на математичних та фізичних моделях проведено комплекс досліджень ефективності застосування наномодифікуючих домішок для підвищення теплопровідності головної ізоляції потужного електротехнічного обладнання енергоблоків АЕС.

Розроблено алгоритм, створено математичну модель та проведено комплекс досліджень теплових процесів у статорі й роторі гідрогенератора-двигуна Дністровської ГАЕС при виникненні й розвитку дефектів різної природи під час експлуатації. Проведено дослідження адекватності розроблених моделей реальному перебігу фізичних процесів на діючому обладнанні. Розроблено методику, алгоритми і програмний комплекс визначення технічного стану основних елементів статора й ротора машини під час експлуатації, що базується на цілеспрямованій обробці поточної інформації, яка надходить від штатних засобів контролю. Спільно із фахівцями Інституту електродинаміки НАН України та Дністровської ГАЕС проведено експрес-аналіз стану «проблемних» зон гідрогенератора-двигуна енергоблока № 1.

Зібрано та проаналізовано статистичні й конструкторсько-технологічні характеристики головних трансформаторів блоків АЕС. Розроблено алгоритм оцінки стану блокового трансформатора.

Визначено причини відмов блокових трансформаторів, що призводять до вимушеного відключення блоків. Виявлено чутливі зони та вірогідні чинники деградації електромагнітної, електроізоляційної та механічної систем, а також зон екстремального тепловиділення.

Розроблено математичне забезпечення для створеного у відділенні інтелектуального комп'ютерного діагностичного комплексу автоматичного розпізнавання режимів генерації парової фази на поверхні тепловіддачі ТВЕЛ – найважливішого параметра оцінки поточного технічного стану активних зон реакторів ВВЕР. Зокрема, розроблено алгоритми розпізнавання режимів знімання тепла на поверхні ТВЕЛ за параметрами флуктуацій нейтронного потоку в тепловиділяючій збірці реактора ВВЕР. Створено відповідне програмне забезпечення для автоматичної ідентифікації режимів знімання тепла за спектральними параметрами діагностичних сигналів нейтронного шуму.

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТА АВАРІЙНОГО РЕАГУВАННЯ У РАЙОНАХ РОЗТАШУВАННЯ АЕС УКРАЇНИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

(Тема 14)

**Б. С. Пристер, Э. К. Гаргер, В. Д. Виноградська**

Визначено структуру, організацію, методи та засоби комплексного радіоекологічного районування. Сформульовано мету, основні теоретичні положення та принципи радіоекологічного районування. Запропоновано схему радіоекологічного районування території.

Метою радіоекологічного районування є науково обґрунтоване зведення різноманіття екологічних умов до невеликої кількості їх з метою оптимізації просторово-часового прогнозування та оцінки радіаційної ситуації та економічно виправданого планування і проведення захисних заходів. Тобто це поділ території України з урахуванням природних і демографічних особливостей, що впливають на формування дози опромінення населення, на різних просторових масштабах. Радіоекологічне районування рекомендується для сфери управління та регулювання безпекою функціонування АЕС.

Об'єктами дослідження при районуванні був комплекс компонентів навколишнього середовища та демографічні характеристики для території України та окремих її частин в зонах розташування атомних електростанцій. Предметом дослідження був вплив екологічних умов на формування радіаційного забруднення, дози опромінення та перерозподіл радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища.

У ході проведення радіоекологічного районування території виконувалися наступні етапи: вибір класифікаційних ознак, що впливають на формування радіаційної ситуації на забруднених територіях;

аналіз і систематизація інформації про вибрані ознаки території районування; оцінка міри нерозрізненості класифікаційних ознак, тобто визначення кроку їхнього поділу структури території за прийнятим комплексом ознак – типи ландшафту, природокористування та рослинності, ґрунтів;

побудова заключної схеми районування території.

Для отримання параметрів використовувалися такі методи: експериментальні, чисельного моделювання, статистичні, аналізу даних дистанційного зондування та ГІС-технологій.

В основу виділення таксономічних одиниць районування покладено показники відносної однорідності умов протікання процесів перерозподілу радіоактивних речовин в їхніх межах.

Класифікаційними ознаками для радіоекологічного районування вибрано:

демографічні характеристики, басейн водотоку; тип елементарного ландшафту, ґрунтовий покрив; природокористування; радіоекологічні ознаки.

Після визначення класифікаційних ознак побудовано заключну схему радіоекологічного районування. Так, на загальнодержавному рівні визначено > 100 топологічних одиниць районування, на регіональному – > 500, локальному - > 1 тис.

Сформульовано підходи та вимоги до створення інформаційного простору для радіоекологічного моніторингу в зонах підвищеного ризику впливу АЕС та аварійного реагування. Визначено джерела вхідної інформації, необхідної для розробки цифрових карт та розроблено технологію обробки та аналізу просторової інформації для проведення радіоекологічного районування території.

Визначено структуру, сукупність об'єктів та їхні атрибути, а також інформаційні потоки, що забезпечують цільові задачі моніторингу екосистем. Розроблено структуру банку даних просторово-розподіленої інформації про природні та екологічні особливості території. Запропоновано алгоритм

створення картографічних документів із використанням даних дистанційного зондування і даних чисельного прогнозу забруднення території, які можуть бути використані для підтримки прийняття рішень у разі аварійних випадків на АЕС.

Розроблено вимоги до масштабу картографічного матеріалу та роздільної здатності даних дистанційного зондування Землі, що є вхідною інформацією для радіоекологічного районування території.

Для визначення масштабу комунальної аварії на державному рівні за критерієм – площа впливу, кількість постраждалого населення та оглядових оцінок ризиків формування небезпечних рівнів забруднення – прийнятним є масштаб карт вище М1 : 1000 000; для оцінок впливу в зоні спостережень АЕС та обґрунтування зон невідкладних заходів, а також планування й розробки регіональних мереж моніторингу радіаційного забруднення для оцінок доз внутрішнього опромінення – М1 : 100 000. Для розробки проектів щодо проведення захисних заходів на локальному рівні необхідно використовувати масштаб М1 : 25 000 – М1 : 10 000.

Для регіонального рівня проведено радіоекологічне районування території, що лежить в межах 10-кілометрової зони Рівненської АЕС. Типізовано агроєкосистеми, рівень забруднення яких може формувати внутрішню дозу опромінення місцевого населення.

### **НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБІТ НА ЕТАПАХ ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС**

(Тема 15)

**А. В. Носовський, В. І. Богорад**

У рамках наукового напрямку науково-методичного забезпечення робіт на етапах зняття з експлуатації енергоблоків АЕС розроблено загальні підходи та вимоги щодо вибору технологій демонтажу обладнання при знятті з експлуатації АЕС на базі системного підходу.

Проведений аналіз міжнародної практики та сучасних напрацювань у сфері вибору безпечних та ефективних технологій демонтажу обладнання АЕС, що знімаються з експлуатації, аналіз розробок щодо технологій та практики демонтажу устаткування при знятті з експлуатації блоків АЕС показує, що системний підхід є найбільш прийнятним методом проектування демонтажної технології та є актуальна необхідність у створенні для цього проблемно орієнтованої системи. У такій системі технологічні рішення приймають у середовищі дії чинників впливу. У роботі визначено основні чинники, що впливають на вибір технології демонтажу, серед яких можна виділити:

узгодженість з обраною стратегією зняття з експлуатації енергоблока;

матеріали та інженерний стан устаткування та будівельних конструкцій, що планується демонтувати;

радіаційний стан енергоблока та обладнання з урахуванням аварійних ситуацій, що сталися за історією експлуатації;

можливість створення типових технологій для узагальнених груп обладнання;

умови розміщення устаткування в приміщеннях та спорудах;

забезпечення радіаційної безпеки персоналу, населення та оточуючого середовища відповідно

до обраних критеріїв;

утворення РАВ у проекті зняття з експлуатації (місця зберігання, технології переробки тощо).

На основі проведеного аналізу визначено загальні етапи розробки технологічних рішень та вибору технологій демонтажу обладнання АЕС. Розроблено рекомендації щодо вибору технологій демонтажу обладнання при знятті з експлуатації АЕС, спираючись на запропоновану систему чинників впливу.

### **РОЗРОБКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОБҐРУНТУВАНЬ І МЕТОДИЧНОЇ БАЗИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ВИПРОБУВАНЬ СИСТЕМ, ВАЖЛИВИХ ДЛЯ БЕЗПЕКИ АЕС**

(Тема 16)

**В. І. Скалзубов, Ю. О. Комаров**

У рамках ризик-орієнтовного підходу розроблено розрахункові методи оптимізації планування ремонтів і випробувань систем, важливих для безпеки нормальної експлуатації (СВБ НЕ) у ремонтний період функціонування енергоблока АЕС, у тому числі: встановлено критерії оптимізації і ефективності; узагальнено ймовірнісні математичні моделі; створено розрахункові програми методів оптимізації.



Основою оптимізації планування ремонтів СВБ НЕ у ремонтний період енергоблока є визначення оптимальної або припустимої періодичності випробувань, що відповідає мінімуму коефіцієнта неготовності виконання проектних функцій безпеки або незниження проектного рівня надійності.

Проведено збір, обробку й систематизацію експлуатаційних даних з надійності на базі енергоблоків із ВВЕР-1000 (В-320) за період близько 50 реакторів-років. На основі проведеної розрахункової оптимізації планування випробувань встановлено:

для СВБ НЕ, які відповідно до вимог проектних технологічних регламентів безпечної експлуатації повинні мати не менш двох працездатних каналів у режимі оперативного чергування в процесі планово-попереджувального ремонту (ППР), обґрунтовано застосування непроектною стратегії виведення в плановий ремонт тільки одного каналу СВБ НЕ при обов'язкових успішних випробуваннях каналів, що не ремонтуються, і збереженні проектною періодичності випробувань при роботі реактора на потужності. При цьому для каналів СВБ НЕ, що не ремонтуються у повному обсязі у процесі ППР, повинні бути збережені необхідні, відповідно до досвіду експлуатації, профілактичні та ремонтно-відбудовчі роботи.

На підставі проведеного аналізу розроблені такі документи:

СТП «Методика обоснования изменения периодичности и объемов испытаний теплотехнического оборудования систем, важных для безопасности, испытываемых только в ППР энергоблока»;

Концептуальне технічне рішення щодо критеріїв і процедури зміни стратегій випробувань/ремонтів СВБ, випробовуваних у процесі ППР, в умовах збільшення паливної кампанії;

Технічне рішення із зміни стратегій випробувань/ремонтів запобіжних клапанів ГЕ САОЗ енергоблоків № 1 - 6 ЗАЕС, № 1, 2 ХАЕС, № 3 ПУАЕС, в умовах збільшення паливної кампанії.

## ВИДАВНИЧА ДІЯЛЬНІСТЬ

У 2012 р. фахівцями ІПБ АЕС НАН України підготовлено такі видання:

1. *В. П. Бабак, А. А. Ключников. Теоретические основы защиты информации:* учебник. - Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. - **776** с. (**63** ум. друк. арк.).

2. *Л. А. Булавин. Нейтронна діагностика рідкого стану речовини:* монографія. - Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. - **532** с. (**43** ум. друк. арк.).

3. *А. А. Ключников, И. Г. Шараевский, Н. М. Фиалко, Л. Б. Зимин, Е. И. Шараевская. Теплофизика аварий ядерных реакторов:* монографія. - Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. - **528** с. (**42,9** ум. друк. арк.).

4. *В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, В. Н. Ващенко, С. С. Яровой. Анализ причин и последствий аварии на АЭС Fukushima как фактор предотвращения тяжелых аварий в корпусных реакторах:* монографія. - Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. - **280** с. (**22,8** ум. друк. арк.).

5. **Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля:** збірник, вип. 18. - Чернобыль, 2012. - **130** с. (**15,1** ум. друк. арк.)

6. **Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля:** збірник, вип. 19. - Чернобыль, 2012. - **122** с. (**14,1** ум. друк. арк.)

7. *Г. Ф. Казимирова, В. Ю. Быковский, Е. Н. Джужа, А. В. Лунина. Чернобыль - Фукусима. Контроль продуктов питания - лучшая стратегия радиационной защиты населения.* - Чернобыль, 2012. - **15** с. (**1** ум. друк. арк.). - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 12-1).

8. *Е. Д. Высокский, А. И. Довыдьков, С. А. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин. Анализ путей доступа к скоплениям топливосодержащих материалов в помещении 305/2 объекта «Укрытие». Часть 3. Исследовательские скважины на высотных отметках 10 - 11 м и в ПРК.* - Чернобыль, 2012. - **30** с. (**2** ум. друк. арк.). - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 12-2).

9. *Е. Д. Высокский, А. И. Довыдьков, С. А. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин. Анализ путей доступа к скоплениям топливосодержащих материалов в помещении 305/2 объекта «Укрытие». Часть 4. Исследовательские скважины на высотных отметках 12 - 15 м.* - Чернобыль, 2012. - **36** с. (**2,4** ум. друк. арк.). - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 12-3).

10. *В. П. Бадковский, А. А. Ключников, А. Э. Меленевский, Ю. В. Морозов, И. А. Ушаков, В. Н. Щербин. Генерация топливосодержащей пыли лавообразными материалами объекта "Укрытие".* - Чернобыль, 2012. - **12** с. (**0,75** ум. друк. арк.). - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 12-4).