УДК 621.039 doi.org/10.31717/2311-8253.26.2.8

М. О. Бережок
Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна
ORCID: 0009-0001-6088-1132

В. С. Гавриленко
Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна
ORCID: 0000-0003-0325-7824

І. В. Куцина
Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна
ORCID: 0000-0001-8655-1724

Результати діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України у 2025 р.

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

Узагальнено результати науково-дослідної діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2025 р. в умовах тривалого воєнного впливу. Розглянуто дослідження безпеки комплексу «Новий безпечний конфайнмент — об'єкт «Укриття», розвитку підходів до експлуатації ядерних установок, поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними матеріалами, а також радіоекологічного моніторингу. Особливу увагу приділено впровадженню прогнозних методів діагностики, інтегрованих систем моніторингу та міжнародній співпраці. Показано, що отримані результати формують науково-технічну основу для підвищення стійкості ядерної енергетики та управління радіаційними ризиками в умовах воєнних викликів.

Вступ

Сучасний розвиток ядерної енергетики супроводжується зростанням вимог до забезпечення ядерної та радіаційної безпеки, що зумовлено ускладненням технологій, розробкою й впровадженням нових реакторних установок і необхідністю довгострокового управління наслідками техногенних аварій. Для України ці виклики мають особливе значення, оскільки функціонування ядерної енергетики поєднується з підтриманням безпечного стану об'єкта «Укриття» та інших радіаційно небезпечних об'єктів Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ).

Додатковим визначальним фактором стали воєнні впливи, які суттєво ускладнили умови виконання досліджень, доступ до об'єктів та реалізацію інженерних рішень. Повномасштабна збройна агресія проти України актуалізувала необхідність адаптації підходів до забезпечення ядерної та радіаційної безпеки в умовах підвищених ризиків, обмежених ресурсів і потенційних загроз критичній інфраструктурі. У цих умовах ключову роль відіграють наукові дослідження, спрямовані на розвиток методів оцінки безпеки, прогнозування поведінки радіаційно небезпечних систем і обґрунтування технічних рішень. Центральне місце в цій діяльності посідає Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України), який забезпечує науково-технічний супровід у сфері мирного використання

© М. О. Бережок, В. С. Гавриленко, І. В. Куцина, 2026. Ліцензія CC BY 4.0

ядерної енергії та бере участь у формуванні рішень державного рівня.

Інститут є єдиною в Україні науковою установою, що виконує функції наукового керівника робіт із забезпечення безпечної експлуатації комплексу «Новий безпечний конфайнмент — об'єкт «Укриття» (НБК-ОУ), перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему та зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) відповідно до спільного рішення Президії НАН України та Державного агентства України з управління зоною відчуження [1]. Діяльність установи базується на поєднанні фундаментальних і прикладних досліджень, результати яких безпосередньо впроваджуються у виробничу практику. ІПБ АЕС НАН України отримав ліцензії Державної інспекції ядерного регулювання України, видані відповідно до рішень Ліцензійної комісії Держатомрегулювання, що охоплюють використання джерел іонізуючого випромінювання, перевезення радіоактивних матеріалів та спеціального дозволу Держаного агентства України з управління зоною відчуження щодо провадження діяльності в зоні відчуження. Наявність зазначених ліцензій та дозволів підтверджує відповідність діяльності інституту вимогам національного законодавства у сфері ядерної та радіаційної безпеки та забезпечує правові підстави для виконання науково-технічних робіт на радіаційно небезпечних об'єктах.

Разом з тим інститут здійснює свою діяльність відповідно до впровадженої системи управління якістю, сертифікованої міжнародною організацією Bureau Veritas на відповідність вимогам стандарту ISO 9001:2015, що підтверджує високий рівень організації науково-технічних робіт та їх відповідність міжнародним практикам [2]. Інститут також включений до переліку постачальників АТ «НАЕК "Енергоатом"», що свідчить про визнання його компетенцій на рівні експлуатуючої організації ядерної енергетики України [3].

За результатами засідання експертної комісії Міністерства освіти і науки (МОН) України з проведення державної атестації наукових установ від 28 листопада 2024 р. [4] ІПБ АЕС НАН України віднесено до найвищої класифікаційної групи «А», до якої входять наукові установи-лідери, що мають високий рівень отриманих результатів діяльності, визнання в Україні і світі, демонструють високий науковий потенціал та ефективно його використовують для подальшого розвитку, а також інтегровані у світовий науковий простір та Європейський дослідницький простір

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО

про державну атестацію наукової установи

Серія ДА № 0388 Дата видачі 15 жовтня 2025 року

Цим свідоцтвом визнається, що

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України

Ідентифікаційний код за ЄДРПОУ 13723792

за результатами державної атестації, проведеної у 2025 році, визнається таким, що пройшов державну атестацію.

Наукову установу за напрямом "Інженерно-технологічний" віднесено до групи А.

Термін дії свідоцтва до 31 грудня 2030 року.

Заступник Міністра Денис КУРБАТОВ

Рис. 1. Свідоцтво про державну атестацію ІПБ АЕС НАН України

з урахуванням національних інтересів (рис. 1). Відповідне рішення було прийнято Наказом МОН України № 1360 від 15 жовтня 2025 р.

У 2025 р. наукова діяльність інституту здійснювалася в умовах суттєвих обмежень, пов'язаних із безпековою ситуацією, логістичними труднощами та необхідністю відновлення матеріально-технічної бази після наслідків окупації ЧЗВ. Зокрема, у 2022 р. втрат зазнала лабораторна та матеріальна інфраструктура, що використовувалася для виконання експериментальних і розрахункових досліджень. У звітному періоді забезпечено часткове відновлення експериментальної бази та функціональності ключових інформаційно-аналітичних систем, що дозволило відновити виконання пріоритетних наукових робіт і зберегти безперервність науково-технічного супроводу об'єктів ядерної енергетики.

Разом з тим забезпечено виконання комплексу досліджень за бюджетними та госпдоговірними проєктами, що охоплюють ключові напрями ядерної та радіаційної безпеки. У 2025 р. інститутом виконувалося 8 бюджетних (відомчих) науково-дослідних робіт та 7 договірних проєктів, за результатами яких оформлено 6 актів впровадження. Зокрема, роботи були зосереджені на науковому супроводі безпечної експлуатації комплексу НБК-ОУ, дослідженні пали-

вовмісних матеріалів (ПВМ), розвитку методів діагности реакторних установок, удосконаленні підходів до поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) і радіоактивними відходами (РАВ), а також оцінці впливу радіаційних об'єктів на довкілля. Важливим напрямом залишалася інтеграція у міжнародний науковий простір, що забезпечує обмін досвідом і впровадження сучасних підходів до безпеки.

Результати досліджень мають прикладне та інноваційне спрямування. У 2025 р. співробітниками інституту отримано патент України на корисну модель «Система для оцінки забруднення повітря радіоактивними аерозолями внаслідок природних пожеж у радіоактивно забруднених лісах». Також подано заявку на корисну модель «Спосіб вилучення радіоактивних ізотопів кобальту та хлору з опроміненого графіту», що підтверджує практичну значущість і перспективність розроблених технологічних рішень. Там чином, діяльність інституту у 2025 р. відображає системну адаптацію наукових і інженерних підходів до умов воєнних викликів та сучасних технологічних змін, поєднуючи фундаментальні дослідження, прикладні розробки та їх практичну реалізацію.

Одним із ключових напрямів діяльності інституту є експертна підтримка органів державної влади та галузевих установ у сфері ядерної та радіаційної безпеки. У 2025 р. фахівцями ІПБ АЕС підготовлено експертні висновки та зауваження до проєктів нормативно-правових актів, зокрема щодо розвитку малих модульних реакторів, фізичного захисту ядерних установок і планування заходів у ядерній сфері. Також виконано експертизу матеріалів у межах міжвідомчої взаємодії та за запитами державних органів. Зазначена діяльність забезпечує наукове обґрунтування управлінських рішень і сприяє вдосконаленню нормативно-правової бази у сфері використання ядерної енергії в Україні.

Важливою складовою діяльності інституту є видавнича та науково-комунікаційна робота, спрямована на популяризацію наукових результатів і інтеграцію їх у глобальний науковий простір. ІПБ АЕС є співзасновником науково-технічного журналу «Ядерна енергетика та довкілля», який відповідно до наказу Міністерства освіти і науки України № 1643 від 28.12.2019 р. входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б) та індексується в міжнародних наукометричних базах, зокрема INIS, Index Copernicus, Google Scholar. У 2025 р. забезпечено підготовку та видання двох випусків журналу, матеріали яких оприлюднено у відкритому доступі. Видання сприяє поширенню результатів досліджень у сфері ядерної та радіаційної безпеки, забезпечує доступність їх для міжнародної наукової спільноти та підтримує розвиток професійної комунікації між дослідниками, інженерами та експертами галузі. Там чином, видавнича діяльність інституту виступає інструментом наукової дипломатії та трансферу знань, сприяючи інтеграції українських наукових результатів у міжнародний науковий і експертний дискурс.

Метою статті є узагальнення та систематизація результатів науково-дослідної діяльності ІПБ АЕС НАН України у 2025 р. та оцінка їх значення для забезпечення ядерної й радіаційної безпеки енергетики й захисту довкілля в Україні.

Безпека комплексу НБК-ОУ в умовах воєнних впливів

В умовах воєнного стану у 2025 р. особливого значення набули дослідження впливу порушення проєктних умов експлуатації комплексу НБК-ОУ на забезпечення ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ). Ключовою подією стало пошкодження захисної оболонки арки НБК 14 лютого 2025 р. внаслідок влучання бойового безпілотного літального апарата (дрона) країни-агресора, що призвело до часткової розгерметизації конфайнмента, локального пошкодження зовнішньої та внутрішньої мембран герметизації. Внаслідок цього відбулися зміна аеродинамічних і радіаційних характеристик повітряних потоків і порушення проєктного температурно-вологісного режиму у підарковому просторі.

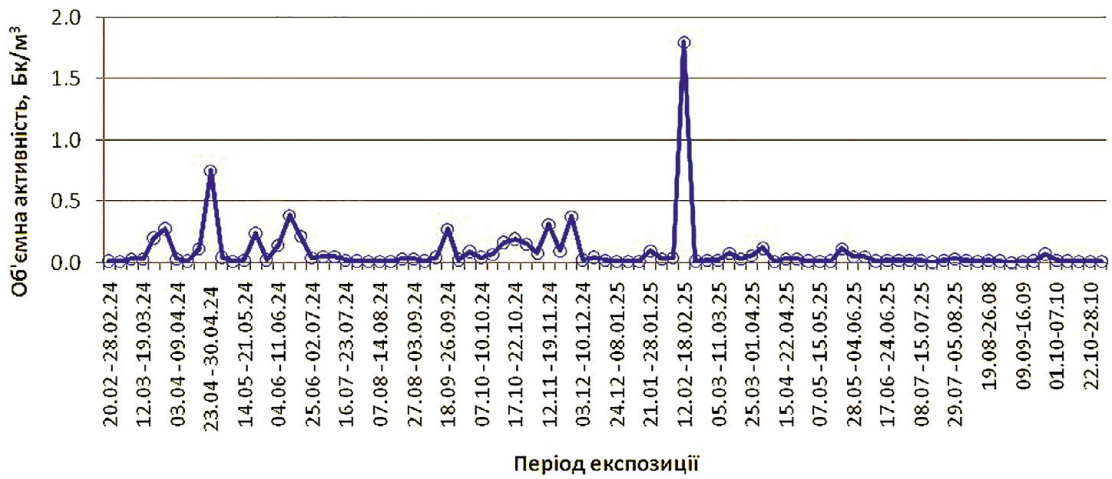
У межах досліджень реалізовано комплекс експериментальних, аналітичних і модельних підходів для оцінки радіаційної обстановки, динаміки радіоактивних аерозолів, поведінки радіоактивно забруднених вод і стану ПВМ. Установлено, що радіонуклідний склад аерозолю відповідає складу лавоподібних ПВМ (ЛПВМ), що свідчить про їх триваючу деструкцію та частковий перехід в аерозольний стан. Водночас зафіксовано зниження пилогенеруючої здатності ПВМ і, відповідно, щільності випадань радіонуклідів.

Показано, що формування радіоактивного аерозолю визначається не лише деструкцією ПВМ, а й вторинними процесами — ресуспензією радіоактивного пилу та деградацією сорбуючих поверхонь та впливом змінених аеродинамічних умов після порушення герметичності НБК. У підарковому просторі спостерігається загальна стабілізація неорганізованих видів, хоча їх короткочасні зростання пов'язані

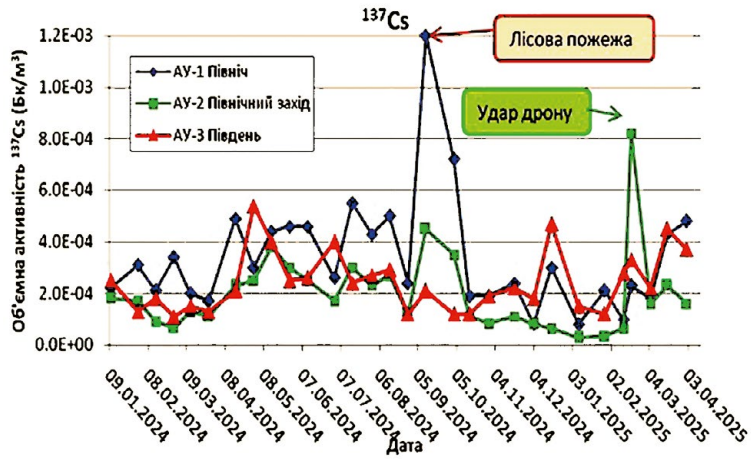
з технологічною діяльністю, роботами з ліквідації наслідків пошкодження та безпосередньо наслідками бойового впливу. Конструкції НБК продовжують виконувати бар'єрну функцію, обмежуючи масштабне розсіяння радіоактивного аерозолю, що призводить до накопичення поверхневого забруднення в межах конфайнмента.

Після розгерметизації зафіксовано тимчасове підвищення радіоактивного забруднення приземного шару повітря, що підтверджено даними аспіраційних установок і систем моніторингу. Для оцін масштабів додаткового виду радіонуклідів виконано розв'язання оберненої задачі атмосферного перенесення з використанням гауссової моделі PRIME та даних метеорологічних спостережень. Установлено, що в початковий період після події відбулося короткочасне інтенсивне винесення радіоактивного аерозолю з основного об'єму НБК через утворені нещільності оболонки. Оцінений сумарний додатковий «аварійний» вид ^{137}Cs у період 14–15 лютого 2025 р. становив близько 20 ± 4 МБк. При цьому максимальні концентрації радіоактивних аерозолів мали локальний характер і не призвели до перевищення контрольних рівнів радіаційних параметрів на майданчику ЧАЕС та за його межами (рис. 2).

Подальший аналіз «неорганізованих» видів через пошкоджені ділянки оболонки НБК у квітні–вересні 2025 р. показав, що сумарна емісія ^{137}Cs через



а



б

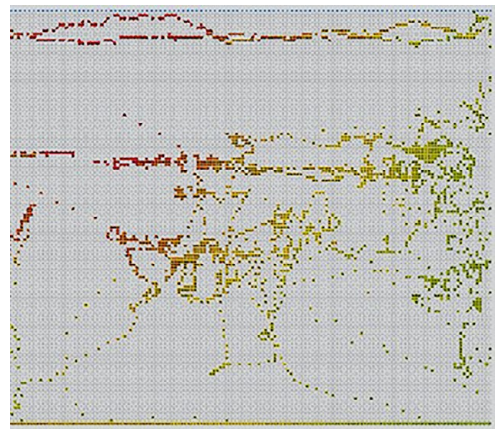
Рис. 2. Динаміка об'ємної концентрації активності ^{137}Cs під аркою НБК біля південної стіни машинного залу 4-го енергоблоку згідно з вимірюваннями ФВУ Grad-1.8 (а). Динаміка об'ємної концентрації активності ^{137}Cs згідно з вимірюваннями аспіраційних установок на проммайданчику ЧАЕС (б)

щілини в оболонці конфайнмента становила близько 876 кБк. Установлено, що переважну частину часу повітряні потоки через пошкоджені ділянки мали характер притоку зовнішнього повітря всередину НБК, а випад винесення радіоактивно забрудненого повітря були короткочасними та характеризувалися низьми швидкостями потоків. Отримані результати дозволили уточнити параметри неорганізованих видів і сформувати консервативні сценарії оцінки радіаційного впливу в умовах порушення герметичності.

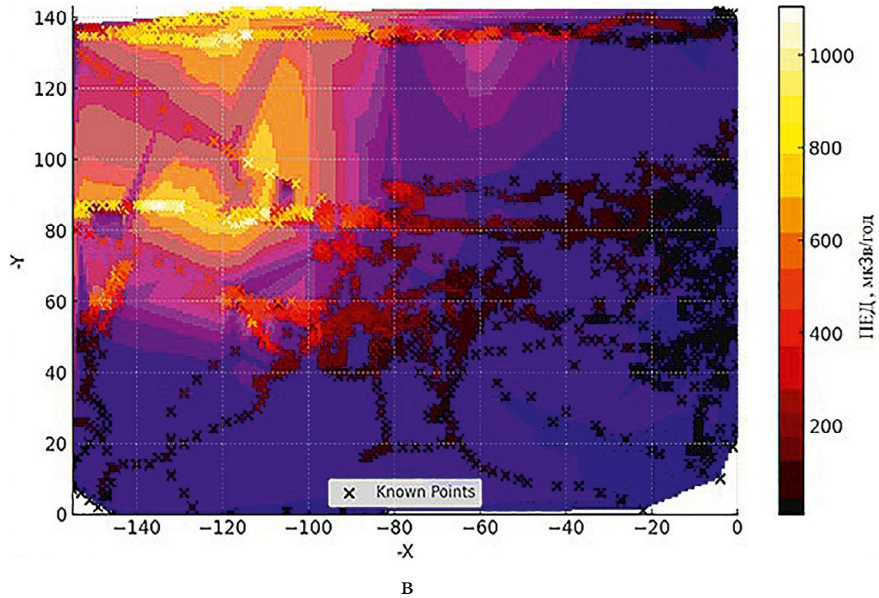
Для оперативної оцінки пошкоджень та умов виконання аварійно-відновлювальних робіт розроблено технічні рішення, зокрема системи дистанційного радіаційного контролю з використанням БПЛА, що дозволило створити картосхеми розподілу потужності дози та ефективно планувати ремонтні роботи (рис. 3). Розроблено й впроваджено програмно-технічний комплекс дистанційної радіаційної розвід з використанням БПЛА, оснащених дозиметричним обладнанням і системами GPS-прив'язки. Це дозволило виконати відео- та дозиметричне обстеження покрівлі НБК і визначити найбільш радіаційно небезпечні ділянки. Результати дистанційного моніторингу впроваджено у практику аварійного реагування та супроводу відновлення герметичності НБК.

Паралельно виконано науково-технічний супровід експлуатації НБК-ОУ, зосереджений на оцінці

а



б



в

Рис. 3. Приклад результату відеофіксації місця обстеження обшивки НБК (а). Результати вимірювання ПЕД (мкЗв/год) на поверхні північної частини арки НБК у площині її горизонтальної проєкції (б). Теплова карта розподілу значень ПЕД (мкЗв/год) на площині горизонтальної проєкції північної частини арки НБК (в)

впливу температурно-вологісного режиму на параметри ядерної безпе, включаючи динаміку потужності експозиційної дози (ПЕД) та щільності потоку нейтронів (ЩПН). Проведено оцінку підкритичності скупчень ПВМ і дослідження радіаційного стану повітря, вод та аерозолів. Результати використано при розробленні рішень для подальшого перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему та підготовці звітів з аналізу безпеки, що підтверджено їх впровадженням на ДСП «Чорнобильська АЕС». Системою інтегрованого автоматизованого контролю об'єкта «Укриття» не зафіксовано перевищень установлених меж щодо ЩПН, ПЕД γ-випромінювання, концентрації водню та параметрів стану будівельних конструкцій.

Окремо оцінено стан захисного полімерного покриття у підпокрівельному просторі. На основі аналізу аерозольних характеристик і лабораторних досліджень виконано прогноз його поведінки та впливу на радіаційну обстановку. Отримані результати застосовуються для оптимізації роботи системи пилопригнічення та зменшення поширення радіоактивних аерозолів.

Окремим відгалуженням цих досліджень стало створення бази даних джерел іонізуючого випромінювання всередині НБК-ОУ, що охоплює склад ПВМ, типи та енергетичні характеристики випромінювання. База даних є основою для подальшого моделювання впливу випромінювання на матеріали й біологічні об'єкти та може бути використана у моніторингових, інженерних і освітніх цілях.

У рамках передпроєктних робіт виконано оцінку стану нестабільних конструкцій, аналіз радіаційних умов демонтажу та розроблено проєктні критерії і вимоги до інфраструктури НБК. Вони охоплюють процеси поводження з РАВ, забезпечення ядерної та радіаційної безпеки і захисту довкілля, а також належно погоджені регуляторним органом.

Дослідження аеродинаміки та температурно-вологісного режиму дозволили уточнити параметри неорганізованих видів в умовах порушення герметичності. Виявлено статистично значущий зв'язок між вологістю та ЩПН у зонах локалізації ПВМ, що підтверджує вплив експлуатаційних умов на ядерну безпеку.

Оцінка стану скупчень ПВМ у приміщенні 305/2 показала, що рівень підкритичності залишається в безпечних межах, незважаючи на зміну умов експлуатації. Там чином, подія 14 лютого 2025 р. не призвела до негативного впливу на ядерну безпеку комплексу.

Розроблено підходи до моделювання сценаріїв еволюції ЛПВМ з урахуванням фізико-хімічних процесів (гідратації, окиснення, кристалізації та структурної деградації), що підвищує достовірність довгострокових прогнозів їх поведінки.

Загалом отримані результати формують цілісну науково-технічну основу для забезпечення безпечної експлуатації комплексу НБК-ОУ в умовах зовнішніх, зокрема воєнних, впливів і підтримують реалізацію подальших етапів перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему та мають підтверджене практичне впровадження на ДСП «Чорнобильська АЕС».

Безпека ядерних установок і розвиток ядерної енергетики України

У 2025 р. дослідження інституту були спрямовані на формування цілісного підходу до забезпечення безпеки, що поєднує аналіз внутрішньореакторних процесів і оцінку впливу ядерних об'єктів на довкілля в умовах впровадження нових технологій та довготривалої експлуатації енергоблоків.

Одним із ключових напрямів стало розроблення науково-технічних основ сучасних систем діагности фізичних процесів у реакторних установках з ВВЕР в умовах впровадження нових видів ядерного палива та понадпроєктних термінів експлуатації. Створено комплекс моделей нейтронно-фізичних, теплогідравлічних, електротехнічних і вібраційних процесів, що дають змогу оцінювати стан активної зони та внутрішньокорпусних пристроїв з урахуванням змін паливних циклів і старіння обладнання. Розроблено моделі енерговиділення в металоконструкціях внутрішньокорпусних пристроїв, що дало змогу уточнити теплові навантаження та їхній вплив на довготривалу надійність. Удосконалено підходи до визначення характеристик опроміненого палива шляхом порівняння національних і міжнародних стандартів із результатами моделювання, що підвищило достовірність обґрунтування ядерної безпеки.

Важливим результатом стало впровадження нейромережевих підходів для оперативної діагности корозійних пошкоджень оболонок тепловидільних елементів і прогнозування передаварійних та кризових теплогідравлічних станів, що забезпечує перехід до прогнозного моніторингу активної зони. Додатково розроблено комбіновані методи діагности енергетичного обладнання, зокрема турбогенераторів, що підвищує ефективність управління експлуатаційними

ризиками. Отримані результати використовуються для оптимізації експериментальних і діагностичних досліджень та обґрунтування безпеки систем поводження з ядерним паливом. Розроблені рішення рекомендовано для застосування у програмному забезпеченні СВРК-М2 ВВЕР-1000, а також впроваджено в освітній процес НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

Паралельно розширено дослідження до оцінки впливу ядерних установок на довкілля, зокрема для нових реакторних технологій типу AP1000. Проаналізовано національну нормативну базу щодо санітарно-захисних зон і зон спостереження з урахуванням розвитку Хмельницької АЕС та міжнародних підходів до аварійного планування. Запропоновано перехід до гнучкіших критеріїв їх визначення залежно від характеристик установок і умов розміщення.

Розроблено сценарії радіоактивних видів для проєктних і запроєктних аварій (включаючи LOCA та плавлення активної зони), що мають достатній рівень консерватизму для оцінок впливу в умовах обмежених даних. На їхній основі визначено радіаційні ризи для населення: детерміністичні ефекти відсутні, а стохастичні ризи ($3{,}23 \cdot 10^{-7}$ 1/рік) є нижчими за нормативні значення (рис. 4).

Порівняльний аналіз ВВЕР-1000 і AP1000 показав, що технологія AP1000 забезпечує зменшення обсягів рідких РАВ у 3,8 раза завдяки ефективнішим системам очищення, водночас потребує врахування структури твердих відходів. Для підвищення достовірності оцінок сформовано п'ятирічну базу метеорологічних даних, що дозволяє поєднувати детерміністичні та статистичні підходи при моделюванні розповсюдження радіонуклідів.

Окремим результатом стало створення алгоритму багатокритеріального аналізу для вибору ядерних технологій, що враховує технічні, екологічні та економічні чинники. Результати досліджень планується впровадити у діяльність АТ «НАЕК "Енергоатом"» для вдосконалення нормативної бази та підвищення рівня безпеки нових об'єктів.

Там чином, сформовано інтегровану науково-технічну основу забезпечення безпеки ядерної енергетики України, що поєднує діагностику внутрішньореакторних процесів, прогнозування стану обладнання та оцінку впливу на довкілля, підтримуючи як експлуатацію наявних енергоблоків, так і впровадження нових технологій.

Безпека поводження з ВЯП та радіоактивними матеріалами

У 2025 р. діяльність ІПБ АЕС НАН України у сфері поводження з РАВ та ВЯП була зосереджена на розробленні науково обґрунтованих рішень для довготривалої безпечної експлуатації систем зберігання та формування підходів до поводження зі складними видами радіоактивних матеріалів.

Одним із ключових напрямів стало дослідження процесів старіння систем зберігання ВЯП. Проведено оцінку обсягів його утворення на АЕС України та аналіз радіаційних характеристик. Виконано порівняння визначення параметрів опроміненого палива за національним стандартом СОУ НАЕК 099:2023

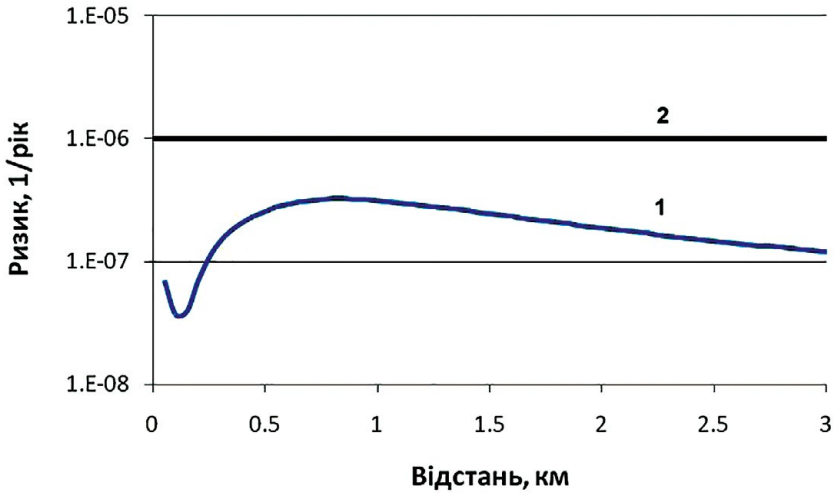


Рис. 4. Значення індивідуального ризику виникнення стохастичних ефектів для населення залежно від відстані до джерела (1) та рівень знехтуваного ризику (2)

і результатами моделювання у коді SCALE, що дозволило виявити обмеження існуючих підходів. Запропоновано модель оперативного визначення характеристик ВЯП відповідно до стандартів ISO 10645:2022 та ANS-5.1:2014, що підвищує достовірність оцінок ядерної безпеки.

Отримані результати використовуються для оптимізації експериментальних досліджень, обґрунтування безпеки систем поводження з ВЯП і контролю параметрів скупчень ядерно небезпечних матеріалів. Їх впровадження планується на ядерних установках України, зокрема на енергоблоках АЕС і в сховищах ВЯП, що сприятиме підвищенню безпеки та зменшенню впливу на довкілля.

Паралельно виконано дослідження фізико-технічних і хімічних властивостей опроміненого графіту як специфічного виду радіоактивних матеріалів. Розроблено метод кислотно-лужної обробки з переведенням окремих радіонуклідів у рідку фазу, підготовлено експериментальну базу для апробації, удосконалено методи визначення зольності та складу газових продуктів. Також створено алгоритм розділення графіту із застосуванням спеціалізованого обладнання та інтелектуальної обробки даних.

Отримані результати мають практичну спрямованість і перспективи впровадження у ДСП «Чорнобильська АЕС» та на установках із графітовим сповільнювачем, створюючи основу для розроблення ефективних і безпечних технологій поводження з опроміненим графітом.

Радіоекологічна безпека та моніторинг довкілля

У 2025 р. науковцями інституту реалізовано комплекс досліджень, спрямованих на оцінку впливу воєнних факторів на довкілля та розвиток інтегрованої системи радіогідроекологічного моніторингу в ЧЗВ. Особливу увагу приділено процесам вторинного забруднення підземних вод, зумовленим наслідками окупації та лісових пожеж.

Дослідження базувалися на поєднанні польових обстежень, лабораторного аналізу проб підземних вод (pH, Eh, радіонуклідний склад) і математичного моделювання. Установлено, що пожежі є ефективним механізмом мобілізації радіонуклідів: концентрація ^{90}Sr у золі зростає до 357 разів (0,16–3,4 кБк/г), а для підстилки — у 5–35 разів. Вилуговування атмосферними опадами (до 33 % для ^{90}Sr і до 89 % для ^{137}Cs) формує потоки надходження їх у підземні води. Польові дані підтвердили ці закономірності — зафіксовано зростання активності ^{90}Sr у 2–60 разів. На цій основі уточнено моделі радіогідроекологічних процесів з урахуванням воєнних факторів (рис. 5).

Розвиток системного моніторингу реалізовано за грантової підтримки: розроблено концепцію інтегрованої системи моніторингу ґрунтових вод, виконано аналіз гідрогеологічних умов і мережі свердловин, а також моделювання міграції радіонуклідів. Обґрун-

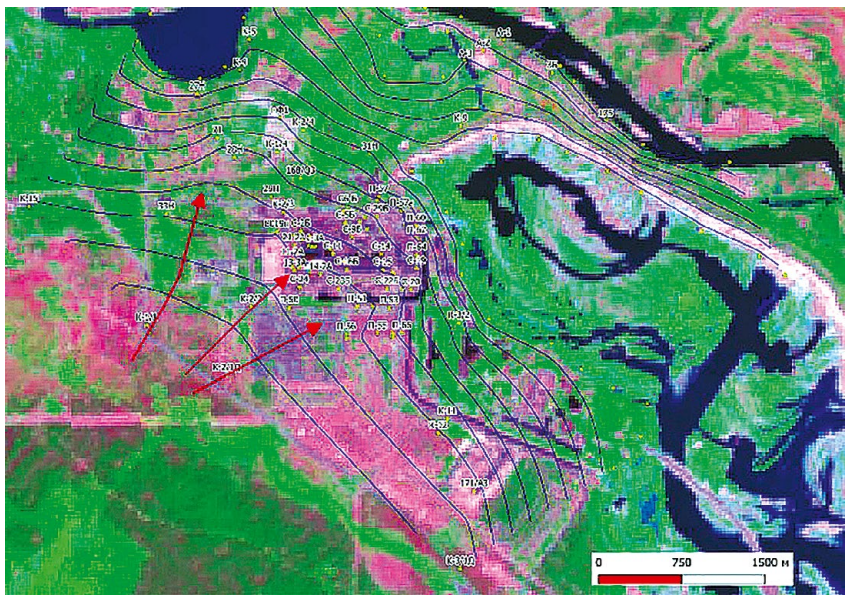


Рис. 5. Результати математичного та гідродинамічного моделювання руху підземних вод від потенційних та реальних джерел забруднення до ділянок розвантаження в поверхневі води

товано оптимальну конфігурацію мережі та необхідність створення нових свердловин.

Практична реалізація забезпечена в межах науково-інженерного супроводу буріння та облаштування свердловин для НБК-ОУ. Впроваджено систему спостережень, що забезпечує контроль гідрогеологічних умов, обмеження міграції радіонуклідів і підвищення рівня безпеки. Результати впроваджено на ДСП «Чорнобильська АЕС».

Подальшим етапом стало масштабування моніторингу за межі зони відчуження: проведено контрольні вимірювання зразків ґрунтів зі 196 населених пунктів і сформовано актуалізований перелік радіоактивно забруднених територій для потреб захисту населення.

Там чином, реалізовано інтегрований підхід до оцінки та моніторингу радіоактивного забруднення довкілля, що поєднує експеримент, моделювання та інженерні рішення і створює основу для управління радіоекологічними ризиками в умовах воєнних впливів.

Міжнародна науково-технічна інтеграція у сфері безпеки

У 2025 р. ІПБ АЕС НАН України суттєво розширив міжнародну науково-технічну співпрацю, що стало важливим інструментом інтеграції національних досліджень у глобальну систему забезпечення ядерної та радіаційної безпеки. Співробітництво охоплює взаємодію з провідними міжнародними організаціями, науковими центрами та університетами, зокрема МАГАТЕ, NATO Emerging Security Challenges Division, European Commission Joint Research Centre, Japan Atomic Energy Agency, а також низкою європейських і американських університетів та інженерних компаній.

Одним із ключових напрямів стала участь у міжнародних дослідницьких проєктах, спрямованих на підвищення безпеки в умовах нових викликів. У межах проєкту НАТО «Enhanced radiation detection for nuclear security and incident response» спільно з Бристольським університетом (Велика Британія) розроблено підходи до дистанційного радіаційного моніторингу з використанням робототехнічних систем і безпілотних платформ. Практичним результатом стало радіаційне картографування пошкоджених ділянок НБК після бойового впливу, що дозволило оцінити дозові навантаження на персонал і оптимізувати планування відновлювальних робіт.

Участь у проєкті Horizon Europe RRADEW («Стійкість до радіологічних подій у воєнний час») забезпечила інтеграцію українського досвіду реагування на радіаційні загрози у європейський контекст. Розроблені сценарії розвитку радіологічних подій та підходи до оцінки ризиків були використані у формуванні рекомендацій щодо підвищення готовності до надзвичайних ситуацій у країнах ЄС.

Важливим напрямом залишаються дослідження, пов'язані з подоланням наслідків аварій на ядерних

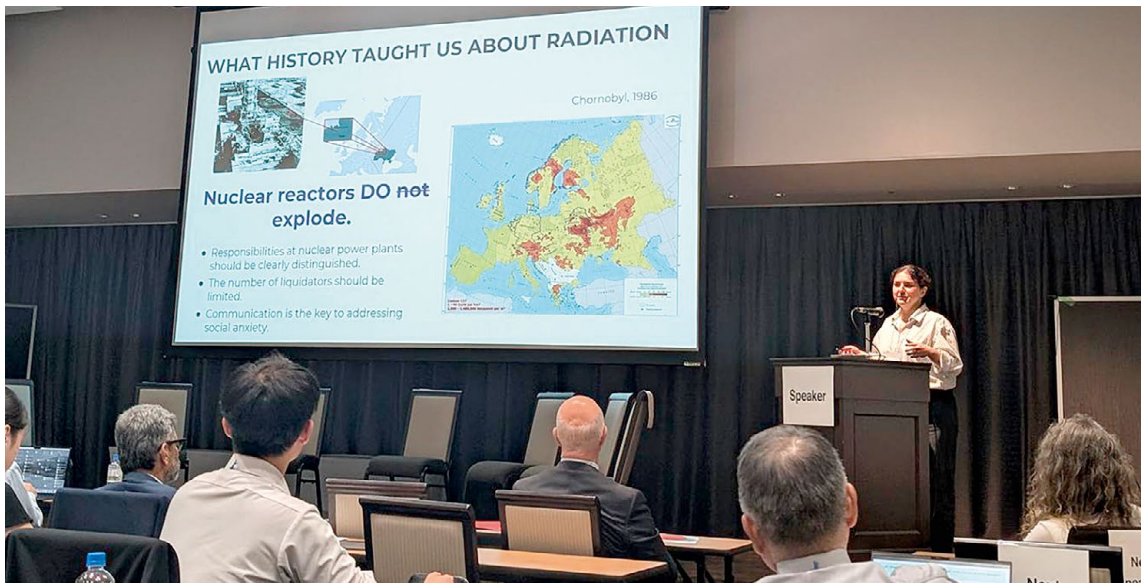


Рис. 6. Доповідь Олени Паренюк на міжнародному симпозіумі F-REI у м. Фукусіма (Японія)

об'єктах. У межах міжнародних ініціатив, присвячених аналізу аварії на Фукусіма-Даїчі, інститут бере участь у розвитку моделей важких аварій, досліджені ПВМ і вдосконаленні методів аналізу їхньої структури. Це сприяє не лише глибшому розумінню процесів деградації ядерного палива, але й підвищенню безпеки експлуатації реакторів у міжнародному масштабі (рис. 6).

У сфері радіоекології продовжено співпрацю з МАГАТЕ у рамках проєкту з використання ізотопних методів для управління водними ресурсами. Розроблено тривимірні гідрогеологічні моделі, що дозволяють прогнозувати поширення техногенного забруднення у складних природних умовах, що є важливим для оцінки впливу промислових об'єктів на водоносні горизонти.

Паралельно розвивається інженерно-технологічна співпраця з промисловими партнерами, зокрема тайськими компаніями, у межах якої створено спеціалізовані пристрої для технічного обслуговування обладнання реакторних установок. Використання 3D-моделювання та експериментального відпрацювання технологічних операцій дозволило підтвердити ефективність і безпечність запропонованих технічних рішень.

Окрему роль відіграє участь у міжнародних матеріалознавчих дослідженнях, спрямованих на підвищення довговічності конструкцій ядерних об'єктів. У межах європейських проєктів досліджено вплив радіаційного опромінення на бетонні конструкції біологічного захисту, що дозволило уточнити механізми їхньої деградації та вдосконалити підходи до оцінки довгострокової безпеки.

Важливим аспектом міжнародної діяльності є також розвиток освітньої та наукової мобільності. Участь молодих учених у проєктах МАГАТЕ та стажуваннях у провідних університетах, зокрема в Фукуйському університеті, сприяє формуванню нового покоління фахівців у сфері ядерної безпеки та радіоекології.

Таким чином, міжнародна діяльність інституту у 2025 р. забезпечує не лише обмін знаннями та доступ до передових технологій, але й інтеграцію українських наукових результатів у глобальну систему забезпечення ядерної та радіаційної безпеки. Отримані результати мають прикладне значення для підвищення стійкості до радіаційних загроз, розвитку інноваційних технологій моніторингу та вдосконалення підходів до управління ризиками в умовах сучасних викликів.

Науково-організаційна діяльність

У 2025 р. проведено планову атестацію наукових працівників відповідно до розпорядження Президії НАН України.

Інститут продовжує активну співпрацю з науковими та освітніми установами, зокрема Київсьм академічним університетом, у межах якої забезпечується підготовка здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальностями 143 «Атомна енергетика» та 101 «Екологія». У 2025 р. 5 аспірантів навчалися на кафедрі фізики ядерних установок та радіоекології, інститут активно залучений до підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації та розвитку науково-освітньої діяльності. У 2025 р. Грамотою Президії НАН України та Ради молодих учених НАН України було нагороджено одного працівника ІПБ АЕС, а також один співробітник отримав міжнародну відзнаку — Qilu Friendship Award Народного уряду провінції Шаньдун (КНР).

Станом на 2025 р. загальна чисельність працівників становить 205 осіб, з яких 90 займаються науковою діяльністю, зокрема 1 академік НАН України, 1 член-кореспондент НАН України, 8 докторів і 23 кандидати наук. За сумісництвом працює 20 осіб.

У наукових підрозділах інституту молоді спеціалісти залучаються до виконання фундаментальних і прикладних досліджень, участі у госпдоговірній та бюджетній тематиці, а також до міжнародного науково-технічного співробітництва.

Інститут активно розвиває міжнародні зв'язки, співпрацюючи з тами організаціями, як МАГАТЕ, NEA, JAEA, Аргонська національна лабораторія (США), Університет Бристоля (Велика Британія), Університет Упсали (Швеція), а також низкою інших наукових центрів і компаній.

У звітному році інститут був організатором або співорганізатором низ важливих наукових заходів:

засідання науково-аналітичної секції Українського ядерного товариства (9 квітня та 2 грудня, м. Київ);

X Міжнародної конференції «Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDECO 2025 (24–30 квітня, м. Славутич), організованої спільно з Славутицькою міською радою, Агентством регіонального розвитку Славутицької міської ради, ДСП «ЧАЕС» та Інститутом проблем математичних систем і машин НАН України;

VII Міжнародної конференції «Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику»

Рис. 7. Науковці ІПБ АЕС НАН України на VII Міжнародній конференції «Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику»

(25–26 вересня, м. Київ), організованої спільно з ГО «УкрЯТ» та Радою молодих вчених при Відділенні енергетики та енергетичних технологій НАН України (рис. 7);

Дискусійної онлайн-панелі «Науковий супровід атомної енергетики — шлях до сталого розвитку України» (27 листопада, м. Київ), організованої спільно з ГО «УкрЯТ».

У 2025 р. співробітниками ІПБ АЕС НАН України опубліковано 88 наукових публікацій, з яких 24 — у виданнях, що індексуються у базах Web of Science та Scopus, зокрема 9 — у журналах квартилів Q1/Q2 та 11 — у журналах квартилів Q3/Q4.

У 2025 р. співробітниками ІПБ АЕС НАН України підготовлено до друку та видано 3 книжкових видання:

1. Decommissioning of nuclear power plants: Study guide / A. V. Nosovskyi, V. K. Kuchynskyi, A. I. Savin, M. V. Saveliev, L. M. Salii; edited by A. V. Nosovskyi. – Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, NAS of Ukraine, ISP NPP, 2025. – 592 p.

2. Зняття з експлуатації атомних електростанцій: навчальний посібник. Вид. 2-ге, перероб. і доп. / А. В. Носовсьй, В. К. Кучинський, Савін А. І., Савельєв М. В., Салій Л. М. – Київ : ІПБ АЕС НАН України, 2025. – 616 с.

3. Хвалін Д. І. Методи та засоби діагности технічного стану генераторів електричних станцій: монографія / Д. І. Хвалін. – Київ : ІПБ АЕС НАН України, 2025. – 275 с.

Крім того, співробітниками підготовлено 3 розділи у закордонних монографіях.

ІПБ АЕС НАН України має офіційний веб-сайт [5], на якому висвітлюються основні результати наукової діяльності структурних підрозділів, виконувані 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 англомовну версії. Сайт журналу містить загальну інформацію про видання та його політку, архів усіх випусків та вимоги до авторів.

Висновки

У 2025 р. науково-дослідна діяльність ІПБ АЕС НАН України здійснювалася в умовах безпрецедентних зовнішніх викликів, пов'язаних із воєнними впливами, що визначили нові пріоритети у сфері ядерної та радіаційної безпеки. Незважаючи на обмеження доступу до об'єктів, логістичні труднощі та необхідність відновлення інфраструктури, інститут забезпечив виконання комплексу фундаментальних і прикладних досліджень із підтвердженим практичним впровадженням результатів. Отримані результати свідчать про формування цілісної науково-технічної платформи забезпечення безпеки ядерної енергети, яка інтегрує внутрішньореакторні дослідження, аналіз поведінки ПВМ, оцінку впливу на довкілля та розроблення інженерних рішень для складних радіаційно небезпечних об'єктів.

Встановлено, що навіть в умовах порушення проєктних режимів експлуатації комплексу НБК-ОУ внаслідок воєнних впливів зберігається контрольованість радіаційних параметрів і параметрів ядерної безпеки. Розроблені підходи до дистанційного радіаційного моніторингу, моделювання аерозольних процесів і оцінки стану ПВМ забезпечують оперативне реагування на позаштатні ситуації та підвищують стійкість систем безпеки.

У сфері експлуатації ядерних установок сформовано передумови для переходу від реактивних до прогнозних підходів до діагности стану активної зони та обладнання, зокрема завдяки впровадженню нейромережевих методів і комплексного моделювання фізичних процесів. Це створює основу для підвищення надійності енергоблоків в умовах довготривалої експлуатації та впровадження нових реакторних технологій. Розроблені підходи до оцінки впливу нових ядерних установок на довкілля, зокрема для реакторів типу AP1000, а також удосконалення нормативних принципів зонування та аварійного планування формують наукову базу для розвитку ядерної енергетики України відповідно до міжнародних вимог безпеки.

У сфері поводження з ВЯП і радіоактивними матеріалами запропоновано нові моделі оцін характеристик ВЯП та технологічні рішення для обробки опроміненого графіту, що підвищують достовірність обґрунтування ядерної безпеки та створюють передумови для впровадження ефективних технологій поводження зі складними видами радіоактивних матеріалів.

Важливим результатом стало формування інтегрованого підходу до радіоекологічного моніторингу в умовах воєнних впливів. Установлено механізми вторинного забруднення підземних вод, зокрема внаслідок лісових пожеж, та розроблено науково обґрунтовані рішення щодо оптимізації системи моніторингу, які вже впроваджуються на практиці.

Міжнародна діяльність інституту забезпечила інтеграцію українських досліджень у глобальний науковий простір, сприяла обміну досвідом і впровадженню передових технологій, а також підвищила внесок України у формування сучасних підходів до реагування на радіаційні загрози в умовах нових безпекових викликів.

Загалом результати діяльності ІПБ АЕС НАН України у 2025 р. демонструють високий рівень наукової стійкості, адаптивності та практичної орієнтованості досліджень. Вони створюють науково-технічну основу для забезпечення безпечної експлуатації ядерних об'єктів, розвитку ядерної енергетики та ефективного управління радіаційними ризиками в умовах сучасних загроз.

Список використаної літератури

1. Підписання меморандуму про співробітництво // ІПБ АЕС НАН України: офіційний веб-сайт. – Режим доступу: https://www.ispnpp.kiev.ua/pidpys-memo-sotr.
2. Сертифікати та ліцензії // ІПБ АЕС НАН України: офіційний веб-сайт. – Режим доступу: www.ispnpp.kiev.ua/sertifikaty-litcenzii.
3. Рішення про затвердження постачальника РШ-П 0.46.055-22 від 29.12.2022 р. – Режим доступу: www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/01/RSH-P0.46.055-22.pdf
4. Наказ Міністерства освіти і науки України «Про забезпечення організації та проведення у 2024-2025 роках державної атестації наукових установ та закладів вищої освіти в частині провадження такими закладами наукової та науково-технічної діяльності» від № 1675 від 28 листопада 2024 р. – Режим доступу: https://mon.gov.ua/npa/pro-zabezpechennia-orhanizatsii-ta-provedennia-u-2024-2025-rokakh-derzhavnoi-atestatsii-naukovykh-ustanov-ta-zakladiv-vyshchoi-osvity-v-chastyni-provadzhennia-takymy-zakladamy-naukovoi-ta-nau.
5. Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України: офіційний веб-сайт. – Режим доступу: https://www.ispnpp.kiev.ua.

M. O. Berezhok, V. S. Havrylenko, I. V. Kutsyna

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 2025

The article summarizes the results of the scientific and research activities of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2025 under conditions of prolonged military influence and increased threats to critical nuclear infrastructure. The paper presents the main scientific and technical achievements related to ensuring nuclear and radiation safety during wartime, with particular attention paid to the operation and post-accident management of the "New Safe Confinement — Shelter Object" (NSC-SO) complex at the Chornobyl NPP site. Special focus is placed on investigations of the consequences of the February 14, 2025 combat drone impact on the NSC confinement, including assessment of radioactive aerosol releases, disturbance of aerodynamic and temperature-humidity conditions, and evaluation of nuclear safety parameters of fuel-containing materials. It is shown that despite local damage and temporary depressurization of the confinement, radiation conditions and nuclear safety parameters remained controllable.

The article considers the development of approaches to predictive diagnostics and monitoring of reactor facilities with VVER reactors under conditions of long-term operation, implementation of new fuel types, and wartime challenges. Neural-network-based methods for diagnostics of fuel cladding degradation and thermal-hydraulic crisis states, as well as integrated models of neutron-physical, thermal-hydraulic, vibration, and electrotechnical processes are described. The results obtained form the basis for transition from reactive to predictive approaches in nuclear facility operation and safety assessment.

Considerable attention is devoted to research on spent nuclear fuel management, radioactive waste processing, and treatment of irradiated graphite. The article also summarizes studies in the field of radioecological safety and environmental monitoring, including investigations of radionuclide migration in groundwater and the impact of forest fires in radioactively contaminated areas. Integrated monitoring systems combining field observations, laboratory analyses, mathematical modeling, and unmanned aerial vehicle technologies were developed and implemented.

The role of international scientific and technical cooperation with IAEA, NATO, Horizon Europe, and leading foreign research institutions is highlighted. It is shown that the obtained results form a scientific and technical basis for increasing the resilience of nuclear energy facilities, improving emergency preparedness, and managing radiation risks under modern military and technological challenges.

Keywords: Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, support of the state and international partners, assessment of activity effectiveness, coverage of scientific achievements.

References

1. *Signing of the Memorandum on cooperation*. ISP NPP of the NAS of Ukraine: official website. Available at: https://www.ispnpp.kiev.ua/en/pidpys-memo-sotr.
2. *Certificates and Licenses*. ISP NPP of the NAS of Ukraine: official website. Available at: https://www.ispnpp.kiev.ua/sertifikaty-litcenzii/ (in Ukr.)
3. Supplier approval decision no. РІШ-П 0.46.055-22, dated 29.12.2022. Available at: https://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/01/RSH-P0.46.055-22.pdf (in Ukr.)
4. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine «On ensuring the organization and conduct in 2024-2025 of state certification of scientific institutions and higher education institutions in terms of the conduct of scientific and scientific and technical activities by such institutions» no. 1675, dated November 28, 2024. Available at: https://mon.gov.ua/npa/pro-zabezpechennia-orhanizatsii-ta-provedennia-u-2024-2025-rokakh-derzhavnoi-atestatsii-naukovykh-ustanov-ta-zakladiv-vyshchoi-osvity-v-chastyni-provadzhennia-takymy-zakladamy-naukovoi-ta-nau (in Ukr.)
5. *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 10.03.2026
Рекомендована до друку / Accepted 13.05.2026