

І. В. Куцина, В. С. Гавриленко, К. В. Сімейко

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

## Результати діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України у 2024 р.

### Ключові слова:

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій, Національна академія наук України, підтримка держави та міжнародних партнерів, оцінювання ефективності діяльності, висвітлення наукових досягнень

Наведено найважливіші результати наукової та науково-організаційної діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2024 р. Незважаючи на продовження військового стану, повітряні тривоги та відключення електропостачання, співробітники Інституту повністю виконали плани дослідницьких робіт. Це стало можливим завдяки ефективним організаційним рішенням, що сприяли підвищенню якості наукових досліджень, їх практичному впровадженню та активізації публікаційної діяльності. Інститут продовжує співпрацювати з міжнародними партнерами у різних наукових напрямках, організовувати наукові заходи, співпрацювати з закладами вищої освіти та органами державної влади.

### Вступ

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України) є державною науковою неприбутковою бюджетною установою, яка у своїй діяльності керується Конституцією України, чинним законодавством України, Статутом НАН України, а також іншими нормативними актами НАН України та своїм Статутом.

Відповідно до Статуту ІПБ АЕС, затвердженого розпорядженням Президії НАН України № 366 від 16.07.2021 р., основними напрямками діяльності інституту є: проведення науково-дослідних, дослідно-конструкторських і проектних робіт, пов'язаних із перетворенням об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему; створення робототехнічних систем і радіаційних технологій поводження з ядерними матеріалами; моніторинг та прогнозування речовин, що містять ядерне паливо, стану матеріалів і будівельних конструкцій об'єкта, а також стану екологічної безпеки у зоні його впливу; проведення фундамен-

тальних і прикладних наукових досліджень у галузі безпеки АЕС; розроблення наукових основ безпеки й ефективності експлуатації ядерних установок; дослідження, розроблення та впровадження технологій зняття з експлуатації енергоблоків АЕС, поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) та радіоактивними відходами (РАВ).

### Перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему

На основі системного аналізу та експериментальних досліджень температурно-вологісного режиму у комплексі «Новий безпечний конфаймент — об'єкт «Укриття» (НБК-ОУ), динаміки потужності експозиційної дози (ПЕД) та щільності потоку нейтронів (ЩПН), а також підкритичності потенційно ядерно-небезпечного скупчення лавоподібних паливовмісних матеріалів (ЛПВМ) об'єкта «Укриття», розроблено науково обґрунтовані висновки щодо поточного рівня ядерної безпеки об'єкта. Дослідження виконано на основі результатів роботи системи контролю ядер-

© І. В. Куцина, В. С. Гавриленко, К. В. Сімейко, 2025

ної безпеки (СКЯБ) ІАСК та експертної системи ІПБ АЕС за періоди до і після встановлення НБК у проектне положення. Отримані результати впроваджені в діяльність ДСП «ЧАЕС» та використовуються для забезпечення належного рівня ядерної та радіаційної безпеки персоналу, населення і довкілля (рис. 1).

У рамках аналізу стану радіаційної безпеки комплексу НБК-ОУ здійснено комплексне дослідження радіоактивно забруднених вод у зонах розташування скупчень ПВМ, а також радіоактивного аерозолі поблизу цих скупчень, у підпокрівельному просторі об'єкта «Укриття», у повітрі під НБК на різних рівнях висоти. Проаналізовано динаміку  $\alpha$ -,  $\beta$ -активності аерозолів та  $\gamma$ -випромінювання у приміщеннях об'єкта «Укриття» за результатами роботи стаціонарної системи радіаційного контролю, а також температурно-вологісний режим комплексу. Це дозволило удосконалити підходи щодо контролю та управління радіаційною безпекою у нових умовах експлуатації НБК.

З метою вдосконалення обліку та аналізу просторового розміщення скупчень ПВМ, база даних паливовмісних матеріалів була доповнена новими відомостями, а також створено тривимірну модель об'єкта «Укриття» з прив'язкою моделей скупчень до місць їх фактичного розташування. У рамках оновлення бази після тимчасової окупації об'єкта проведено обробку

наявної інформації щодо дослідницьких свердловин, сформовано таблицю-перелік з відповідними параметрами та реалізовано просторову модель розташування свердловин і самого об'єкта «Укриття».

Результати досліджень використано для розробки технічних рішень щодо подальших заходів з перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему та формування щорічного звіту ДСП «ЧАЕС» з аналізу безпеки комплексу НБК-ОУ за 2024 р.

Окрім цього проведено аналіз технічного стану будівельних конструкцій об'єкта «Укриття», важливих для безпеки, та параметрів радіаційного стану в зонах проведення демонтажних робіт. Розроблено прогнози змін радіаційної обстановки, а також проектні критерії та вимоги до інфраструктури демонтажу нестабільних конструкцій. Зазначені результати впроваджені у діяльність ТОВ «ЮТЕМ-ІНЖІНІРІНГ» для забезпечення науково обґрунтованого підходу щодо реалізації етапу демонтажу небезпечних конструкцій об'єкта «Укриття».

### Безпека експлуатації ядерних установок

Розроблено науково-технічні основи побудови сучасних систем діагностики нейтронно-фізичних, теплогідрравлічних, електротехнічних та вібраційних процесів в обладнанні енергоблоків з реакто-

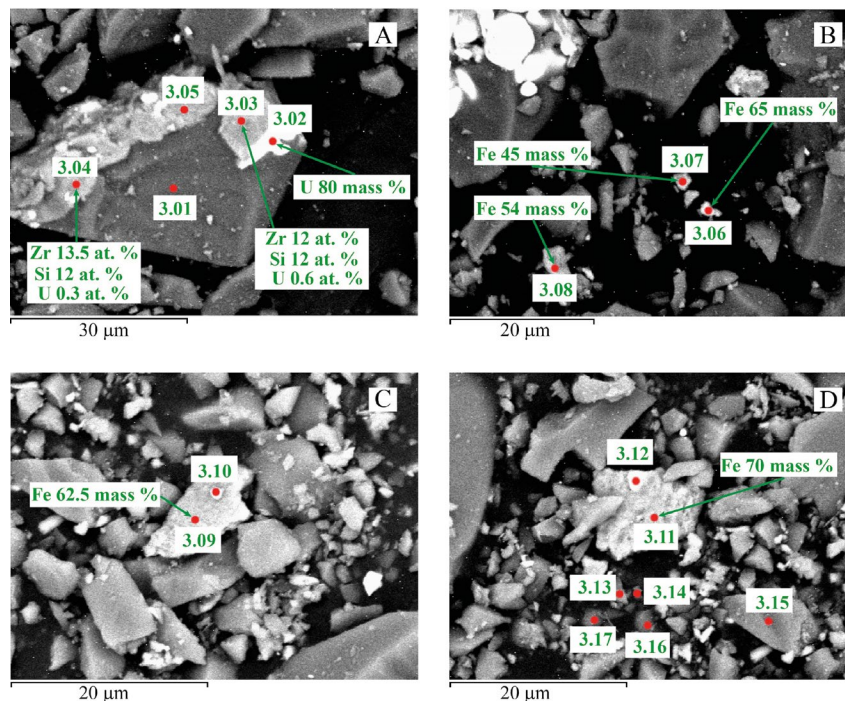


Рис. 1. Зображення частинок ЛПВМ, які отримано за допомогою електронної мікроскопії

рами типу ВВЕР-1000 з урахуванням впровадження новітніх типів ядерного палива. Дослідження базуються на комп'ютерному моделюванні відповідних фізичних процесів та валідації моделей за наявними експериментальними даними.

У напрямі нейтронно-фізичних процесів створено комплекс моделей, що відображають особливості активної зони ВВЕР-1000. Проведено валідацію нейтронно-фізичної моделі реактора та проаналізовано вплив режимів навантаження тепловидільних збірок на зміну радіаційних характеристик, зокрема активності та залишкового енерговиділення відпрацьованого ядерного палива. Отримані результати забезпечують науково обґрунтовану основу для підвищення ефективності експлуатації паливних кампаній.

У напрямі дослідження теплогідравлічних процесів встановлено вплив мікродинамічних процесів, пов'язаних із кипінням теплоносія на поверхні твелів, на теплову поведінку обладнання реакторної установки. Проведено порівняльний аналіз обчислювальних підходів до автоматичного розпізнавання експлуатаційних станів з використанням нейромережових діагностичних моделей. Запропоновані підходи дозволяють ефективно виявляти нештатні режими роботи обладнання та підвищити загальний рівень безпеки.

У сфері електротехнічного обладнання обґрунтовано нову конструкцію статора потужної електричної машини змінного струму, що включає вдосконалене осердя та систему охолодження, яка знижує температурні навантаження в крайніх пакетах. Розроблено підходи до підвищення надійності генераторів шляхом оптимізації обсягів діагностування, зменшення міждіагностичних інтервалів, а також впровадження ефективних методів діагностики технічного стану генераторів безперервно під час експлуатації. Рекомендується зосередити подальші дослідження на генераторах із повним повітряним охолодженням як таких, що демонструють високу експлуатаційну надійність.

Результати, отримані у 2024 р., повністю відповідають міжнародним стандартам високого рівня. Вони активно використовуються під час планування та оптимізації експериментальних і діагностичних робіт на ядерних установках, а також при обґрунтуванні ядерної безпеки систем поводження з відпрацьованим паливом.

Результати досягнень сприяють збереженню та покращенню стану навколишнього середовища, а також сталому розвитку ядерної енергетики. Результати планується впровадити на ядерних установках

України — атомних електростанціях, дослідницьких реакторах, сховищах відпрацьованого ядерного палива. Це дозволить підвищити безпечність експлуатації таких об'єктів і, відповідно, сприятиме екологічній безпеці.

### **Будівництво нових АЕС**

Розроблено й удосконалено методи оцінки впливу на довкілля для нових об'єктів атомної енергетики (зокрема, реакторних установок AP1000, Westinghouse Electric Company) в процесі їх будівництва та експлуатації, які забезпечать отримання представницьких оцінок і достовірного прогнозування радіаційного стану навколишнього середовища та дозових навантажень на населення в районах розташування АЕС.

Виконано збір та аналіз даних про характеристики реакторної установки AP1000. Проведено порівняльний аналіз характеристик реакторних установок AP1000 і ВВЕР-1000. У енергетичній установці із реактором AP1000 втілено інноваційний підхід до безпеки зі значним спрощенням конструктивних та компоновальних рішень з метою підвищення надійності, полегшення будівництва, експлуатації та технічного обслуговування. Засоби глибокоешелонованого захисту реактора AP1000 дозволяють виключити великі викиди продуктів поділу з контейнменту протягом 100 годин з моменту початку руйнування активної зони. За результатами проведеного порівняльного аналізу реакторних установок AP1000 і ВВЕР-1000, основні переваги реактора AP1000 порівняно з реактором ВВЕР-1000 полягають у тому, що це реактор третього покоління, який забезпечує запобігання аваріям, які можливі в реакторах ВВЕР-1000, де необхідна участь оператора і його своєчасна реакція. Пасивна система безпеки у AP1000 містить значно менше компонентів ніж типові системи безпеки у ВВЕР-1000, що зменшує кількість необхідних випробувань та перевірок, вони мають на третину менше дистанційних клапанів і не містять насосів. Також в AP1000 виконано спрощену систему першого контуру, що полегшує її ремонт та експлуатацію. Основними недоліками AP1000 є реальні випадки наскрізної точкової корозії металевої оболонки (контейнменту), а також можливість корозії щільного типу у стінці контейнменту.

Розроблено рекомендації щодо порівняльного аналізу альтернативних майданчиків для розміщення енергоблоків АЕС. Проаналізовано більше 80 іноземних та вітчизняних літературних джерел стосовно використання методів аналізу, порівняння

та вибору майданчиків розміщення АЕС. Проведено аналіз національного законодавства та міжнародного досвіду стосовно формування груп факторів та їх критеріїв оцінки майданчиків розміщення АЕС. Представлено підхід до порівняння майданчиків розміщення АЕС за допомогою методів експертного оцінювання параметричних критеріїв. На першому етапі порівняння запропонований метод використовується для узагальненого аналізу альтернатив, без детального розгляду та порівняння всіх критеріїв за відповідними групами факторів — технічними, технологічними, соціально-економічними тощо. При цьому експертне оцінювання проводиться кожним експертом методом попарного порівняння альтернатив, критерії альтернатив розглядаються експертами комплексно і враховуються під час попарного порівняння. Цей спосіб дозволяє в короткі терміни без значних фінансових витрат провести попередній узагальнений порівняльний експертний аналіз та сформулювати рекомендації для оцінювання майданчиків розміщення нових реакторів, який ґрунтується на числових характеристиках. На прикладі проекту будівництва нових реакторів AP1000 показано процес порівняння на основі числових оцінок майданчиків із трьох запропонованих.

Розроблено та наповнено просторові бази фізико-географічних, радіоекологічних і метеорологічних даних про територію розміщення енергоблоків

Хмельницької АЕС (ХАЕС) з реакторною установкою AP1000 та окремих об'єктів на ній.

Для території 100 км зони ХАЕС було підготовлено цифрові картографічні матеріали (карта рельєфу, басейнова карта з кутами схилів, карта підстильної поверхні, карта типів ґрунтів) М 1 : 200000 з коротким описом особливостей місцевих умов на регіональному рівні. Проведено групування та класифікація екологічних параметрів (ґрунту, підстильної поверхні, висот місцевості) за радіоекологічними характеристиками. Створено тематичну карту оцінки радіоекологічної критичності території 100 × 100 км зони навколо ХАЕС з виділенням найбільш критичних територій, розташованих в основному в заплавах річок з лугово-болотною рослинністю, пасовищами та городами з торфовими та луговими ґрунтами (рис. 2).

На основі даних метеорологічних спостережень за період 2013–2023 рр. у районі розташування ХАЕС, отриманих автоматичною погодною станцією AWS-310 фірми Vaisala (Фінляндія), що входить до складу АСКРО, засобами Access 2007 та ГІС MapInfo 15.2 було створено базу даних метеорологічних параметрів, що складається з 2 243 713 записів. Додатково були використані довідкові матеріали з клімату та стихійних явищ, дані спостережень за останні 40 років (1981–2022 рр.), що надаються Національним управлінням з аеронавтики і дослідження космічного простору (НАСА) США.



Рис. 2. Межа СЗ3 ХАЕС (1), визначена в результаті проведених розрахунків згідно з вимогами, та межа існуючої СЗ3 радіусом 2700 м (2)

За результатами фізико-статистичного аналізу даних дано коротку характеристику кліматичних умов району майданчика ХАЕС за період 2013–2023 рр. порівняно з попередніми дослідженнями за 1961–1990 рр., 1985–2005 рр., 1981–2022 рр. Відзначається підвищення середньорічної температури повітря на 0,09 °C /10 років, збільшення її абсолютних максимумів та мінімумів, зменшення середньорічних сум атмосферних опадів з 714 мм (1961–1990 рр.) до 444,5 мм (2013–2023 рр.). Вітровий режим, що визначається сумарною повторюваністю швидкості та напрямів вітру за класами стійкості атмосфери, не зазнав істотних змін. Розраховано матрицю повторюваності метеорологічних умов, які характеризуються різними значеннями напрямку вітру (румбу), швидкості вітру, категорії стійкості атмосфери та інтенсивності опадів для розрахунку річних (інтегральних) оцінок забруднення навколишнього середовища в районі розташування ХАЕС в умовах її нормальної експлуатації з використанням моделі атмосферного перенесення.

Сформовано набір сценаріїв радіоактивних викидів з окремих блоків ХАЕС, який включає:

- 1) оцінки викидів радіонуклідів з енергоблоків № 1 та № 2 з реакторами ВВЕР-1000 за нормальної експлуатації (фактичні дані за 2013–2023 рр.);
- 2) оцінки викидів радіонуклідів з енергоблоків № 3 та № 4 з реакторами ВВЕР-1000 за нормальної експлуатації (проектна інформація);
- 3) оцінки викидів радіонуклідів з енергоблоків № 5 та № 6 з реакторами АР1000 за нормальної експлуатації (проектна інформація);
- 4) сценарії викидів за порушень умов нормальної експлуатації енергоблоків із реакторними установками ВВЕР-1000 та АР1000;
- 5) сценарії викидів радіонуклідів в умовах проектних та запроектованих аварій на енергоблоках ХАЕС із реакторними установками ВВЕР-1000 та АР1000. Для кожного сценарію визначено перелік основних дозоутворюючих нуклідів та їх загальну активність у викиді, наведено оцінки ефективної висоти викиду та його тривалості (для випадку радіаційних аварій).

#### **Співпраця з національними та закордонними науковими організаціями**

ІПБ АЕС за договорами про науково-технічне співробітництво взаємодіє з багатьма науковими центрами та проектними організаціями в Україні та за її межами.

Інститут має угоди про співробітництво з такими міжнародними організаціями та компаніями як: МАГАТЕ, Підрозділ з проблем безпеки НАТО (NATO Emerging Security Challenges Division, США), Відділ безпеки та радіації Дослідницького центру Юліха (Research Center Jülich, Department for Safety and Radiation), European Commission Joint Research Centre — JRC Geel/Belgium (Бельгія), Європейська комісія (ЄС), Інститут матеріалів та лазерів Fraunhofer IWS, 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), Ризький технічний Університет (Латвія), Арктичний університет Норвегії (Норвегія), Університет міста Тарту (Естонія), Литовський інститут енергетики (Литва), Товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «Китайсько-українські ядерно-енергетичні технології Сянчу», компанія Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd., Муніципалітет міста Циндао (КНР), Університет Південної Кароліни, Університет штату Східного Теннессі, Університет Клемонса, Університет Каліфорнії, Університет Берклі, Брістольський університет Королівської інженерної академії Великої Британії (Університет Брістоля, Велика Британія), Університет Упсала (Швеція) та інші.

У 2024 р. продовжується виконання наукового проекту МАГАТЕ «Розробка та застосування ізотопних методів для ефективного управління водними ресурсами в гірничих районах» (Development and Application of Isotope Techniques for Efficient Water Resources Management in Mining Areas, Research Contract No: F33026). Мета роботи — оцінка впливу підприємств Калусько-Голинського родовища калійних солей на засолення питного водоносного горизонту за допомогою ізотопного методу та математичного моделювання техногенно-геологічних умов. Під час виконання досліджень, зокрема, розроблено тривимірну математичну модель гідрогеологічних умов для прогнозу розповсюдження хімічного забруднення від джерел засолення до Добрівлянського водозабору підземних вод. Методами математичного моделювання визначено розподіл у підземних і поверхневих водах важких ізотопів водню, кисню й індикаторів забруднення.

В рамках угоди про співробітництво з компанією Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. групою працівників ІПБ АЕС НАН України спільно

з китайськими інженерами розроблено обладнання, призначене для автоматичної роботи з розрізання та підготовки кромки головного циркуляційного трубопроводу (ГЦТ) парогенератора вертикального типу на АЕС з реакторами PWR при заміні парогенератора. Цей пристрій дає змогу виконувати роботи з демонтажу головного циркуляційного трубопроводу дистанційно, в автоматичному режимі, забезпечуючи безпеку персоналу під час роботи в умовах іонізуючого випромінювання (рис. 3).

У рамках угоди між Організацією Північноатлантичного договору та Урядом України про статус представництва НАТО в Україні, ІПБ АЕС разом із партнером — Університетом Брістоля — залучений до спільного проекту Підрозділу з проблем безпеки НАТО «Покращення виявлення радіації для ядерної безпеки та під час реагування на інциденти» програми «Наука заради миру та безпеки» (NATO Emerging Security Challenges Division, Science for Peace and Security Programme, project “Enhanced radiation detection for nuclear security and incident response”, No: G5913). Мета — розроблення ефективних методів визначення радіаційних умов, розвиток робототехнічних систем і цифрових вузлів комунікації для спільних наукових досліджень і використання результатів у цій галузі. Під час виконання роботи, зокрема, розроблено нову методику відбору проб радіоактивних матеріалів, що сприяє поширенню використання робототехніки для дослідження радіаційної безпеки об'єктів атомної енергетики. Результати надалі будуть використані для моніторингу джерел іонізуючого випромінювання на ЧАЕС.

З 2021 р. ІПБ АЕС залучений до проекту Балтійської дослідної програми «Інновації у виробництві бетону для застосування під час поводження з небезпечними відходами» (Baltic Research programme project “Innovation in concrete design for hazardous waste management applications (ICONDE)”). Цей проект включає партнерів з Латвії (Ризький технічний Університет), Норвегії (Арктичний університет Норвегії), Естонії (Університет міста Тарту) та Литви (Литовський інститут енергетики). Основні цілі проекту:

- 1) сприяння економіці повторного використання відходів шляхом застосування сланцевої золи, промислових відходів, що утворюються під час виробництва енергії в Естонії, як додаткового цементного матеріалу у виробництві бетону;
- 2) покращення механічних властивостей бетону шляхом додавання дисперсних волокон;
- 3) збільшення здатності матеріалу захищати від нейтронів за допомогою базальтових волокон, наповнених оксидом бору.

Ризький технічний університет планує залучити ІПБ АЕС як субконтрактну організацію для виконання нейтронного експерименту з дослідження бетонних зразків армованих базальт-борною фіброю на Рн-Ве джерелі нейтронів. У 2024 р. співробітник ІПБ АЕС НАН України завершив стажування у Ризькому технічному університеті в рамках цього проекту.

Співробітники ІПБ АЕС НАН України як спостерігачі беруть участь у міжнародному проекті, який підтримується Європейською комісією, «Щодо вдосконалення оцінки показників безпеки довгостро-

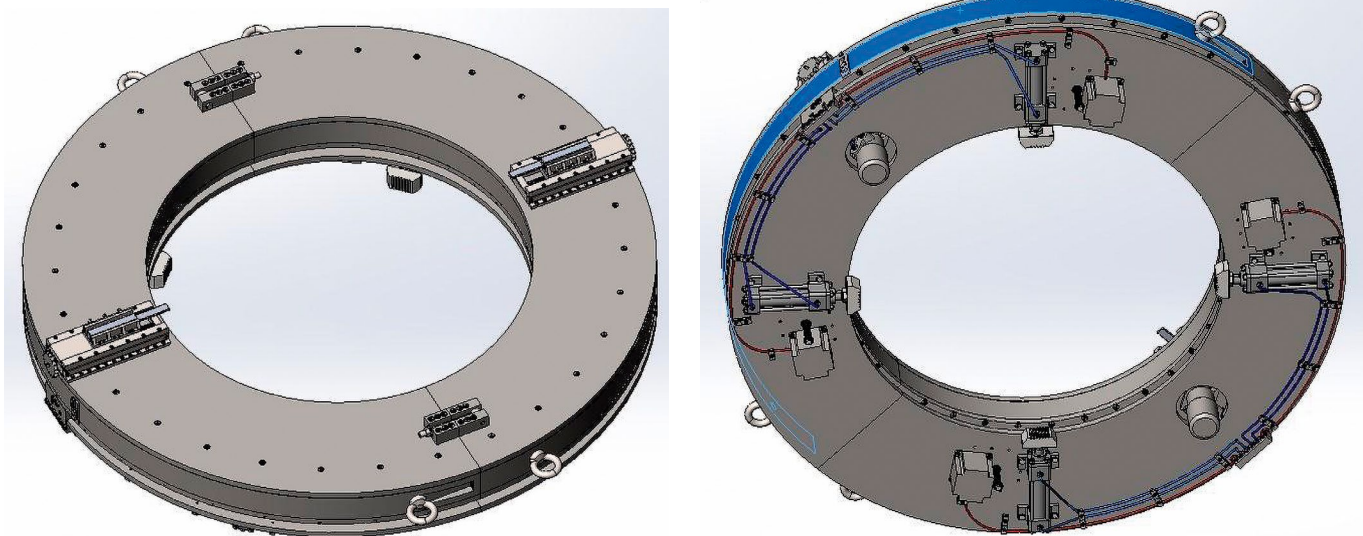


Рис. 3. Загальний вигляд зверху та знизу пристрою для відрізки ГЦТ

кової експлуатації ядерних цивільних інженерних споруд» (European Commission supported H2020—Euratom-1 project “Towards improved assessment of safety performance for long-term operation of nuclear civil engineering structures (ACES)”). Мета — дослідження впливу високих флюєнсів нейтронів на міцність бетону біологічного захисту легководяних реакторів. Під час виконання проекту, зокрема, досліджено вплив гамма-випромінювання на бетон за умов локального підвищення температури бетону та, як наслідок, пришвидшеного утворення мікротріщин, що є основною причиною деградації бетону з часом. За допомогою сучасних тривимірних моделей визначено закономірності перенесення нейтронів і гамма-квантів, що дозволило кількісно оцінити вплив руйнівних факторів на структуру бетону.

У рамках договору між ІПБ АЕС та South West Nuclear Hub/School of Physics University of Bristol (Велика Британія) виконується робота «Випробування експериментальних пристроїв для оцінки радіаційних умов об'єктів на ЧАЕС і НБК». Мета роботи – дослідження радіаційно небезпечних об'єктів ЧАЕС за допомогою нового унікального обладнання. Під час виконання роботи, зокрема, з використанням комбінованої системи тривимірного сканування Light Detection and Ranging (LiDAR), встановленої на самохідному роботизованому пристрої Boston Dynamics “Spot”, створено візуальні об'ємні зображення («хмари» або сукупності точок) важкодоступних приміщень Чорнобильської станції.

У рамках трьохстороннього меморандуму про науково-технічне співробітництво між ІПБ АЕС НАН України, Шведською агенцією оборонних досліджень (FOI) та Університетом Упсала (Швеція) продовжується виконання роботи «Моніторинг ксенону в просторі під НБК». Мета — розробка методології та технології моніторингу ізотопів ксенону в об'єкті «Укриття» для підтвердження ефективності роботи системи ядерної безпеки комплексу НБК-ОУ.

Також ІПБ АЕС НАН України цього року долучився до проекту RRADEW («Стійкість до радіологічних подій у воєнний час») у межах найбільшої програми ЄС з фінансування науки та інновацій Horizon Europe. Проект RRADEW має на меті покращити системи готовності, реагування та відновлення у відповідь на надзвичайні радіаційні ситуації в контексті війни Росії проти України.

Починаючи з 2015 р. інститут бере активну участь у роботах з подолання наслідків на АЕС «Фукусіма-1» у групі міжнародних організацій, які були запрошені

урядом Японії. У 2024 р. ІПБ АЕС НАН України брав участь у проєкті FACE, який є конструктивним та інтегрованим розширенням уже завершених проєктів (BSAF, PreADES та ARC-F), пов'язаних з аналізом аварії на АЕС «Фукусіма-Дайїчі» та підготовкою операцій із вилучення залишків палива. Виходячи з потреб Японії та очікуваних потреб партнерів ініціативи, проєкт FACE реалізується з такими загальними цілями:

- уточнення інтерпретації сценаріїв аварії на АЕС «Фукусіма-1», включаючи наслідки заходів щодо управління аварією відповідно до висновків, отриманих під час обстеження станції;

- уточнення поточних можливостей та напрямів подальшого вдосконалення моделювання розвитку важких аварій;

- інтерпретація результатів аналізу урановмісних частинок, зібраних на місці, та визначення відповідних методів та процедур гарячого лабораторного аналізу для майбутнього застосування під час аналізу залишків палива;

- підтримка каналів зв'язку між японськими організаціями та міжнародними партнерами для обміну даними, інформацією та досвідом з метою вирішення проблем, пов'язаних з виведенням з експлуатації та демонтажем АЕС «Фукусіма-1», а також підвищення безпеки реакторів у різних країнах.

Виходячи з цих загальних цілей, проєкт фокусується на трьох основних сферах роботи. Перша область — це поглиблені обговорення та аналіз розвитку аварії у пошкоджених блоках та пов'язаної з цим поведінки продуктів поділу та згоряння водню. Ця область розглядає технічні питання, виявлені в ході недавніх досліджень АЕС «Фукусіма-Дайїчі», які далекі від попередніх знань, та кількісну оцінку невизначеностей у моделюванні важких аварій (прогресування розплаву, взаємодія розплавленого коріуму з бетоном (MCCI), проблеми продуктів поділу та згоряння водню.

Друга область пов'язана з характеристикою частинок, що містять уран, та створенням методів для майбутнього аналізу залишків палива. Друга область охоплює дослідження можливих механізмів утворення частинок, що містять уран, зібраних на місці. Це сприятиме розумінню розвитку аварії та того, які технології аналізу залишків палива та методи оцінки можуть бути найбільш корисними. Міжнародна кругова аналітична діяльність з імітаторами залишків також входить до цієї галузі.

Учасники: Японія, Канада, Європейська комісія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Корея, Іспанія,

Швеція, Швейцарія, Україна, Великобританія, США. Період проєкту липень 2022 р. — липень 2026 р.

Для зміцнення позицій України на міжнародній науковій арені ІПБ АЕС НАН України долучився до програми співпраці F-REI (Fukushima Institute for Research, Education and Innovation) разом з Науково-дослідним інститутом ядерної інженерії Фукуйського університету в Японії (Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui). У рамках співпраці будуть проведені дослідження, спрямовані на розробку нових політик, які сприятимуть вирішенню питань відновлення після ядерної катастрофи, а також накопиченню та використанню досвіду та знань щодо ядерних інцидентів для їх запобігання у майбутньому.

Продовжується робота над проєктом з протидії дезінформації УНТЦ 7109с Encouraging Journalists for Countering the Disinformation in Nuclear and Radiation Safety («Заохочення журналістів до протидії дезінформації у сфері ядерної та радіаційної безпеки»). Проведено 5 науково-популярних подій, включаючи лекцію для проєкту «Нобілітет», коментарі для журналістів, залучення співробітників ІПБ АЕС до менторської діяльності.

Також продовжуються роботи над проєктом RRADEW — участь у щомісячних координаційних зустрічах. У межах робочого пакету 0 — внесено коментарі до Data management plan: у межах робочого пакету 1 — продовжено роботу над сценаріями розвитку подій у ядерній сфері під час війни; у межах робочого пакету 3 — проведено 4 інтерв'ю зі стейкхолдерами; у межах роботи над робочим пакетом 4 — розпочато роботу щодо створення силабусу курсу з поводження з радіаційно небезпечними об'єктами для спеціалістів протимінної діяльності. У межах бюджетної тематики: за запитом 7/7/9-15 — робота з літературою. Зразки для метагеномного аналізу мікробіомів, що були направлені до США, дали змогу долучитися до міжнародного консорціуму MetaSUB Consortium (Metagenomics and Metadesign of the Subways and Urban Biomes, USA) — міждисциплінарної ініціативи, яка об'єднує експертів у галузі геноміки, аналізу даних та інженерії.

### Науково-організаційна діяльність

У 2024 р. Указом Президента України від 18 травня 2024 р. № 338/2024 директору ІПБ АЕС Носовському Анатолію Володимировичу присвоєно почесне звання «Заслужений діяч науки і техніки України» [1].

За особливу участь у ліквідації наслідків Чорнобильської трагедії, з нагоди роковин аварії на ЧАЕС, високий професіоналізм, самовіддану працю та значний внесок у зміцнення безпеки атомних електростанцій України нагороджені Почесною грамотою Президії НАН України 4 працівники інституту та відзначено Подякою Президії НАН України 3 працівники. За наполегливу творчу працю та особистий внесок у розвиток наукових досліджень впливу життєдіяльності мікроорганізмів на біологічне виловування радіонуклідів на забруднених ґрунтах нагороджено Почесною грамотою Президії НАН України 1 працівника. За активну участь та вагомі досягнення у науковій діяльності Грамотою Президії НАН України та Ради молодих вчених НАН України нагороджений 1 працівник. Подякою НАН України нагороджений 1 працівник. За вагомий особистий внесок у діяльність Українського ядерного товариства, спрямовану на розвиток та розбудову атомної галузі України, нагороджений Грамотою УкрЯТ 1 працівник.

В ІПБ АЕС НАН України приділяється значна увага підвищенню кваліфікації наукових кадрів. З метою інтеграції освіти, науки та інновацій інститут підписав договір про співробітництво з Київським академічним університетом НАН України та МОН України щодо науково-освітньої діяльності на основі принципів поєднання освіти, науки й інновацій для міждисциплінарної підготовки висококваліфікованих спеціалістів для наукових установ, закладів вищої освіти та наукоємних галузей виробництва. У 2024 р., відповідно до розпорядження Президії НАН України, у межах цього співробітництва створено нову кафедру «Фізика ядерних установок та радіоекології», яка здійснює підготовку фахівців на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти за спеціальностями 143 — Атомна енергетика, 101 — Екологія. Розроблено відповідні освітні програми підготовки, які у звітному році пройшли рецензування та погодження. Згідно з наказом Київського академічного університету № 75-од від 23 липня 2024 р. до аспірантури було прийнято четверо здобувачів ступеня доктора філософії.

Науковці інституту беруть участь у проведенні навчання на базі філії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ імені І. Сікорського»). Проведено курси підвищення кваліфікації «Зняття з експлуатації ядерних установок» у рамках існуючої в НТУУ «КПІ імені І. Сікорського» спеціальності «Атомна енергетика».

Підписано «Меморандум про співпрацю» між Національною академією внутрішніх справ України та ІПБ АЕС НАН України щодо підвищення ядерної та радіаційної безпеки працівників національної поліції в умовах воєнного стану та післявоєнного відновлення.

На сьогодні 7 фахівців ІПБ АЕС працюють над дисертаційними роботами на здобуття наукового ступеня доктора наук, 12 — над роботами на здобуття наукового ступеня доктора філософії, 5 працівників навчаються в аспірантурі, 8 працівників отримують фахову вищу або другу вищу освіту у провідних вищих навчальних закладах України.

У 2024 р. 3 співробітники ІПБ АЕС НАН України здійснювали керівництво аспірантами. Під керівництвом дослідника ІПБ АЕС — академіка НАН України А. В. Носовського — 2 магістри з НТУУ «КПІ імені І. Сікорського» успішно захистили магістерські роботи. Цього ж року 3 студенти НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» та 2 студенти КНУ імені Тараса Шевченка проходили дипломну практику в ІПБ АЕС. Троє з них виконували дипломні роботи, один — працював на інженерно-технічній посаді з оплатою.

Один працівник інституту посів III місце у конкурсі для журналістів «Атомна енергетика України: вчора, сьогодні, завтра», організованому АТ «НАЕК «Енергоатом»».

У 2024 р. 2 працівники одержали наукове звання «старший дослідник». Також 2 працівники одержали другу вищу освіту.

За ініціати́ви молоді та підтримки дирекції в ІПБ АЕС НАН України заснована рада молодих учених, яка на умовах добровільного членства об'єднує молодь (віком до 35 років включно), яка займається науковою діяльністю та сприяє розвитку науки в Україні. Загальна кількість членів ради у 2024 р. склала 9 осіб. За звітний період проведено 6 засідань ради. Д. т. н., с. д. К. В. Сімейко є заступником голови Ради молодих вчених при Відділенні енергетики та енергетичних технологій НАН України.

Важливим джерелом поповнення інженерно-технічних кадрів ІПБ АЕС НАН України залишаються молоді спеціалісти з вищою освітою. У 2024 р. на роботу було прийнято 2 спеціалістів віком до 35 років. У наукових підрозділах інституту вони залучаються до практичного виконання дослідницьких робіт, здобуття навичок у межах госпдоговірної та бюджетної тематики, а також беруть участь у міжнародних тренінгах і конференціях. Зокрема, молодий вчений ІПБ АЕС пройшов сертифікатне навчання в межах ініціати́ви з технічної оцінки ядерних об'єктів, організо-

ваної Брістольським університетом спільно з GNSP. Інший молодий дослідник бере участь у проєкті МАГАТЕ з розробки ізотопних методів для управління водними ресурсами в гірничих районах.

Станом на 31.12.2024 р. в інституті працює 9 молодих учених, серед яких 2 — доктори наук, 1 — кандидат наук (доктор філософії), 6 — без наукового ступеня. Четверо з них є стипендіатами: 2 отримують стипендії Президента України для молодих учених, ще 2 — стипендії НАН України.

У звітному році інститутом організовано або співорганізовано низку важливих наукових заходів: засідання науково-аналітичної секції громадської організації «Українське ядерне товариство» (ГО «УкрЯТ») (27 лютого, м. Київ), на якому обговорено участь українських учених у грантах Євратом та можливості застосування штучного інтелекту в ядерній галузі;

IX Міжнародну конференцію «Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDECO'2024 (24–28 квітня, м. Славутич), що об'єднала 170 учасників та була присвячена проблемам зняття з експлуатації та поводження з РАВ та ВЯП;

VI Міжнародну конференцію «Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику» (26–27 вересня, м. Київ), в якій взяли участь понад 160 фахівців. Програма включала пленарні та секційні доповіді, а також експертну дискусію щодо безпеки атомної енергетики в умовах збройної агресії (рис. 4); засідання науково-аналітичної секції ГО «УкрЯТ» у м. Славутич (2 грудня), присвячене перспективам міжнародної співпраці в галузі ядерної енергетики та питанням радіаційного контролю.

Співробітники ІПБ АЕС у 2024 р. активно долучалися до публічної наукової комунікації: взяли участь у щонайменше чотирьох телепередачах (зокрема, «Апостроф TV», «24 канал», FREEDOM), надали численні інтерв'ю з питань ядерної безпеки, війни Росії проти України, загроз на Запорізькій АЕС та уроків Чорнобиля. Виступи опубліковані у засобах масової інформації: «ФОКУС», Громадське радіо, на YouTube та в інформаційних ресурсах НАН України [2].

У 2024 р. було видано 3 книжкові видання, авторами яких стали співробітники ІПБ АЕС НАН України (рис. 5):

Носовський А. Ліричний альбом: спогади науковця / А. Носовський. — Київ : ІПБ АЕС НАН України, 2024. — 632 с.



Рис. 4. VI Міжнародна конференція «Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику»

Куценко Б. Л. Про ядерну зброю популярно / Б. Л. Куценко. — Київ : ІПБ АЕС НАН України, 2024. — 168 с.

Яценко Ю. В. Авіаційна метеорологія: навчально-методичний комплекс / Ю. В. Яценко. — Київ, 2024. — 97 с.

Ще два книжкові видання підготовлено та прийнято до друку у видавництві:

Скорбун А. Д. Комп'ютерна (обчислювальна) статистика. Методи Монте-Карло в задачах оцінки невизначеності результатів вимірювань / А. Д. Скорбун. — Чорнобиль (Київська обл.) : ІПБ АЕС НАН України, 2024. — 170 с.

Зняття з експлуатації атомних електростанцій / А. В. Носовський, В. К. Кучинський, А. І. Савін, М. В. Савельєв, Л. М. Салій. — ІПБ АЕС НАН України, 2024. — 616 с.

За участі співробітників ІПБ АЕС підготовлено електронне видання Збірник тез VI Міжнародної

конференції «Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику» (26–27 вересня 2024 р., м. Київ). Під заг. ред. К. В. Сімейка, А. В. Носовського, Д. А. Лавренова [електронне джерело]. Київ. — 225 с.

Крім того, молоді науковці ІПБ АЕС у 2024 р. стали співавторами кількох розділів у зарубіжних монографіях, зокрема у виданнях серії Lecture Notes in Networks and Systems (Springer) та Springer Proceedings in Physics, які містять результати конференцій Liquid Radioactive Waste Treatment: Ukrainian Context (LWRT) 2022 та Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS) 2023.

З 2018 р. ІПБ АЕС є співзасновником журналу «Ядерна енергетика та довкілля» (ISSN 2311-8253), що видається спільно з ГО «УкрЯТ». Відповідно до Наказу МОН України № 1643 від 28.12.2019 р. журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України [3]. Журнал індексується в базах даних Index Copernicus, Google Scholar, INIS, ResearchBib.



Рис. 5. Книжкові видання співробітників ІПБ АЕС НАН України, підготовлені у 2024 р.

В інституті продовжує розвиватися напрям трансферу технологій, інноваційної діяльності та охорони інтелектуальної власності. У 2024 р. співробітниками ІПБ АЕС НАН України подано 3 заявки на винаходи та корисні моделі та отримано 5 патентів.

У 2024 р. співробітники ІПБ АЕС опублікували 98 наукових праць, з яких 26 — у виданнях, індексованих у Web of Science та Scopus. З них 6 публікацій увійшли до видань квартилів Q1/Q2, а 16 — до Q3/Q4 за класифікацією Scimago. Також підготовлено 4 розділи у монографіях, у тому числі 1 виданий за кордоном.

ІПБ АЕС НАН України має офіційний веб-сайт [4], на якому висвітлюються основні результати наукової діяльності структурних підрозділів, виконувани роботи в рамках міжнародного співробітництва, монографії й архів випусків науково-технічного збірника «Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля». Інтернет-сайт постійно оновлюється та доповнюється найактуальнішою інформацією. Інститутом підтримується також робота сайту науково-технічного журналу «Ядерна енергетика та довкілля», що має україномовну та англomовну версії. Сайт журналу містить загальну інформацію про видання та його політку, архів усіх випусків та вимоги до авторів.

### **Подальші плани та перспективи розвитку**

Надалі інститут пропонує продовження дослідження за основними напрямками діяльності, а саме: перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему;

безпеку експлуатації ядерних установок;  
зняття з експлуатації ядерних установок;  
поводження з ВЯП та РАВ.

Національна академія наук України погодила передачу Державної науково-дослідної установи «Чорнобильський центр» як цілісного майнового комплексу на баланс ІПБ АЕС НАН України («Про передачу об'єктів державної та комунальної власності» від 21.09.1998 р. № 1482). На базі Чорнобильського центру планується створити нове відділення ІПБ АЕС у м. Славутич.

Надалі актуальним завданням є проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з ліквідації наслідків влучання БПЛА та пошкодження покриття арки НБК-ОУ, яке сталося 14.02.2025 р.

У рамках підписаного «Меморандуму про співпрацю» між Національною академією внутрішніх

справ України та ІПБ АЕС НАН України задля підвищення ядерної та радіаційної безпеки працівників національної поліції в умовах воєнного стану та післявоєнного відновлення» ІПБ АЕС НАН України планує долучатися до програм підготовки Національної поліції України щодо забезпечення ядерної та радіаційної безпеки поліцейських при виявленні джерел іонізуючого випромінювання.

### **Висновки**

ІПБ АЕС НАН України залишається єдиною науковою установою в Україні, яка починаючи з 1992 р. забезпечує науково-технічну підтримку робіт зі зняття з експлуатації енергоблоків ЧАЕС та перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему. Соціальне значення робіт, що виконуються, полягає в захисті людини та довкілля від потенційних ризиків, пов'язаних з існуванням радіаційно небезпечного зруйнованого четвертого енергоблоку, 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.

Завдяки підтримці ЄС та УНТЦ розпочато роботи з відновлення лабораторного корпусу в Чорнобилі, пошкодженого в результаті окупації російськими військами в 2022 р.

У ІПБ АЕС НАН України створена волонтерська група, яка допомагає співробітникам інституту, які захищають Україну на передовій, а також іншим бригадам ЗСУ та Сил оборони України. Її діяльність полягає в допомозі у закупівлі БПЛА, РЕБу, повітряних компресорів, кодр, приладів нічного бачення та ін. Слід зазначити, що під час проведення VI Міжнародної конференції «Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику», одним із головних організаторів якої є інститут, завдяки благодійному збору коштів був куплений РЕБ для 37 Бригади морської піхоти ЗСУ.

Таким чином, незважаючи на об'єктивні складнощі, ІПБ АЕС НАН України докладає всіх можливих зусиль для збереження науково-технічного потенціалу та виконання важливих завдань відповідно до основних напрямів своєї діяльності, а також керується стратегією розвитку планує стати провідною організацією України з науково-технічного супроводу діяльності з мирного використання ядерної енергії.

**Список використаної літератури**

1. Указ Президента України № 338/2024 Про відзначення державними нагородами України з нагоди Дня науки. – Режим доступу: [https://www.president.gov.ua/documents/3382024-50873?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR2pse4CqAdWtLznhd\\_CpWGrXsARThPPLOUg9J2UmcroYGsD4zURhBhOYwM\\_aem\\_Adkc\\_I\\_7flmnHtPuPJMjLkCiCtENehsvPK0GRhNZ5uwHWWHVKYfpdmInYRpkQAJiLN0EWkfx4tGHlcpWHmikpljp](https://www.president.gov.ua/documents/3382024-50873?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR2pse4CqAdWtLznhd_CpWGrXsARThPPLOUg9J2UmcroYGsD4zURhBhOYwM_aem_Adkc_I_7flmnHtPuPJMjLkCiCtENehsvPK0GRhNZ5uwHWWHVKYfpdmInYRpkQAJiLN0EWkfx4tGHlcpWHmikpljp).
2. Звіт про діяльність Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2024 році / ІПБ АЕС НАН України. – Київ, 2024. – 186 с.
3. Ядерна енергетика та довкілля // ІАС «Українська наукова періодика». Реєстр наукових видань України. – Режим доступу: <https://nfv.ukrintei.ua/view/5b1925e37847426a2d0ab775>.
4. Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України: офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.ispnpp.kiev.ua>.

Results were used to support dismantling operations and inform annual safety reports.

The Institute also advanced reactor safety by developing new diagnostic systems for VVER-1000 reactors, including models of neutron-physical and thermohydraulic processes. Research focused on improving the safety and efficiency of nuclear fuel usage, optimizing the operation of electrical systems, and enhancing generator reliability.

In support of future nuclear power development, the ISP NPP evaluated the environmental impact of new nuclear facilities, including AP1000 reactors. Comparative analyses of AP1000 and VVER-1000 designs were performed, alongside studies of siting criteria, meteorological data, and release scenarios for the Khmelnytskyi NPP.

The ISP NPP is actively engaged in international cooperation through joint projects with the IAEA, NATO, and European partners, focusing on radioactive waste management, radiation monitoring, and nuclear decommissioning. The Institute also contributes to education and training through academic partnerships, graduate programs, and international research initiatives. These efforts reinforce capabilities of Ukraine in nuclear safety and environmental protection.

**I. V. Kutsyna, V. S. Havrylenko, K. V. Simeiko**

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

**The Work Results of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the NAS of Ukraine in 2024**

The Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants (ISP NPP) of the National Academy of Sciences of Ukraine is a state scientific institution engaged in fundamental and applied research in the field of nuclear and radiation safety. In 2024, the Institute continued its work on the transformation of the Shelter object into an ecologically safe system. This included monitoring temperature and humidity conditions, analyzing radiation levels and neutron flux, and modeling the behavior of fuel-containing materials (FCM). Updated 3D models and FCM databases were developed to improve safety management.

**References**

1. Decree of the President of Ukraine No. 338/2024 On the awarding of state awards of Ukraine on the occasion of Science Day. Available at: [https://www.president.gov.ua/documents/3382024-50873?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR2pse4CqAdWtLznhd\\_CpWGrXsARThPPLOUg9J2UmcroYGsD4zURhBhOYwM\\_aem\\_Adkc\\_I\\_7flmnHtPuPJMjLkCiCtENehsvPK0GRhNZ5uwHWWHVKYfpdmInYRpkQAJiLN0EWkfx4tGHlcpWHmikpljp](https://www.president.gov.ua/documents/3382024-50873?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR2pse4CqAdWtLznhd_CpWGrXsARThPPLOUg9J2UmcroYGsD4zURhBhOYwM_aem_Adkc_I_7flmnHtPuPJMjLkCiCtENehsvPK0GRhNZ5uwHWWHVKYfpdmInYRpkQAJiLN0EWkfx4tGHlcpWHmikpljp).
2. Report on The Work Results of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the NAS of Ukraine in 2024. Kyiv: ISP NPP, NAS of Ukraine, 2024, 186 p. (in Ukr.)
3. Nuclear Power and the Environment: Ukrainian Scientific Periodicals. Register of Scientific Publications of Ukraine. (in Ukr.)
4. Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the NAS of Ukraine: official website. Available at: <http://www.ispnpp.kiev.ua>. (in Ukr.)

Надійшла / Received 15.05.2025

Рекомендована до друку / Accepted 26.05.2025