

Д. І. Хвалін, І. В. Куцина, В. С. Гавриленко

¹ Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна

Результати діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України у 2019 році

Ключові слова:

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій, наукова діяльність, науково-технічний потенціал, міжнародне співробітництво.

Наведено основні результати наукової та науково-організаційної діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України в 2019 р. Показано, що співробітниками Інституту були отримані важливі результати як у дослідженнях стану ядерної та радіаційної безпеки об'єкта «Укриття», так і в роботах, спрямованих на підвищення надійності, ефективності та безпеки експлуатації діючих українських атомних електростанцій. Представлено пріоритетні завдання науково-дослідної діяльності на майбутнє.

Вступ

Історія створення Інституту проблем безпеки атомних електростанцій (ІПБ АЕС) бере свій початок від аварії 26 квітня 1986 р. на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС [1]. Оскільки надзвичайна складність науково-технічних проблем, пов'язаних із ліквідацією як безпосередньо аварії, так і її наслідків, обумовила залучення для їх вирішення найкращих наукових та інженерних сил, при Державній комісії в Чорнобилі була створена оперативна група Інституту атомної енергії ім. І. В. Курчатова (ІАЕ), яка здійснювала функції наукового керівництва цих робіт. З метою забезпечення наукового та проектного супроводу будівництва об'єкта «Укриття» (ОУ), а також проведення та координації науково-дослідницьких робіт, які виконувались підприємствами Міністерства середнього машинобудування СРСР на Чорнобильській АЕС, у 1987 р. було створено Комплексну експедицію ІАЕ ім. І. В. Курчатова. Після отримання Україною незалежності відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 4 лютого 1992 р. № 55 був створений Міжгалузевий науково-технічний центр (МНТЦ) «Укриття» Національної академії наук (НАН) України, якому було передано всю матеріальну, лабораторну

та наукову базу Комплексної експедиції. Спільним рішенням Академії наук України та концерну «Украто-енергопром» від 22 липня 1992 р. на МНТЦ «Укриття» було покладено функції наукового керівника та генерального проєктувальника робіт з перетворення ОУ на екологічно безпечну систему, а також функції наукового керівника робіт щодо зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС.

Постановою Президії НАН України від 18 лютого 2004 р. № 44 з метою подальшого розвитку фундаментальних і прикладних досліджень у галузі безпеки атомних станцій, їхньої належної організації та координації МНТЦ «Укриття» було реорганізовано в ІПБ АЕС.

Основними напрямками діяльності Інституту є: перетворення ОУ на екологічно безпечну систему; безпека експлуатації ядерних установок; зняття з експлуатації ядерних установок; поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) і радіоактивними відходами (РАВ).

У 2019 р. згідно з тематичним планом наукові співробітники ІПБ АЕС виконували роботи за 7 бюджетними темами відомчої тематики, 3 програмно-цільової та конкурсної тематики, а також 5 госпдоговірної тематики. У цій статті наведено результати, які отримані під час виконання робіт з кожного напрямку діяльності Інституту.

© Д. І. Хвалін, І. В. Куцина, В. С. Гавриленко, 2020

Перетворення ОУ на екологічно безпечну систему

10 липня 2019 р. було підписано акт здачі-приймання нового безпечного конфайнмента (НБК) [2]. Створення НБК продемонструвало успішне виконання масштабного проекту — завершення спорудження унікальної технологічної конструкції, яка не має аналогів у світі (рис. 1). Ця споруда надійно захищає людство та довкілля від впливу зруйнованого четвертого енергоблока Чорнобильської АЕС. Для реалізації проекту було об'єднано фінансові зусилля 28 країн світу, мобілізовано найкращі інженерні та технічні рішення близько 500 компаній та організацій з України й інших держав. Науковцями ІПБ АЕС було виконано значний обсяг передпроектних і проектних досліджень, які дозволили виконати дуже складний об'єм будівельних робіт зі створення НБК.

Крім цього, у 2019 р. було виконано науково-дослідницькі роботи, результати яких дозволять планувати та виконувати майбутні роботи щодо перетворення ОУ на екологічно безпечну систему, а саме:

1) з використанням отриманих за допомогою польових досліджень радіоекологічних даних проведено розрахунки та отримано прогнози щодо впливу на довкілля потенційних радіаційно небезпечних об'єктів, які знаходяться на території Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ);

2) науково обґрунтовано вибір майданчиків і проведено підготовку до спостереження та вимірювання під час польових експериментів з атмосферного розповсюдження радіоактивних аерозолів і їхнього осадження на підстильну поверхню, у тому числі осадження на рослинність із використанням створеного інформаційного забезпечення згідно з даними моніторингу, накопиченими після аварії;



Рис. 1. Загальний вигляд комплексу НБК-ОУ

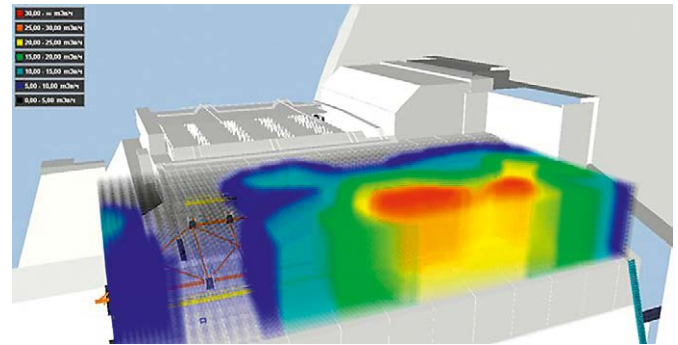


Рис. 2. Загальний вигляд тривимірної математичної моделі карти радіаційних умов

3) за допомогою удосконаленої тривимірної математичної моделі чисельним методом проведено дослідження параметрів радіаційного стану в зонах виконання будівельно-монтажних робіт і на шляхах доступу до них (рис. 2);

4) на основі математичного моделювання науково обґрунтовано принципи технологічні рішення щодо безпечного виконання робіт в умовах ОУ та на промисловому майданчику Чорнобильської АЕС, а також виконано оцінку радіаційної безпеки під час будівництва та подальшої експлуатації НБК як у нормальних умовах, так і у випадку потенційних аварій.

Розроблено нові ефективні методи дозиметричного та радіоекологічного обстеження потенційних радіаційно небезпечних об'єктів, за допомогою яких отримано дані радіоактивного забруднення пункту санітарної обробки «Рудня-Вересня». Результати роботи будуть використані у подальшій роботі Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, що сприятиме ефективному плануванню та виконанню досліджень й охороні природних комплексів ЧЗВ, а також послугує більшому розумінню стану екосистем, які зазнали забруднення внаслідок радіації.

Удосконалено тривимірну математичну модель радіаційних умов у зонах виконання робіт з демонтажу металеві ферми підсилення ОУ, за допомогою якої розроблено та науково обґрунтовано найбільш небезпечні сценарії роботи персоналу на покрівлі ОУ, впроваджено на Державному спеціалізованому підприємстві (ДСП) «Чорнобильська АЕС», що дозволило оцінити індивідуальні дозові навантаження на працівників, які будуть залучені до робіт у радіаційно небезпечних умовах, і сприяло оптимізації рішення щодо використання захисного боксу для транспортування персоналу до місця виконання робіт. Зокрема, отримані результати будуть використовуватися як навчальні матеріали для підготовки

персоналу підрядника в навчально-тренувальному центрі Чорнобильської АЕС.

З метою виконання майбутніх робіт з перетворення ОУ на екологічно безпечну систему проведено аналіз основних процесів, у результаті яких на активній стадії аварії могли утворитися ядерно-небезпечні скупчення та потоки лавоподібних паливовмісних матеріалів, а також удосконалено модель еволюції структури та фізико-механічних властивостей цих матеріалів. Досліджено й формалізовано потенційну ядерну та радіаційну небезпеку в результаті виникнення самопідтримуючої ланцюгової реакції, що може виникнути всередині комплексу НБК-ОУ. Результати проведених досліджень використовуються під час експлуатації НБК з метою підвищення рівня ядерної, радіаційної та екологічної безпеки комплексу та перетворення ОУ на екологічно безпечну систему.

За грантом Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) в роботі «Методи аналізу гідрогеологічних параметрів водоносних горизонтів поблизу АЕС із застосуванням індикаторів» (Methods for Analyzing the Hydrogeological Characteristics of the Aquifers in the Vicinity of Nuclear Power Plants Using Indicators; Research Contract no. 22546) проведено аналіз радіоактивного забруднення підземних вод території розташування комплексу НБК-ОУ, а також виконується спостереження за швидкістю і траєкторією поширення в підземних водах індикаторів: бром-іону та тритію на основі відбору й аналізу проб зі спостережних свердловин. Використовуючи попередні результати спостереження, продемонстровано застосування методу визначення параметрів водоносних горизонтів шляхом верифікації імітаційного математичного моделювання та фактичних даних поширення індикаторів чи ізотопів з підземними водами.

За проектом НАТО виконувалась робота «Удосконалена модель Чорнобильського конфайнмента — сприяння Україні в галузі поводження з пилопідйомом і витоком радіоактивного пилу, а також захисту персоналу» спільно з Інститутом теплофізики НАН України та закордонним партнером — Товариство з безпеки установок та реакторів (Gesellschaft für Anlagen- und Reactorsicherheit, GRS, Німеччина). Під час виконання роботи розроблено тривимірну нестационарну комп'ютерну модель теплогазодинамічного стану, вологості та процесів поширення радіоактивних аерозолів у комплексі НБК-ОУ у взаємодії з навколишнім середовищем, а також процесів теплообміну з фундаментом та ґрунтом землі (рис. 3). За допомогою математичного моделювання визначено

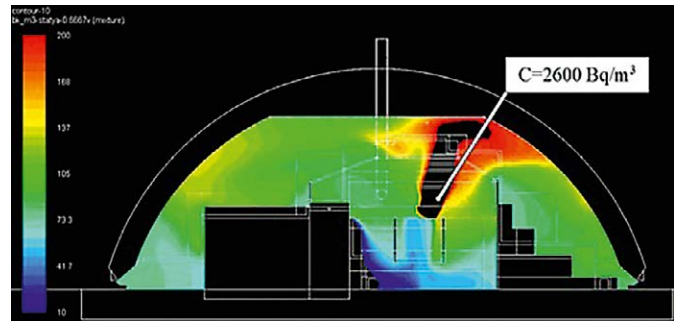


Рис. 3. Розподіл концентрації радіоактивних аерозолів і швидкості повітря в об'ємі НБК

температурно-вологісний режим і поширення радіоактивних аерозолів у просторі під НБК на етапах введення його в експлуатацію та експлуатації.

Науковці ІПБ АЕС беруть участь у спільному україно-японському проекті програми «Наукове технічне партнерство в інтересах сталого розвитку» (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development, SATREPS). Метою роботи є посилення технічного рівня радіаційного контролю й законодавчої бази в Україні для екологічного відновлення радіоактивно забруднених територій, а також забезпечення моніторингу та моделювання для підтримки здійснення нового районування ЧЗВ. У 2019 р. було удосконалено модельний комплекс з метою отримання оцінок наслідків підйому та атмосферного розповсюдження радіонуклідів унаслідок лісових пожеж у зоні відчуження, використовуючи дані лісових пожеж 2015 та 2018 рр. проведено валідацію комплексу (спільно з моделями системи аварійного реагування RODOS, що використовується в Україні, та моделлю Університету Фукусіма), а також отримано та підготовлено до встановлення обладнання для вимірювання радіоактивного забруднення повітря у ЧЗВ та Києві, яке передане японською стороною в рамках проекту.

Безпека експлуатації ядерних установок

Розроблено методи та засоби діагностики технічного стану потужних синхронних генераторів АЕС для підвищення їхньої експлуатаційної надійності та навантажувальної здатності шляхом створення комплексу математичних моделей і дослідження фізичних процесів в обладнанні за наявності дефектів і аномалій різної природи та різного ступеня розвитку. Це дозволило запропонувати систему ідентифікації окремих дефектів і ушкоджень на ранній стадії їхнього розвитку та прогнозування технічного стану генераторів АЕС, що дозволяє ідентифіку-

вати дефекти й аномалії, які не контролюються на сьогодні існуючими засобами, такі як, наприклад, механічні пошкодження осердя статора турбогенератора, розпресовування та розпушення крайніх пакетів статора, замикання їхніх сегментів, виткові та міжфазні замикання обмотки, закупорка її каналів охолодження (рис. 4) та ін. Результати теоретично-експериментальних досліджень фізичних процесів у торцевій зоні потужного турбогенератора, математичні моделі, технічні рішення з оптимізації конструкції та підвищення ефективності систем контролю та діагностики впроваджено на ДП «Завод “Електроважмаш”» під час проектування, виготовлення, модернізації та експлуатації генеруючого обладнання для забезпечення припустимих рівнів нагріву крайніх пакетів осердя статора [3].

Розроблено наукові засади створення інтелектуальних систем автоматичної діагностики технічного стану головних циркуляційних насосів (ГЦН) ядерних енергоблоків з водо-водяними енергетичними реакторами типу ВВЕР-1000, а також програмне забезпечення для ідентифікації в реальному часі латентних початкових фаз потенційно небезпечних експлуатаційних режимів, що забезпечує величину абсолютної похибки екстраполяції сумарної апостеріорної ймовірності технічного стану, яка не перевищує 20% для величини часового інтервалу прогнозування у 60 секунд. Побудовано спеціалізований обчислювальний комплекс діагностики та прогнозування стану вузлів і режимів експлуатації циркуляційного насоса типу ГЦН-195М. Розроблене та відпрацьоване на тестових задачах і натурних експериментальних даних алгоритмічне та програмне забезпечення, а також технічні рішення з підвищення ефективності систем контролю і діагностики по-

точного технічного стану енергетичного обладнання впроваджено у практику наукових досліджень Інституту технічної теплофізики НАН України.

За допомогою модернізованого апаратно-програмного комплексу отримано нові експериментальні дані та виявлено у шумоподібних сигналах з детекторів щільності потоку нейтронів і сигналах штатних систем контролю ядерних установок приховану інформацію стосовно поточного стану матеріалів, що діляться, та поточного значення контрольованих параметрів ядерної установки. Експериментально визначено «мертвий час» вимірювального каналу. У результаті обробки експериментальних даних показано, що мінімальний час між зафіксованими імпульсами в експериментальних даних дорівнює близько 400 нс. Раніше проведені вимірювання у 2012–2016 рр. фіксували проміжок часу між імпульсами близько 1 000 нс, який прийнято було класифікувати як «мертвий час» вимірювального каналу. Значне зменшення цього параметра апаратно-програмного комплексу дозволяє покращити якісні показники результатів аналізу експериментальних даних. Проведено лабораторні вимірювання з Pu-Be нейтронним джерелом, а також натурні вимірювання з нейтронними джерелами, в яких потенційно присутні ланцюжки миттєвих нейтронів — у сховищі ВЯП на Чорнобильській АЕС. Результати заплановані до впровадження на ядерних установках України: ядерних реакторах АЕС, дослідницьких ядерних реакторах, сховищах ВЯП, що дозволить підвищити безпеку експлуатації ядерних установок, і, відповідно, буде сприяти поліпшенню стану навколишнього середовища.

У рамках угоди про співробітництво з компанією Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. групою співробітників ІПБ АЕС спільно з китайськими інженерами було продовжено розробку

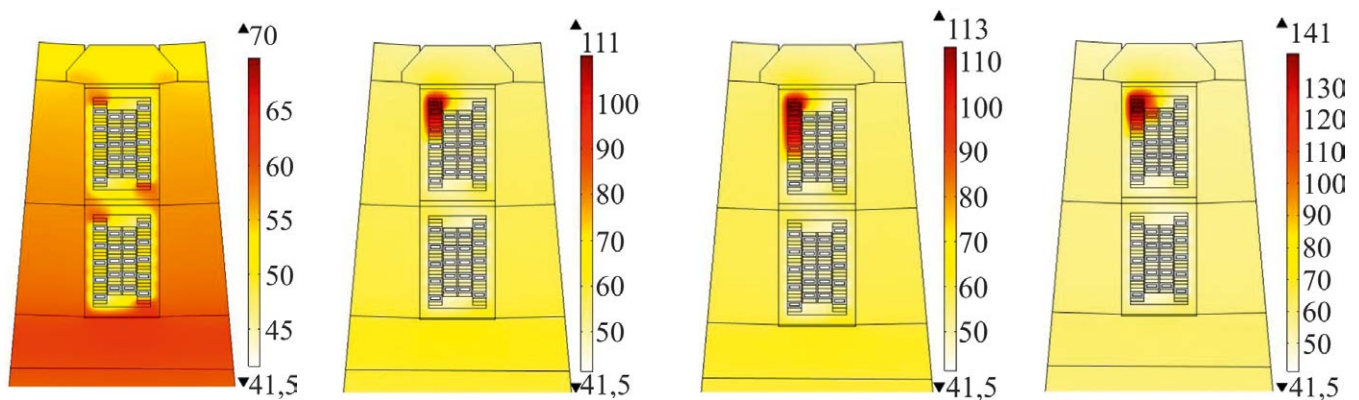


Рис. 4. Розподіл температури в зубці та стержні обмотки статора турбогенератора при номінальному навантаженні для різних варіантів порушення циркуляції холодоагенту

пристрою для вилучення детекторів ПТА (Incore Instrument Thimble Assemblies) із зони двоконтурних водо-водяних енергетичних реакторів типу AP1000, що дозволило створити два варіанти цього пристрою та виготовити їхні лабораторні зразки. Запропоновано варіант технологічного процесу демонтажу/монтажу обладнання рідкосольового ядерного реактора MSR (molten salt reactor) за допомогою трьохосової телескопічної штанги, а також розроблено 3D-анімацію технологічного процесу (рис. 5). Результати цієї роботи заплановано впровадити на АЕС «Хайян».

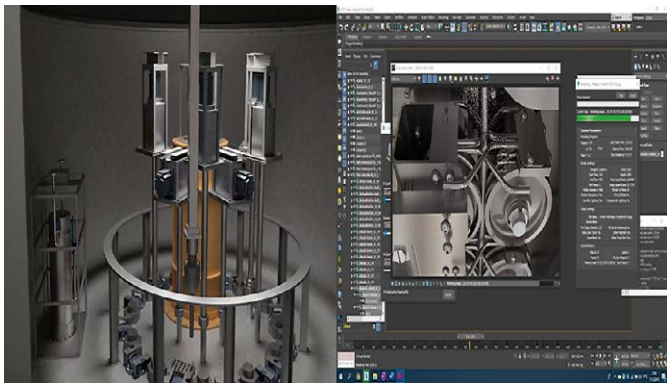


Рис. 5. 3D-анімація технологічного процесу (демонтаж обладнання)

Зняття з експлуатації ядерних установок

У 2019 р. співробітниками Інституту було виконано роботи, спрямовані на забезпечення науково-методичної підтримки процесів щодо зняття з експлуатації АЕС і забезпечення безпеки персоналу та населення під час їхнього виконання. Проведено аналіз ефективності різноманітних методів дезактивації залежно від типу та масштабу забруднення елементів АЕС і навколишнього середовища в результаті аварії, зокрема:

визначено основні цілі та критерії ефективності проведення дезактивації;

обґрунтовано ефективність методів дезактивації; проаналізовано хімічні, електрохімічні ультразвукові та механічні види дезактивації.

Оскільки однією з основних цілей є можливість надання найбільш повного вибору засобів і способів дезактивації елементів конструкції об'єкта під час виведення його з експлуатації, вибір технології дезактивації визначається низкою технологічних характеристик і економічною доцільністю. Водночас технологія дезактивації визначається об'єктом і засобами дезактивації, але сама дезактивація, у свою

чергу, визначає вартість процесу, кількість та якість одержуваних вторинних відходів. Тому визначальними характеристиками вибору технології дезактивації є характер забруднення та рівень активності на поверхні, що дезактивується.

На основі проведеного аналізу ефективності різноманітних методів дезактивації розроблено методологічні рекомендації щодо вибору технології дезактивації об'єктів аварійної АЕС, які плануються до впровадження на ДП «Національна енергогенеруюча компанія (НАЕК) «Енергоатом»».

Розроблені загальні підходи щодо зняття з експлуатації АЕС стосовно вибору технологій демонтажу, а також запропоновані критерії вибору дистанційних технологій та ручних засобів демонтажу сприяють впровадженню принципу ALARA під час проведення робіт на поставарійних об'єктах атомної енергії, допомагають зекономити кошти за рахунок вибору правильної науково-обґрунтованої стратегії поводження з РАВ, а також зменшують ризики забруднення довкілля, що у підсумку сприятиме помітному скороченню витрат на рекультивационні та реабілітаційні заходи.

В рамках виконання програми НАТО «Наука заради миру та безпеки» (Science for Peace and Security Programme) було виконано такі науково-дослідницькі роботи:

«Розробка суперселективного сорбенту для нейтралізації хімічних, біологічних, радіоактивних речовин чи ядерних матеріалів» спільно з Інститутом біоорганічної хімії та органічної хімії НАН України і закордонним партнером — Університетом штату Східного Теннессі, США. У рамках роботи за допомогою розробленої удосконаленої математичної моделі хімічних процесів проведено чисельні валідаційні розрахунки, які підтверджують коректність моделі та підходів до її розробки, що надає можливість застосування моделі для виконання перевірних розрахункових аналізів щодо складу сорбенту.

«Технологія для надійної ідентифікації радіоактивних матеріалів за спектрометричними даними» спільно з Київським національним університетом імені Тараса Шевченка, Інститутом геохімії навколишнього середовища та закордонним партнером — Університетом Клемонса, США. У рамках роботи проведено випробування апаратури для ідентифікації зразків джерел іонізуючого випромінювання чорнобильського походження. Результати цієї роботи заплановано до впровадження на ДСП «Чорнобильська АЕС».

Поводження з ВЯП і РАВ

Визначено та проаналізовано основні принципи та процедури використання радіонуклідних векторів для характеристики РАВ, які утворюються на АЕС. Протестовані на реальних даних щодо забруднення твердих РАВ Чорнобильської АЕС стандартні методичні підходи, які рекомендуються для розрахунку значень коефіцієнтів радіонуклідного вектора (scaling factors). Це дозволило визначити, що використання стандартних процедур для цілої низки альфа- та бета-випромінювачів радіонуклідів, які важко вимірюються у низькоактивних РАВ і водночас підлягають обов'язковій паспортизації, може призводити до суттєвого завищення даних щодо питомої та сумарної радіоактивності упаковок з твердими РАВ, спрямованих на захоронення. Для таких «проблемних» радіонуклідів запропоновано методи обробки експериментальних даних, які раніше не застосовувалися у цій сфері діяльності, але використання яких може суттєво вплинути на точність паспортизації радіонуклідного складу і результат характеристики упаковок з РАВ у цілому.

Розроблено методичні рекомендації щодо вибору оптимальної процедури розрахунку коефіцієнтів радіонуклідного вектора для характеристики твердих РАВ Чорнобильської АЕС експлуатаційного походження, пропозиції щодо внесення змін до чинних нормативних документів та створення спеціальних нормативних документів, а також розділи проекту протирадіаційного захисту персоналу, охорони навколишнього середовища, охорони праці та поведінки з РАВ. Текст документу містить не тільки опис алгоритмів обробки експериментальних даних, але й супроводжується прикладами їхнього використання із залученням реальних даних щодо радіонуклідного забруднення твердих РАВ Чорнобильської АЕС експлуатаційного походження.

Результати роботи у формі методичних рекомендацій надані ДСП «Чорнобильська АЕС» для забезпечення найбільш ефективного використання методології радіонуклідного вектора для характеристики партій твердих РАВ, накопичених у значних об'ємах за період експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС, з метою їхнього подальшого безпечного захоронення.

Відпрацьовано окремі технологічні рішення, пов'язані з реальними умовами виконання робіт на майданчику Централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП), зокрема:

розроблено «Програму науково-технічного супроводу на етапах будівництва і введення в експлуатацію ЦСВЯП»;

надано рекомендації щодо укладання бетону для майданчиків зберігання контейнерів з ВЯП;

розроблено рецептуру спеціального бетону для виготовлення контейнерів довгострокового зберігання ВЯП;

побудовано математичну модель контейнера HI-STORM 190 та виконано попередній розрахунок його біологічного захисту з використанням запропонованого складу радіаційно-захисного бетону (рис. 6).

Проведено дослідження та розроблено «Звіт про стан навколишнього середовища при реалізації проекту будівництва ЦСВЯП» [4] українською та англійською мовами, який надає актуальну деталізовану інформацію щодо стану довкілля при реалізації зазначеного проекту для фінансової компанії США, яка кредитувала будівництво ЦСВЯП підприємством «НАЕК «Енергоатом»» (рис. 7).

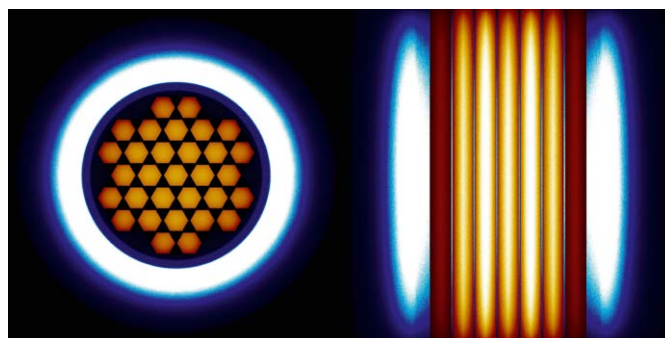


Рис. 6. Переріз математичної моделі (світлий колір відповідає реакції розсіювання нейтронів, які найбільш активно проходять у шарі бетону контейнера HI-STORM 190)

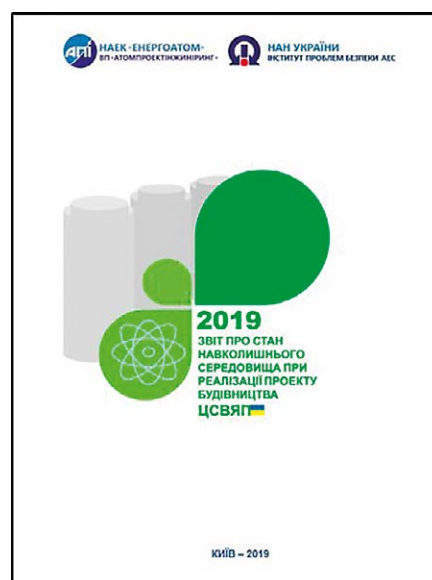


Рис. 7. Титульний аркуш Звіту про стан навколишнього середовища при реалізації проекту будівництва ЦСВЯП

ІПБ АЕС супроводжував проведення комплексних активних випробувань заводу з переробки твердих РАВ Чорнобильської АЕС, метою яких є дослідження можливості виключення вимірювань нейтронних потоків для оцінки твердих РАВ і введення методу визначення активності радіонуклідів у відходах і золі, яка утворюється під час спалювання «горючих твердих РАВ». На цьому етапі роботи проведено перевірку функціонування системи контролю заводу в цілому та виконано верифікацію системи формування паспорту на упаковку відходів, а також розроблено пропозиції щодо модернізації робочих станцій.

У рамках співробітництва з МАГАТЕ виконувався проект «Застосування прискорювачів (ADS) та використання низькозбагаченого урану в ADS» (Accelerator Driven Systems (ADS) Applications and use of Low-Enriched Uranium in ADS, T33002). У 2019 р. науковцями ІПБ АЕС за допомогою сучасних методів моделювання в кодах MCNP та Serpent досліджено можливості використання двозонних підкритичних систем зі швидким й тепловим нейтронними спектрами для трансмутації РАВ. За допомогою варіаційних розрахунків проведено оптимізацію геометричних характеристик і матеріального складу двозонних підкритичних систем. Розроблені алгоритми та програмні модулі заплановані до впровадження на Чорнобильській станції переробки твердих РАВ.

ІПБ АЕС бере участь у проекті «Термічна обробка для мінімізації РАВ та зниження небезпеки» (Thermal Treatment for Radioactive Waste Minimization and Reduction, THEREMIN), який реалізується за підтримки Європейської комісії. Метою роботи є координація дослідницької та технологічної діяльності в масштабах усього ЄС для забезпечення більше глибокого розуміння й оптимізації застосування термічної обробки в програмах поводження з РАВ у Європі, а також підвищення рівня готовності технологій для прискорення їхнього промислового впровадження. Співробітники ІПБ АЕС у рамках проекту взяли участь у тренінгу та ознайомленні з провідними технологіями щодо високотемпературного кондиціонування РАВ на прикладі робіт, що виконуються Центром технічних досліджень VTT (Фінляндія) та поводження з твердими РАВ у Національному ядерному центрі «Маркуль» (Франція).

Пріоритетні завдання з науково-дослідницької діяльності на майбутнє

Згідно з основними напрямками діяльності плануються такі наукові дослідження:

щодо перетворення ОУ на екологічно безпечну систему:

покращення рівня радіаційної безпеки персоналу під час демонтажу нестабільних конструкцій на основі чисельних варіаційних розрахунків сучасними методами математичного моделювання;

розробка методичних рекомендацій щодо вилучення ядерних матеріалів і поводження з ними;

візуалізація робіт, які виконуються в умовах радіаційної небезпеки, за допомогою сучасного програмного забезпечення;

створення технологій кондиціонування ядерних матеріалів;

вивчення стану паливовмісних матеріалів на основі лабораторних досліджень дослідних зразків;

розробка робототехнічних пристроїв;

щодо безпеки експлуатації ядерних установок:

підвищення безпеки діючих ядерних установок за рахунок побудови нових інтелектуальних систем контролю та діагностики;

створення технічних рішень щодо продовження терміну експлуатації енергоблоків АЕС;

розробка методологічних рекомендацій з вибору нових проектів ядерних установок, які будуть заміщувати старі, що виводяться з експлуатації;

щодо зняття з експлуатації ядерних установок:

дослідження процесів зняття з експлуатації енергоблоків з реакторами типу РБМК, а також ядерних установок з реакторами типу ВВЕР-440 та ВВЕР-1000;

розробка методичних рекомендацій щодо поводження з РАВ;

наукове обґрунтування ефективності методів і засобів дезактивації;

щодо поводження з ВЯП і РАВ:

проведення наукових досліджень та науково-технічний супровід на етапі будівництва, введення в експлуатацію й експлуатації ЦСВЯП;

розробка програми управління старінням сховищ ВЯП на Запорізькій та Чорнобильській АЕС, а також ЦСВЯП.

Співпраця з національними та закордонними науковими організаціями

ІПБ АЕС продовжує плідну співпрацю більше ніж з 20 науковими установами України в рамках договорів про спільну науково-технічну діяльність.

У жовтні 2019 р. фахівцями ДП «НАЕК «Енергоатом» було проведено аудит системи управління якістю ІПБ АЕС для підтвердження здатності поста-

чати продукцію (надавати послуги) при забезпеченні гарантованої якості та виконанні вимог з ядерної та радіаційної безпеки. За результатами аудиту ІПБ АЕС був включений до переліку постачальників ДП «НАЕК «Енергоатом»» (Рішення про затвердження постачальника № РШ-П 0.46.120-19).

Інститут має угоди про співробітництво з такими міжнародними організаціями та компаніями як: МАГАТЕ, Підрозділ з проблем безпеки НАТО (ЄС, США), Відділ безпеки та радіації Дослідницького центру Юліха (Research Center Jülich, Department for Safety and Radiation), міжнародна консультативна група Consortium of PLEJADES GmbH, товариство Gesellschaft für Anlagen- und Reactorsicherheit, GRS (Німеччина), Японське агентство з атомної енергії (Japan Atomic Energy Agency, JAEA), Національна корпорація «Університет Фукусіми» (Японія), товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «Китайсько-українські ядерно-енергетичні технології Сянчу», Університет Південної Кароліни, Університет штату Східного Теннессі, Університет Клемонса (США), компанія Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. (Китай) та інші.

Зокрема, у рамках співробітництва з компанією Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. у 2019 р. у м. Циндао відбулася церемонія відкриття офісу спільного українсько-китайського ТОВ «Китайсько-українські ядерно-енергетичні технології Сянчу», співзасновником якого є ІПБ АЕС НАН України, та у 2020 р. планується розпочати будівництво його офісного та промислово-лабораторного корпусу.

Підписано угоду між ІПБ АЕС, ДСП «Чорнобильська АЕС» і ТОВ «Китайсько-українські ядерно-енергетичні технології Сянчу» про спільне будівництво Українсько-китайської випробувальної лабораторії в реальних умовах високої радіоактивності.

Продовжено роботи за спільним україно-японським проектом «Покращення радіаційного контролю навколишнього середовища та законодавчої бази в Україні для екологічної реабілітації радіоактивно забруднених майданчиків» програми SATREPS за підтримки Японського Агентства з науки та технологій (JST) і Японського агентства міжнародного співробітництва (JICA). У червні 2019 р. відбулась робоча нарада японських та українських спеціалістів з актуальних питань ліквідації важких ядерних аварій.

У 2019 р. було підписано Меморандум між Інститутом та Японським агентством з атомної енергії щодо обміну інформацією між Чорнобильською АЕС та АЕС «Фукусіма».

ІПБ АЕС продовжує працювати з громадськістю, зокрема, шляхом висвітлення результатів своєї діяльності та наукових досягнень у засобах масової інформації. Досвід, отриманий у результаті виконуваних робіт, передається у вигляді звітів до Українського інституту науково-технічної експертизи та інформації (УкрІНТЕІ), опублікованих статей, інформації на сайті Інституту, публікації монографій, доповідей на семінарах, конференціях, читанні лекцій у вищих навчальних закладах при підготовці бакалаврів, магістрів та аспірантів.

Науково-організаційна діяльність

П'ять фахівців ІПБ АЕС працюють над дисертаційними роботами на здобуття наукового ступеня доктора наук, шість — над роботами на здобуття наукового ступеня кандидата наук, троє працівників навчаються в аспірантурі. У 2019 р. три співробітники ІПБ АЕС захистили дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук та один співробітник — на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук.

Під керівництвом співробітників Інституту п'ять студентів Національного університету імені Тараса Шевченка (фізичний факультет) і два аспіранта успішно захистили магістерські та дисертаційні роботи.

Чотири студента вищих навчальних закладів проходили у 2019 р. практику в ІПБ АЕС.

Забезпечено стажування одного молодого вченого за міжнародною програмою «Поетапна навчально-тренувальна програма» (Sandwich Training Educational Program, STEP) в Інституті Йожефа Стефана, м. Любляна (Словенія). Один молодий науковець взяв участь у роботі міжнародної школи з вітрифікації ядерних відходів у Міжнародному центрі фізики м. Трієст (Італія). Один молодий вчений взяв участь у літній школі, організованій Італійським фізичним товариством у м. Варенна (Італія). Двоє молодих вчених взяли участь у роботі міжнародних конференцій FISA'2019 та EURADWASTE'19, де спільний проект науковців ІПБ АЕС у рамках конкурсу постерів переміг за напрямом науково-дослідницької роботи за тематикою досліджень Євроатома.

У 2019 р. Інститутом організовано:

IV Міжнародну конференцію INUDEC0'19 «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» (25–26 квітня, м. Славутич) спільно з ДСП «Чорнобильська АЕС»;

IV Міжнародну науково-практичну конференцію «Досвід Чорнобиля щодо вирішення проблем Фукусіми» (6–8 травня, м. Чорнобиль і Київ) спільно з Інститутом технічної теплофізики НАН України за участі Державного агентства України з управління зоною відчуження та ДСП «Чорнобильська АЕС».

Водночас співробітники ІПБ АЕС брали участь у 26 міжнародних заходах в Україні, Китаї, Франції, Польщі, Японії, Великобританії, Румунії, Чехії, Швеції, Італії, Республіці Білорусь, Бразилії, США та у 13 національних заходах у Києві, Харкові, Житомирі, Чернігові, Чорнобилі, Славутічі.

Співробітники ІПБ АЕС брали участь у:

виступі на Українському радіо у програмі «Модуль знань» на тему «Ядерна енергетика: плюси і мінуси» (25 квітня 2019 р.);

інтерв'ю для інтернет-видання «Opinion» про Чорнобиль, безпеку АЕС і майбутнє ядерної енергетики (26 квітня 2019 р.);

організації круглого столу «Перспективи впровадження інновацій у атомній енергетиці України» (27 вересня 2019 р., м. Київ, Інститут газу НАН України), присвяченого розвитку співпраці між науково-дослідницькими установами й атомно-енергетичним комплексом України.

У 2019 р. було надруковано 3 книжкові видання, авторами яких стали співробітники ІПБ АЕС (рис. 8):

Булавін Л. А. Нейтронна діагностика розчинів фулеренів: монографія / Л. А. Булавін, О. А. Кизима, А. В. Носовський. — Чорнобиль : ІПБ АЕС, 2019. — 184 с.;

Новый безопасный конфайнмент Чернобыльской АЭС (расчетно-экспериментальный анализ

при проектировании и эксплуатации): монография / П. Г. Круковский, М. А. Метель, Д. И. Скляренко [и др.]; под ред. П. Г. Круковского, В. А. Краснова, В. П. Сулимова. — Киев : Франко Пак, 2019. — 300 с.;

Interesting Chernobyl. 100 symbols / K. Stepanets, V. Ugryumova, D. Vishnevskiy, S. Paskevich. — Kyiv : Sky Horse Publishing House, 2019. — 263 p.

З 2018 р. ІПБ АЕС став співзасновником журналу «Ядерна енергетика та довкілля» (ISSN2311-8253, періодичність — до 4 разів на рік) спільно з ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування» та Громадською організацією «Українське ядерне товариство». Відповідно до Наказу Міністерства освіти й науки України від 28.12.2019 р. № 1643 журнал входить до Переліку наукових фахових видань України [5]. У 2019 р. видано три випуски журналу.

Результати досліджень співробітників Інституту у 2019 р. опубліковані в наукових виданнях, що індексуються провідними наукометричними базами даних (Scopus, Web of Science). Загальна кількість цих статей утричі перевищує аналогічний показник у порівнянні з середнім значенням 2015–2017 рр. і в півтора рази порівняно з минулим роком. Водночас кількість статей, опублікованих закордоном, зросла у чотири рази порівняно з середнім значенням аналогічного показника 2015–2017 рр. і в півтора рази порівняно з минулим роком. Це свідчить про підвищення кваліфікації співробітників і, відповідно, якості досліджень.

Підтримується робота інтернет-сайту ІПБ АЕС [6], а також сайту науково-технічного журналу «Ядерна енергетика та довкілля». Так, у 2019 р. сайт

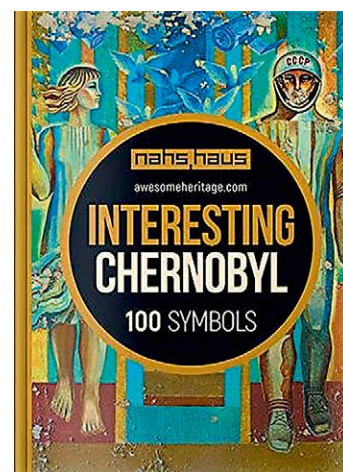
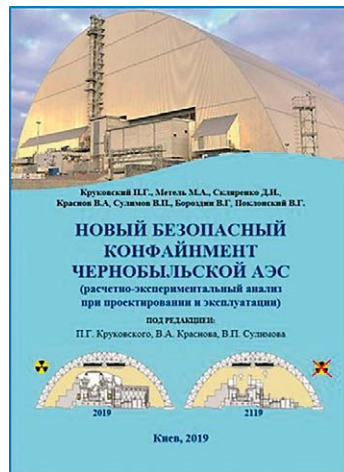


Рис. 8. Книжкові видання співробітників ІПБ АЕС, надруковані в 2019 р.

Інституту відвідали користувачі більше ніж з 200 іноземних країн.

Висновки

ІПБ АЕС є єдиною науковою установою в Україні, яка починаючи з 1992 р. забезпечувала та продовжує забезпечувати науково-технічну підтримку робіт зі зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС та перетворення ОУ на екологічно безпечну систему. Соціальне значення робіт, що виконуються, полягає в захисті людини та навколишнього природного середовища від потенційних ризиків, пов'язаних з існуванням радіаційно небезпечного ОУ, небезпека якого з часом зростає за рахунок руйнування конструкцій, що постраждали внаслідок аварії. Вирішення проблеми перетворення об'єкта на екологічно безпечну систему є актуальним завданням сьогодення не тільки для України, але й для всього міжнародного співтовариства.

Водночас розміщення лабораторної бази в Чорнобилі, необхідність виконання складних робіт у радіаційно небезпечних умовах і здійснення радіаційного контролю є причинами значних витрат на транспортні послуги, проходження періодичних медоглядів, отримання необхідних ліцензій, забезпечення спецодягом та засобами індивідуального захисту. Тому накладні витрати Інституту становлять 150 % від загального обсягу фонду оплати праці основних виконавців робіт. Відчутною для ІПБ АЕС є й проблема оновлення наукового обладнання. Оскільки наявне обладнання є морально та фізично застарілим, є потреба у великих фінансових вкладеннях в оновлення, а переважно заміні на нове.

Відчутна проблема порушення вікового балансу наукових працівників у бік науковців старшого віку. У зв'язку з низьким рівнем оплати праці в установах НАН України Інститут не є привабливим роботодавцем для випускників вищих навчальних закладів. Участь та презентація власних наукових робіт на міжнародних конференціях як одна зі складових успішної діяльності науковців ускладнена відсутністю належного фінансування. Відрядження за кордон для участі в роботі міжнародних конференцій і шкіл для молодих учених можливе лише за рахунок сторони, що приймає, або за власні кошти співробітника. ІПБ АЕС щороку залучає до роботи випускників вищих навчальних закладів, більшість з яких розглядають установу як майданчик для набуття досвіду та через певний час переходять у більш привабливі з точки зору оплати праці підприємства.

Проте, незважаючи на об'єктивні складнощі та керуючись стратегією розвитку, ІПБ АЕС НАН України докладає всі необхідні зусилля щодо збереження науково-технічного потенціалу в умовах економічної кризи.

Список використаної літератури

1. Інститут проблем безопасности атомных электростанций НАН Украины: 25 лет / К. А. Байлюк, О. В. Баллан и др.; под общ. ред. А. В. Носовского. — Киев: ИПБ АЭС НАН Украины, 2017. — 416 с.
2. Звіт про діяльність Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2019 році / ІПБ АЕС НАН України. — Київ, 2019. — 150 с. — Режим доступу: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/zvity/zvit-2019.pdf>
3. Хвалін Д. І. Внутрішнє екранування крайніх пакетів осердя статора потужного синхронного генератора: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01 / Д. І. Хвалін; Ін-т електродинаміки НАН України. — Київ, 2019. — 21 с.
4. Звіт про стан навколишнього середовища при реалізації проекту будівництва ЦСВЯП / ВП «Атомпроектінжиніринг» ДП «НАЕК «Енергоатом», ІПБ АЕС НАН України. — Київ, 2019. — 130 с.
5. Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад: Наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 р. № 1643. — Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-rishen-atestacijnoyi-kolegiyi-ministerstva-shodo-diyalnosti-specializovanih-vchenih-rad>.
6. Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України: офіційний веб-сайт. — Режим доступу: <http://www.ispnpp.kiev.ua>.

D. I. Khvalin, I. V. Kutsyna, V. S. Havrylenko

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, 12, Lysogirska st., Kyiv, 03028, Ukraine

The Work Results of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the NAS of Ukraine in 2019

Main results of scientific and scientific-organizational activity of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of Ukraine in 2019 are given, among

them research and scientific information work, use of researches results in the economy, cooperation with national and international institutions, training of the scientific personnel, participation of young scientists in the international cooperation, knowledge and experience transfer, promotion of research achievements, coverage of scientific and research works in mass media, research and expert works for the benefit and on demand of the public authorities as well as publication of scientific results. It was shown that important results both in the study of the state of nuclear and radiation safety of the Shelter object and in works focused on the improvement of the reliability, effectiveness and operation safety of working Ukrainian nuclear power plants were received by specialists of the Institute. According to the specifics of the Institute's activities, research work is carried out at nuclear and radiation-hazardous facilities. Therefore, special requirements are set for equipment, facilities and staffing, namely: the need to obtain licenses from the SNRC of Ukraine, a certified quality system, certified laboratories of the appropriate class of radiation hazard, mandatory medical examinations, testing of knowledge of nuclear and radiation safety, etc. The location of the laboratory base in Chornobyl, the need to perform work in radiation-hazardous conditions and perform radiation control are the reasons for significant financial costs for transportation services, medical examinations, obtaining the necessary licenses, providing overalls and personal protective equipment. Despite the low level of financing caused by economic crisis in the state the institution does everything possible for maintaining its scientific and technical potential and has strategic aim — to become leading institution of Ukraine which render scientific-technical, engineering, methodical and information services in the sphere of safe operation of facilities with nuclear technologies, elimination of radiation accidents consequences, nuclear facilities decommissioning, radioactive waste and spent

nuclear fuel treatment and transformation of the Shelter object into an ecologically safe system.

Keywords: Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, scientific work, scientific and technical potential, international cooperation.

References

1. Nosovskyi A. V. (ed.) (2017). *Institut problem bezopasnosti atomnykh elektrostantsiy NAN Ukrainy: 25 let* [Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine: 25 years]. Kyiv: ISP NPP, NAS of Ukraine, 416 p. (in Russ.)
2. *Report on the activities of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2019*. Kyiv: ISP NPP, NAS of Ukraine, 2019, 150 p. Available at: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/zvity/zvit-2019.pdf>. (in Ukr.)
3. Khvalin D. I. (2019). *Vnutrishnie ekranuvannia krainikh paketiv oserdia statora potuzhnogo synkhronnogo generatora* [The internal shielding of a stator core end packets of powerful synchronous generator] (PhD Thesis). Kyiv, 21 p. (in Ukr.)
4. *Report on state of the environment during implementation of the project on CSNFSF construction*. Kyiv: SS «Atomprojectengineering» of SE «NNEGC 'Energoatom'»; ISP NPP, NAS of Ukraine, 2019, 130 p. (in Ukr.)
5. *Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine «On approval of decisions of the Examination board of the Ministry on the activity of specialized academic councils»* dated 28.12.2019, no. 1643. Available at: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-rishen-atestacijnoyikolegiyi-ministerstva-shodo-diyalnosti-specializovanih-vchenih-rad>.
6. *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine: official web-site*. Available at: <http://www.ispnpp.kiev.ua>.

Надійшла 06.03.2020

Received 06.03.2020