

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

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

## Результати діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України у 2022 р.

### Ключові слова:

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій, результати наукової діяльності, висвітлення наукових досягнень, міжнародне співробітництво, створення об'єктів права інтелектуальної власності, видавнича діяльність

Наведено найважливіші результати наукової та науково-організаційної діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2022 р. Показано, що навіть за надскладних умов, у яких перебуває вся країна з причини вторгнення російських військ на територію України, співробітники Інституту докладали великих зусиль задля виконання запланованих завдань із забезпечення ядерної та радіаційної безпеки зруйнованого четвертого енергоблока Чорнобильської атомної електростанції, поводження з ядерно небезпечними матеріалами, а також підвищення надійності та безпеки експлуатації діючих атомних станцій. Результати цих досліджень знайшли впровадження на виробництві, в електроенергетиці та під час навчального процесу, а також висвітлені в низці публікацій та наукових заходів.

### Вступ

Юридична адреса Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України), лабораторна й офісна бази знаходяться в м. Чорнобилі, який із 24 лютого по 31 березня 2022 р. перебував під окупацією російських військ. Науково-дослідницькі лабораторії Інституту є єдиними у світі, в яких виконують дослідження паливовмісних матеріалів (ПВМ) з об'єкта «Укриття» (ОУ) Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС). Виконання досліджень здійснювалися завдяки наявності в структурі Інституту спеціалізованих лабораторій: радіохімічної, спектрометричної, матеріалознавчої, ядерної та радіаційної безпеки, а також радіоекологічної. У квітні цього року співробітники ІПБ АЕС отримали дозвіл на відвідування лабораторних і офісних приміщень у Чорнобилі. Вхідні двері будівель та майже всіх лабораторних і офісних приміщень, а також гуртожитків були пошкоджені, дверні замки злама-

но. Більшість вікон у будівлях розбиті. Усі металеві сейфи зламано. Значну частину унікального наукового лабораторного обладнання, вимірювальних приладів та обладнання розграбовано, пошкоджено або знищено. Вкрадено системні блоки, комп'ютерні сервери, оргтехніку, розбито або знищено вимірювальні пристрої. З усіх комп'ютерних станцій, що залишились у лабораторіях, вкрадено жорсткі диски. Пограбовано гаражі з автомобільною технікою, яка використовувалася для доставки науковців на об'єкти досліджень у межах усієї зони відчуження, а також викрадено спеціалізовану техніку, інструменти та автомобільне пальне [1, 2].

Наукові співробітники ІПБ АЕС докладають зусиль, щоб довести інформацію про руйнування та пограбування наукових лабораторій до своїх колег із закордонних наукових установ із проханням надати технічну й фінансову міжнародну допомогу щодо їхнього відновлення. Зрозуміло, що державний бюджет України в цей непростий час спрямований на вирішення питань оборони держави, а після перемо-

© В. С. Гавриленко, І. В. Куцина, Д. І. Хвалін, 2023

ги також будуть завдання, пов'язані з відновленням інфраструктури країни. Саме з цих міркувань науковцями Інституту 25 квітня 2022 р. було створено благодійну організацію «Чорнобильський науковий фонд ядерної безпеки», який за допомогою небайдужих міжнародних партнерів та інших благодійників буде вирішувати питання відновлення лабораторій ІПБ АЕС. Президент НАН України академік Анатолій Загородній звернувся по допомогу до світової наукової спільноти та відповідних наукових фінансових фондів для відновлення будівель, лабораторного, офісного та технічного обладнання в м. Чорнобилі.

У результаті проведених відновлювально-ремонтних робіт, а також завдяки благодійній допомозі вдалося налагодити роботу в офісі, частково відновити комп'ютерну та лабораторну бази, що дало змогу в найкоротші терміни забезпечити відновлення відповідних ліцензій Державної інспекції ядерного регулювання України (ДІЯР України) та виконання ІПБ АЕС статутних завдань.

З початку збройного вторгнення російських військ на територію України за кордон виїхало 26 співробітників Інституту, з них 10 повернулося. В інші міста України виїхало 7 співробітників, але всі з часом повернулися. На сьогодні в лавах Збройних сил України перебувають 5 наукових працівників Інституту, а в складі Територіальної оборони України — 7 працівників.

Незважаючи на об'єктивні складнощі за умов відключень електроенергії, подекуди відсутності опалення та водопостачання, порушення функціонування громадського транспорту, телекомунікаційних засобів і засобів передачі даних тощо, ІПБ АЕС НАН України докладає зусиль задля збереження науково-технічного потенціалу з метою виконання запланованих завдань відповідно до основних напрямів своєї діяльності:

- перетворення ОУ на екологічно безпечну систему; безпеки експлуатації ядерних установок;
- зняття з експлуатації ядерних установок;
- поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) та радіоактивними відходами (РАВ).

Постановою Президії НАН України № 417 від 22.12.2021 р. «Про оцінювання діяльності наукових установ НАН України» було затверджено перспективний план такого оцінювання на період 2022–2026 рр. Відповідно до зазначеного плану в 2022 р. передбачалось проведення оцінювання ефективності діяльності ІПБ АЕС. У зв'язку з цим було розпочато організаційні заходи, зокрема погоджено план-графік і сформовано

експертну комісію. Але з причини військової агресії Російської Федерації проти України та введення Указом Президента України № 64/2022 від 24.02.2022 р. воєнного стану в Україні було неможливим проведення оцінювання ефективності діяльності наукових установ НАН України відповідно до згаданого плану. Враховуючи це, Постановою Президії НАН України № 102 від 06.04.2022 р. «Про відтермінування проведення оцінювання ефективності діяльності наукових установ НАН України» було призупинено проведення підготовчих заходів з такого оцінювання на час дії в Україні воєнного стану.

У 2022 р. фахівцями Державного підприємства «Національна атомна енергогенеруюча компанія “Енергоатом”» (ДП «НАЕК “Енергоатом”») було проведено черговий аудит системи управління якістю ІПБ АЕС для підтвердження здатності постачати продукцію (надавати послуги) за умов забезпечення гарантованої якості та виконання 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 046.055-22 від 29.12.2022 р.) [3].

У 2022 р. за особистий внесок у вирішення проблем безпеки об'єктів атомної енергетики, багаторічну сумлінну працю, високий професіоналізм та з нагоди 30-ї річниці заснування ІПБ АЕС НАН України були нагороджені: Відзнакою НАН України «За наукові досягнення» — 1 працівник, Відзнакою НАН України «За професійні здобутки» — 2 працівники, Подякою НАН України — 4 працівники, Почесною грамотою НАН України — 4 працівники, грамотою Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України — 13 працівників.

У 2022 р. згідно з Тематичним планом науковими співробітниками Інституту виконувались 8 робіт за бюджетними темами відомчої тематики, 3 — програмно-цільової та конкурсної тематики, а також 6 — госпдоговірної тематики. У цій статті наведено результати, які отримані під час виконання робіт із кожного напрямку діяльності Інституту.

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

Розроблено та введено в експлуатацію на ЧАЕС експертну дослідницьку систему моніторингу важливих параметрів скупчення ядерно небезпечних матеріалів (рис. 1), локалізованих у приміщенні ОУ, яка дозволяє з урахуванням динамічних факторів



Рис. 1. Основні вузли розробленої дослідницької системи моніторингу

в онлайн-режимі оперативно контролювати стан цих матеріалів, а також сприяє підвищенню достовірності визначення зміни підкритичності ПВМ ОУ в умовах нового безпечного конфайнмента (НБК) та забезпечує екологічну безпеку довкілля, захист персоналу й населення.

На основі комплексного моніторингу досліджено вплив стану лавоподібних ПВМ на рівень ядерної безпеки НБК, а також оновлено базу даних, яка вміщує інформацію про основні характеристики цих матеріалів, для виконання коригувальних дій із підвищення ядерної та радіаційної безпеки за умов небезпечної зміни стану ПВМ. Усе це дозволило розробити організаційні заходи щодо запобігання або зниження ризиків у разі небезпечної зміни стану цих матеріалів. Результати роботи впроваджено в Державному спеціалізованому підприємстві (ДСП) «ЧАЕС» і сприяють контролю стану небезпечних лавоподібних ПВМ під час перетворення ОУ на екологічно безпечну систему.

Досліджено стан захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі ОУ та вплив контрольних параметрів на персонал і довкілля під час експлуатації комплексу НБК-ОУ. Результати роботи впроваджені в ДСП «ЧАЕС» і дозволяють приймати науково обґрунтовані рішення щодо термінів проведення зрошування захисним покриттям поверхонь у підпокрівельному просторі ОУ.

На основі радіогідроекологічних досліджень на промисловому майданчику ЧАЕС і математичного моделювання потенційного надходження радіонуклідів у довкілля науково обґрунтовано розміщення

оптимальної мережі спостережних свердловин для створення системи радіогідроекологічного моніторингу радіаційно небезпечних об'єктів. Результати роботи впроваджено у ДСП «ЧАЕС» і дозволяють удосконалити контроль гідроекологічних умов експлуатації ОУ, а також підвищити рівень ядерної та радіаційної безпеки.

Розроблено методику порівняльного аналізу сценаріїв поетапного вилучення ПВМ на основі експертних оцінок значень масиву критеріїв, які відображають різні аспекти стану ОУ й особливості діяльності з його перетворення на екологічно безпечну систему. Запропоновано принципово нові технологічні рішення щодо вилучення ПВМ і супутніх РАВ з верхніх, проміжних та нижніх висотних відміток ОУ, а також ПВМ і супутніх РАВ, що локалізовані в завалах під каскадною стіною, у машинному залі, просторі за «піонерною» стіною та локальній зоні ОУ. Для окремих скупчень ПВМ технологічні рішення розроблені як з урахуванням наявності НБК та його систем, так і за умови зняття його з експлуатації. Отримані результати у вигляді науково обґрунтованих рекомендацій щодо поетапного вилучення/переведення у контрольований стан ПВМ заплановані до впровадження у Державному агентстві України з управління зоною відчуження (ДАЗВ) і ДСП «ЧАЕС», що дозволить підвищити рівень ядерної та радіаційної безпеки.

За допомогою лабораторної установки з електрохімічною коміркою уточнено закономірності процесів вилуговування урану, продуктів поділу й активації з включень реальних зразків ПВМ ОУ ко-

ричної кераміки, що дозволило вдосконалити фізичну модель еволюції структури лавоподібних ПВМ і підвищити точність прогнозу їхньої майбутньої поведінки. Результати роботи заплановані до впровадження у ДСП «ЧАЕС» і сприяють підвищенню достовірності визначення поведінки ПВМ в умовах НБК та впливають на рівень ядерної та радіаційної безпеки.

За допомогою експериментальних досліджень на реальних радіоактивно забруднених зразках ядерно небезпечних матеріалів ЧАЕС шляхом порівняння ефективності різних типів дезактивації науково обґрунтовано рекомендації з використання відомих методів, спрямованих на зменшення радіаційного навантаження на довкілля та персонал, які можуть використовуватися за сучасних умов станції (рис. 2). Результати роботи заплановано до впровадження в ДСП «ЧАЕС», що сприяє оптимальному вибору стратегії поводження з радіоактивними матеріалами, а також дає змогу зменшити витрати на рекультиваційні та реабілітаційні заходи.

У рамках угоди про науково-технічне співробітництво між Японським агентством з атомної енергії (JAEA) та ІПБ АЕС виконуються проекти «Аналіз паливовмісних матеріалів у зруйнованих блоках АЕС «Фукусіма-Даїчі» та «Дослідження деградації паливовмісних матеріалів унаслідок впливу мікроорганізмів». Мета — визначення структури мікробів і впливу мікроорганізмів на перерозподіл радіонуклідів у сформованій у ньому екосистемі. Під час виконання роботи, зокрема, на реальних експериментальних зразках ПВМ ОУ досліджено закономірності вилуговування змішаних фізико-хімічних

(унаслідок хімічного впливу води) та біологічних (вплив мікроорганізмів) процесів. Зразки культур ОУ продемонстрували значно вищий ступінь переходу  $^{137}\text{Cs}$  до культурального середовища порівняно з рештою експериментальних і контрольних зразків, що дозволяє стверджувати про внесок певних видів мікроорганізмів у процеси вилуговування.

У 2022 р. продовжено роботи в рамках спільного українсько-японського проекту «Покращення радіаційного контролю навколишнього середовища та законодавчої бази в Україні для екологічної реабілітації радіоактивно забруднених майданчиків» програми «Науково-технічне партнерство в інтересах сталого розвитку» (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development, SATREPS) за підтримки Японського Агентства з науки і технологій (Japan Science and Technology Agency, JST) і Японського агентства міжнародного співробітництва (Japan International Cooperation Agency, JICA). 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 Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ). На основі статистичного аналізу часових рядів даних вимірювання питомої активності повітря та супутникової метеорологічної інформації з використанням сучасних методів математичного моделювання досліджено розповсюдження радіоактивних аерозолів, які потрапили в атмосферу як результат лісових пожеж у ЧЗВ та біля її границь протягом 11–31 березня 2022 р.

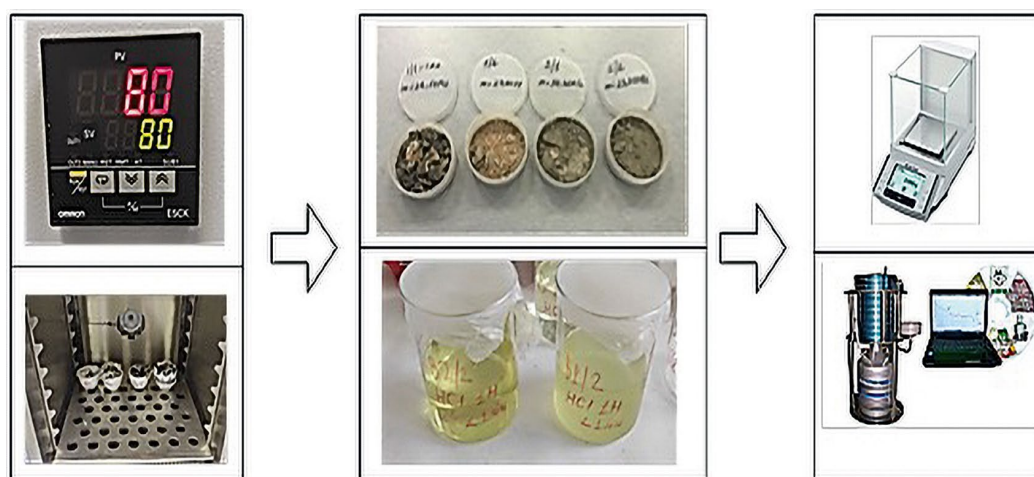


Рис. 2. Високотемпературна термічна дезактивація зразків (сушка, підготовка, характеристика)

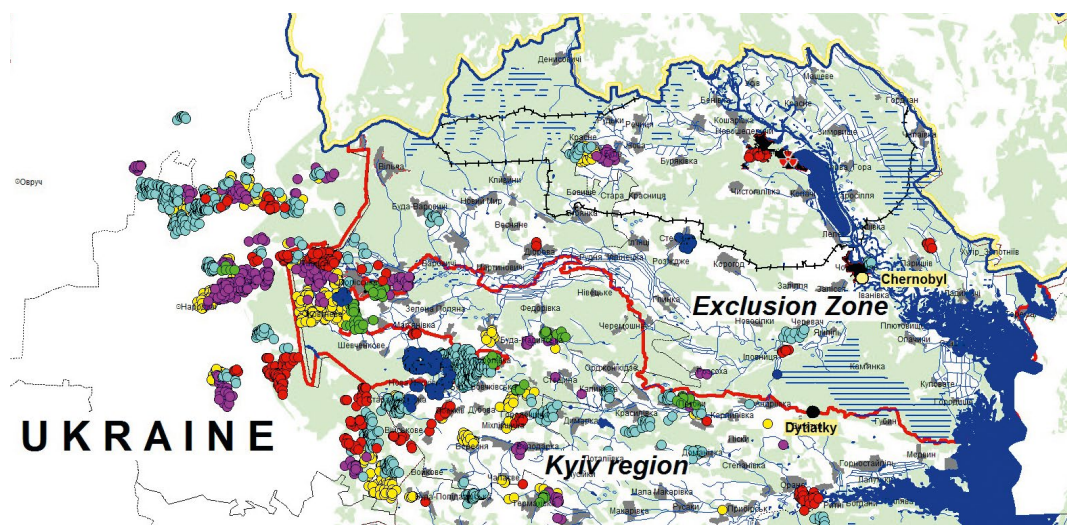


Рис. 3. Розташування основних районів пожеж у ЧЗВ та біля її границь: 11 березня (сині кола), 14–16 березня (зелені), 17–19 березня (фіолетові), 20–21 березня (жовті), 22–24 березня (блакитні) та 25–29 березня 2022 р. (червоні) (див. кольоровий рисунок на сайті журналу)

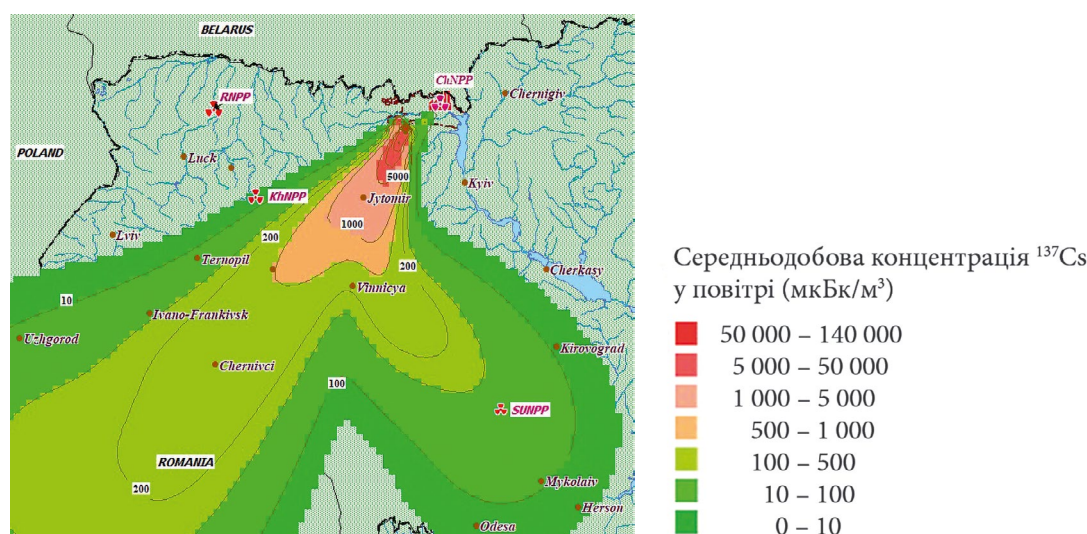


Рис. 4. Середньодобова концентрація активності радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  в приземному шарі повітря, обумовлена емісією продуктів горіння протягом 11 березня 2022 р. (див. кольоровий рисунок на сайті журналу)

внаслідок збройного вторгнення російських військ на територію України (рис. 3, 4) [4]. Результати роботи використані в рамках програми SATREPS, а прогностичні оцінки були оперативно передані до НАН України, Національної комісії з радіаційного захисту населення України, ДІАР України, а також викладені на офіційному веб-сайті ІПБ АЕС НАН України.

У рамках договору між ІПБ АЕС та South West Nuclear Hub — School of Physics University of Bristol (Велика Британія) виконується робота «Випробуван-

ня 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 (рис. 5).



Рис. 5. Візуальна картина («хмара» точок) центрального залу зруйнованого реактора 4-го енергоблока ЧАЕС

### Безпека експлуатації ядерних установок

За допомогою дослідження сучасного стану та перспектив розвитку ядерних технологій у світі з урахуванням впливу невизначеності різних факторів шляхом комплексного порівняльного аналізу різних ядерно-енергетичних технологій розроблено наукові та техніко-економічні основи оптимального вибору головного обладнання перспективних ядерних установок. Наукові та науково-практичні результати у вигляді багатокритеріальних методологічних рекомендацій впроваджено у ДП «НАЕК «Енергоатом», що дозволяє розвинути енергетичну галузь України за рахунок використання ядерних установок, які відповідають міжнародним вимогам з безпеки.

На основі аналізу впливу типу охолодження на вірогідність безвідмовної роботи потужних генераторів блоків АЕС і накопиченого вітчизняного та світового досвіду створення й експлуатації генераторів великої одиничної потужності з повним повітряним охолодженням, а також проведення теоретичних та експериментальних досліджень закономірності фізичних процесів в активних елементах конструкції науково обґрунтовано можливість забезпечення пожежо- та вибухобезпеки АЕС шляхом відмови від застосування водневого охолодження для генераторів енергоблоків станцій. Результати роботи у вигляді нових технічних рішень конструкції потужних турбогенераторів заплановані до використання під час навчального процесу на кафедрі електромеханіки факультету електроенер-

готехніки та автоматики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ імені І. Сікорського»).

На основі дослідження закономірності впливу радіаційного опромінення на термодинамічні властивості рідинних систем із використанням методів нерівноважної статистичної термодинаміки розроблено теоретичну модель для визначення дифузійних потоків у рідинних системах, що дозволяє врахувати зміни рівноважної частини коефіцієнта дифузії під впливом радіаційного опромінення. Усе це покладено в основу науково обґрунтованих рекомендацій із вибору оптимальних параметрів радіаційного випромінювання для оптимізації режимів опромінення в радіаційній медицині з метою зменшення побічного негативного впливу на організм, а також проведення уточненої оцінки рівня радіаційної безпеки довкілля та населення на радіоактивно забруднених територіях. Результати роботи заплановані до використання під час навчального процесу на кафедрі молекулярної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

В рамках угоди між Урядом України та Урядом Китайської Народної Республіки (КНР) та за сприянням Міністерства освіти і науки (МОН) України співробітники ІПБ АЕС НАН України виконали науково-дослідницьку роботу «Дослідження технології нейтронно-дозиметричного супроводу корпусу реактора типу PWR» (договір № М/43-2022 від 24.05.2022 р.). Мета роботи полягала в розробці засобів управління терміном служби корпусу реакто-

ра для забезпечення безпеки експлуатації елементів енергоблока з реактором типу PWR (водо-водяний енергетичний реактор). Наукові та науково-практичні результати у вигляді проекту Технічного завдання на розробку системи нейтронно-дозиметричного моніторингу корпусу реактора типу PWR передано Міністерству освіти Китаю та МОН України, що дозволяє китайським спеціалістам розпочати діяльність із продовження термінів експлуатації АЕС.

У рамках угоди про співробітництво з компанією Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. групою співробітників ІПБ АЕС спільно з китайськими інженерами виконується розробка технологічних

пристроїв для дистанційної підготовки та приварювання заглушки на резервуар з кислотою за умов високого значення іонізуючого випромінювання, підвищеної вологості та температури. Принцип дії базується на переносі пристрою мобільним роботом для виконання шліфування зварювального шва, зварювання труб і неруйнівного контролю зварювального шва. На основі технічного завдання розроблено комплексне рішення, яке складається з двох змінних модулів, а саме шліфувального та зварювально-діагностичного (рис. 6, 7). На сьогодні виконується розробка маніпулятора для встановлення модулів на трубу резервуара (рис. 8), орієнтовний термін закін-

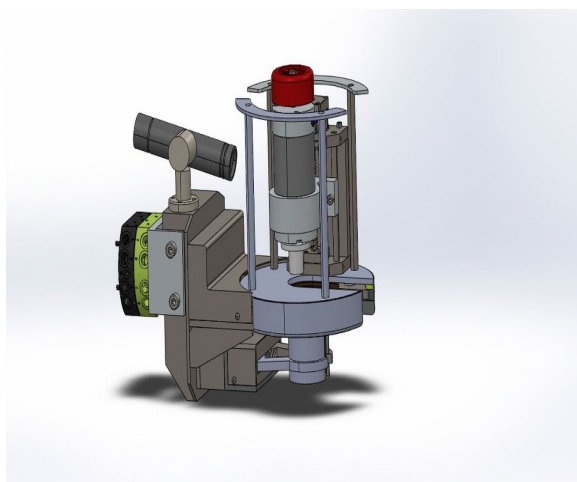


Рис. 6. Модель шліфувального модуля

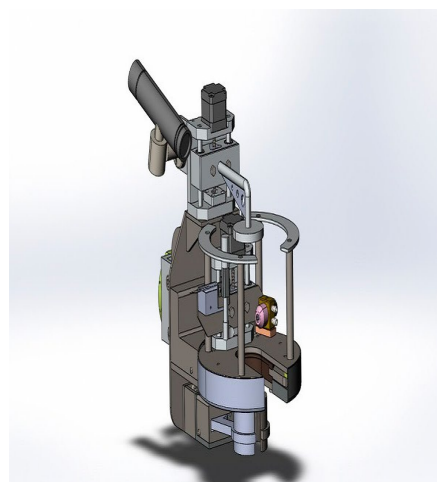


Рис. 7. Модель зварювально-діагностичного модуля



Рис. 8. Маніпулятор для встановлення модулів на трубу резервуара

чення проекту — кінець 2023 р. Після детального аналізу концепту з китайської сторони та двостороннього обговорення особливостей конструкції було прийнято рішення щодо незначного корегування проектних матеріалів із подальшим затвердженням концептуального рішення. Результати роботи заплановані до впровадження на АЕС «Хайян».

За результатами роботи в рамках гранту Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) «Методи аналізу гідрогеологічних параметрів водонесних 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. F22546), який було звершено у 2020 р., вийшла друком колективна монографія «Use of isotope hydrology to characterize groundwater systems in the vicinity of nuclear power plants».

У 2022 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 водонесного горизонту за допомогою ізотопного методу та математичної моделі техногенно-геологічних умов. Під час виконання досліджень, зокрема, визначено джерела хімічного забруднення водонесного горизонту, який експлуатується свердловинами Добрівлянського водозабору і є єдиним джерелом питної води для м. Калуш та інших населених пунктів цього району, а також побудовано карти розподілу в підземних і поверхневих водах важких ізотопів водню, кисню та індикаторів забруднення. Результати цих досліджень надалі будуть основою під час побудови математичної моделі гідрогеологічних умов для прогнозу розповсюдження хімічного забруднення від джерел засолення до Добрівлянського водозабору підземних вод.

В рамках взаємодії з The OECD Nuclear Energy Agency (NEA) ІПБ АЕС НАН України є учасником проекту «Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident Information Collection and Evaluation (FACE) Project». Мета — уточнення інтерпретації сценаріїв аварій на АЕС «Фукусіма-Даїчі», включаючи вплив заходів щодо управління аваріями, а також поточних можливостей та напрямів подальшого удосконалення моделювання розвитку важких аварій, інтерпре-

тація результатів аналізу урановмісних частинок і визначення відповідних методів та процедур лабораторного аналізу в «гарячих» камерах для майбутнього застосування до аналізу уламків палива, підтримка каналів зв'язку між японськими організаціями та міжнародними партнерами для обміну даними, інформацією та досвідом для вирішення питань, пов'язаних із ліквідацією наслідків аварії на АЕС «Фукусіма-Даїчі», а також підвищення безпеки реакторів у різних країнах.

Співробітники ІПБ АЕС НАН України як спостерігачі беруть участь у міжнародному проекті «European Commission supported H2020-Euratom-1 project “Towards improved assessment of safety performance for long-term operation of nuclear civil engineering structures (ACES)”, September 2020 — August 2024». Мета — дослідження впливу високих флюєнсів нейтронів на міцність бетону біологічного захисту легководяних реакторів. У рамках цього проекту було проведено дослідження спеціальних фібробетонів для потреб атомної енергетики. Такі бетони армуються спеціальною нейтроннопоглинаючою базальтовою фіброю, що з одного боку забезпечує покращені механічні характеристики бетону, а з іншого — зменшує потік нейтронів від ВЯП (і, як наслідок, флюєнс нейтронів у бетоні), а також значно зменшує рівень мікротріщин у бетоні за рахунок зменшення усадки бетону під час його затвердіння. Крім цього, виконано моделювання переносу нейтронів і гамма-квантів за допомогою точних тривимірних моделей контейнерів з ВЯП, що дозволяє оцінити вплив руйнівних факторів на бетон у різних частинах контейнерів зберігання протягом експлуатації сховищ ВЯП.

### **Зняття з експлуатації ядерних установок**

В ІПБ АЕС НАН України з метою екологічної реабілітації радіоактивно забруднених територій ЧЗВ на основі результатів експериментальних і теоретичних досліджень розроблено й науково обґрунтовано рекомендації щодо можливості повернення різних частин території зони відчуження до господарського використання, у тому числі виробництва сільськогосподарської продукції, а також для вибору та зміни форм землекористування на сільськогосподарських територіях, прилеглих до цієї зони. Результати роботи впроваджено у Природному заповіднику «Древлянський» Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, що дозволяє оперативно оцінювати

радіаційні умови на території природоохоронних відділень і визначати доцільність та обсяги необхідних заходів щодо радіологічного захисту навколишнього середовища, працівників і населення.

Створено метеорологічну базу даних вимірювань на метеостанції у м. Чорнобилі за останні 10 років, обрано екстремальні метеорологічні ситуації, підготовлено та статистично оброблено метеорологічну інформацію для ЧЗВ за останні 5 років (роза вітрів, максимальні та мінімальні значення швидкості вітру, температури й вологості приземного повітря).

Розроблено основні методологічні засади радіоекологічного моніторингу території, які включають районування території зони спостереження за ландшафтно-геохімічними і фізико-географічними характеристиками та формування мережі пунктів спостереження. Запропоновано загальні принципи організації мережі радіоекологічного моніторингу агросфери за умов аварії на радіаційно небезпечних об'єктах. Засобами геоінформаційних технологій запропонований метод комплексного радіоекологічного районування реалізовано на прикладі 100-км зони впливу Рівненської АЕС та Хмельницької АЕС. Отримані результати дозволять запровадити практичні заходи щодо раціональної організації систем радіаційного та радіоекологічного моніторингу на державному рівні, а також підвищити рівень радіаційної та екологічної безпеки навколишнього середовища й населення. Науково обґрунтовані рекомендації щодо принципів організації мережі радіаційного та радіоекологічного моніторингу, а також розробки регламентів спостережень за нормальних умов та аварійних ситуацій заплановані до впровадження

в Державній службі України з надзвичайних ситуацій під час формування нового документу «Організація системи радіаційного моніторингу навколишнього природного середовища».

### Поводження з ВЯП і РАВ

За допомогою методів комп'ютерного моделювання науково обґрунтовано рекомендації щодо використання сучасних композитних матеріалів із покращеними захисними властивостями для виготовлення контейнерів зберігання ВЯП (рис. 9), а також оптимальні технічні рішення щодо безпечного поведіння з ВЯП, включаючи його довгострокове зберігання. Шляхом експериментальних досліджень визначено важливі радіаційні параметри, що характеризують стан безпеки навколишнього та виробничого середовища на майданчику Централізованого сховища ВЯП (ЦСВЯП). Розроблено технологічний Регламент на виробництво бетону та заповнення обичайок контейнерів зберігання ВЯП, а також Регламент радіаційного контролю на етапі введення в експлуатацію ЦСВЯП, який у 2021 р. погоджено ДІАР України, у 2022 р. впроваджено у ДП «НАЕК «Енергоатом»», що сприяє введенню в експлуатацію ЦСВЯП і дозволяє посилити енергетичну незалежність України за рахунок відмови від послуг Російської Федерації зі зберігання ВЯП.

За допомогою прикладного програмного забезпечення на основі розрахункових алгоритмів оновлення значень коефіцієнтів масштабування науково обґрунтовано рекомендації з автоматизації процедури верифікації радіонуклідних векторів, які засто-

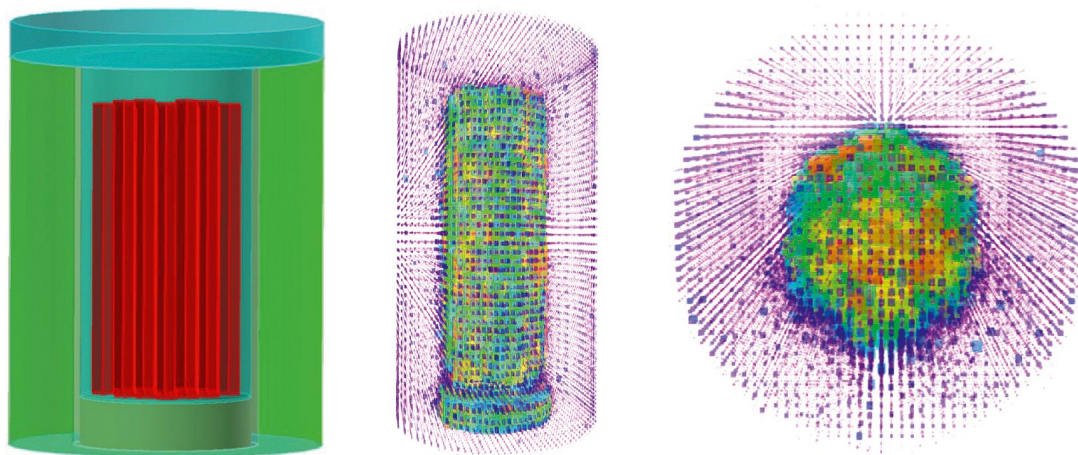


Рис. 9. Візуалізація математичного моделювання захисних властивостей контейнера для зберігання ВЯП

совуються для характеристики РАВ. Результати роботи заплановано до впровадження в ДСП «ЧАЕС», що дозволить підвищити надійність застосування методів радіологічної характеристики партій твердих РАВ, спрямованих на захоронення. Крім цього, визначення оптимальних методичних підходів із застосуванням розрахункових алгоритмів дозволить провести верифікацію діючих радіонуклідних векторів за наявними даними, коли внаслідок розграбування російськими окупантами вимірювальних лабораторій ЧАЕС неможливо отримати нові експериментальні дані щодо рівня радіонуклідного забруднення твердих РАВ у нових партіях, які плануються захоронити.

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

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

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), Міжнародна консультативна група Consortium of PLEJADES GmbH, товариство Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, GRS (Німеччина), Японське агентство з атомної енергії (Japan Atomic Energy Agency, JAEA), Національна корпорація «Університет Фукусіми» (Японія), ТОВ «Китайсько-українські ядерно-енергетичні технології Сянчу», Університет Південної Кароліни, Університет штату Східного Теннессі, Університет Клемонса (США), компанія Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. (КНР), Аргонська національна лабораторія (США), Університет Брістоля (Велика Британія), Корейський науково-дослідний інститут атомної енергії (Південна Корея), Університет Упсала (Швеція) та інші.

У січні цього року відбувся робочий візит до Університету Брістоля делегації співробітників ІПБ АЕС НАН України та ДАЗВ України. Заявка, що була подана на фінансування спільного грантового проєкту з НАТО «Enhanced radiation detection for nuclear security and incident response», отримала офіційне схвалення від НАТО, однак у зв'язку з військовою агресією Російської Федерації проєкт не було розпо-

чато. Водночас унаслідок результатів цієї агресії виникла невизначеність у радіаційному контролі ЧЗВ, що привело до міжнародної ініціативи ATLAS — відновлення моніторингу радіаційних загроз ЧЗВ.

У рамках тристороннього 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 ОУ для підтвердження ефективності роботи системи ядерної безпеки комплексу НБК-ОУ. Внаслідок військової агресії Російської Федерації виникли труднощі в проведенні робіт з адаптації розробленої агенством FOI установки з контролю радіоактивних ізотопів ксенону в просторі під аркою НБК. Однак було опубліковано звіт щодо робіт, виконаних у кінці 2021 р. — на початку 2022 р. «Radioxenon measurements at the Shelter Object in the New Safe Confinement at Chornobyl Nuclear Power Plant — Proposed concept and initial investigations, FOI-R». Подальші роботи з відбору та вимірювання проб реактивних ізотопів ксенону з ОУ були неможливі, оскільки обладнання було розграбовано та/або знищено. На сьогодні співробітники ІПБ АЕС виконують роботи щодо камерального аналізу раніше отриманих даних за допомогою математичних алгоритмів, розроблених в Інституті з метою детектування «слідових» сигналів наявності радіоактивних ізотопів ксенону.

### **Науково-організаційна діяльність**

В ІПБ АЕС НАН України приділяється увага підвищенню кваліфікації співробітників. Зокрема, у 2022 р. сім співробітників підвищили кваліфікацію з охорони праці, два співробітники — з радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів; шість співробітників — з техногенної безпеки в галузі цивільного захисту, шість — з мовної освіти.

На сьогодні сім фахівців ІПБ АЕС працюють над дисертаційними роботами на здобуття наукового ступеня доктора наук, вісім — над роботами на здобуття наукового ступеня кандидата наук, шестеро працівників навчаються в аспірантурі.

Під керівництвом співробітника Інституту два магістри з НТУУ «КПІ імені І. Сікорського» успішно захистили магістерські роботи та два здобувачі — дисертації за спеціальністю «Атомна енергетика».

У 2022 р. шість студентів НТУУ «КПІ імені І. Сікорського» проходили дипломну практику в ІПБ АЕС. Прийнято на роботу п'ять спеціалістів з вищою освітою у віці до 35 років. На додаток, три співробітники Інституту закінчили вищі навчальні заклади без відриву від виробництва.

Один молодий науковець бере участь у проведенні досліджень в рамках міжнародної угоди з МАГАТЕ за темою «Розробка та застосування ізотопних методів для ефективного управління водними ресурсами в гірничих районах».

У звітному році Інститутом організовано:

відеоконференцію з представниками Інституту радіаційного захисту та ядерної безпеки (IRSN), Франція (22 квітня, онлайн-режим);

VII Міжнародну конференцію INUDEC0'22 «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» (27–28 квітня, м. Славутич), спільно з ДСП «ЧАЕС», Виконавчим комітетом міської ради м. Славутич, ДАЗВ України та Інститутом проблем математичних машин і систем НАН України;

лекцію в рамках проєкту «Наукові зустрічі» (14 червня, м. Київ) спільно з Радою молодих вчених НАН України;

Науково-практичну міжнародну конференцію «Переробка рідких радіоактивних відходів: український контекст» (30 червня, м. Київ), спільно з Компанією «Альфа Атом», Держаною установою «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ДСП «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами», Національним університетом «Львівська політехніка» та ін.;

XVII Міжнародну науково-практичну конференцію МОДС'2022 «Математичне та імітаційне моделювання систем» (14–16 листопада, м. Чернігів), спільно з Чернігівським національним технологічним університетом, Центральним науково-дослідним інститутом озброєння та військової техніки Збройних сил України, Інститутом проблем математичних машин та систем НАН України та ін.

Водночас співробітники ІПБ АЕС брали участь у 17 міжнародних заходах в Україні, Польщі, Канаді, Німеччині, США, Швеції, Австрії, Ізраїлі, Португалії, Франції, Італії, Китаї, Японії, Великобританії та в 11 національних заходах у Києві, Харкові, Житомирі, Чернігові, Чорнобилі, Славутичі.

Інститут продовжує працювати з громадськістю, зокрема, шляхом висвітлення результатів своєї діяльності та наукових досягнень у засобах масової інфор-

мації. 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, підручників, навчальних посібників, довідників, методичних рекомендацій, доповідей на семінарах, конференціях, читанні лекцій у вищих навчальних закладах під час підготовки бакалаврів, магістрів та аспірантів.

Співробітники ІПБ АЕС брали участь у близько 20 телепередачах і 4 радіопередачах, у тому числі в інформаційному агентстві Міністерства оборони України, а також надали низку інтерв'ю [5]. Більшість матеріалів присвячена російсько-українській війні.

У 2022 р. було надруковано 7 книжкових видань, авторами яких стали співробітники ІПБ АЕС (рис. 10):

1. Булавін Л. А. Розсіяння та зв'язані стани в системі декількох частинок / Л. А. Булавін, В. І. Ковальчук, А. В. Носовський. — Київ : ІПБ АЕС НАН України, 2022. — 200 с.

2. Bulavin L. Soft Matter Systems for Biomedical Applications. Springer Proceedings in Physics Series. Volume 266 / edited by L. Bulavin, N. Lebovka. — Springer Cham, 2022. — 466 p.

3. Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України: 30 років / А. В. Носовський, О. В. Балан, В. І. Борисенко та ін.; за загальною редакцією А. В. Носовського. — Київ : ІПБ АЕС НАН України, 2022. — 608 с.

4. Use of isotope hydrology to characterize groundwater systems in the vicinity of nuclear power plants. Results of coordinated Research Proect (CRP) F33022, 2016–2020. — Kyiv : ISP NPP, NAS of Ukraine, 2022. — 200 p.

5. Prister B. Comprehensive radioecological monitoring for objects of radioactively contaminated areas / B. Prister, T. Lev, A. Nosovskyi, M. Talerko. — Kyiv : Akadempriodyka, 2022. — 286 p.

6. Досвід військових формувань у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС через призму радіаційних та хімічних загроз / Л. А. Устінова, В. Л. Савицький, М. І. Проданчук, Д. А. Бази́ка, Б. С. Прістер, Н. П. Курділь; за ред. Л. А. Устінової. — Київ : «Видавництво Людмила», 2022. — 392 с.

7. Яценко Ю. В. Метеорологічні спостереження та зведення для забезпечення цивільної авіації / Ю. В. Яценко. — Київ : Інтерконтиненталь-Україна, 2022. — 100 с.

На окрему увагу заслуговує історія підготовки колективної монографії «Use of isotope hydrology



Рис. 10. Книжкові видання співробітників ІПБ АЕС НАН України, надруковані у 2022 р.

to characterize groundwater systems in the vicinity of nuclear power plants» за результатами спільних робіт науковців із 10 країн світу в рамках гранту МАГАТЕ. Текст монографії було передано для друку у видавництво «Фенікс» ще до початку війни. Надзвичайність історії полягає в тому, що перед війною макет монографії було передано у друкарню, розташовану в м. Макарові, яке опинилося в окупації. Будівля друкарні була зруйнована вщент. Попри те, що на території друкарні буквально не залишилося «живого» місця, усе згоріло, тираж уже готової монографії дивом вцілів. Коли місто було деокуповане та російські війська відійшли, видавництво передало тираж Інституту. Інтерес до монографії виявило МАГАТЕ, попросивши надіслати примірники до 9 країн, науковці з яких брали участь у підготовці матеріалів рукопису: Аргентини, Бразилії, Литви, Італії, Марокко, Пакистану, Китаю, В'єтнаму та Японії. Зацікавленість виявляють також фахівці з України, Індії, Кувейту, Еквадору та інших країн.

З 2018 р. ІПБ АЕС є співзасновником журналу «Ядерна енергетика та довкілля» (ISSN 2311-8253) спільно з ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування»

та громадською організацією (ГО) «Українське ядерне товариство». Відповідно до Наказу МОН України № 1643 від 28.12.2019 р. журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України [6]. Журнал індексується в базах даних Index Copernicus (входить до Index Copernicus Master List), Google Scholar, INIS, ResearchBib.

Результати досліджень співробітників Інституту у 2022 р. опубліковані в наукових виданнях, що індексуються провідними наукометричними базами даних (Scopus, Web of Science). Загальна кількість цих статей у півтора рази перевищує аналогічний показник порівняно з середнім значенням 2017–2021 рр. і відповідає показнику минулого року. Водночас публікаційна активність закордоном підвищилась також у півтора рази порівняно з середнім значенням аналогічного показника за останніх п'ять років і відповідає показнику 2021 р. Кількість статей у рецензованих фахових виданнях України на 24% менша, ніж попереднього року.

Отримано 12 актів впровадження результатів науково-дослідницьких робіт, що відповідає їхній кількості минулого року. Крім цього, в ІПБ АЕС НАН України у 2022 р. посилено склад підрозділу з пи-

тань трансферу технологій, інноваційної діяльності та інтелектуальної власності, що, зокрема, сприяло збільшенню зареєстрованих об'єктів права інтелектуальної власності в шість разів порівняно з середнім значенням аналогічного показника за останніх п'ять років.

З причини введення в Україні воєнного стану та метою збереження наукового потенціалу більшість зустрічей і заходів відбувається в онлайн-режимі за допомогою сучасних телекомунікаційних засобів, тому ІПБ АЕС постійно підтримує свій інтернет-сайт [7], а також сайт науково-технічного журналу «Ядерна енергетика та довкілля» в належному стані. Створена робоча група з популяризації наукової діяльності оперативно надає до прес-служби НАН України відповідну інформацію. Як приклад, у 2022 р. було направлено більше 15 матеріалів, які надалі були розміщені на сайті НАН України [8].

### 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 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 зруйнованого четвертого енергоблока, 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.

За складних умов ІПБ АЕС НАН України підтримує в належному технічному стані будівлі та приміщення установи в м. Києві, а також докладає великих зусиль для відновлення лабораторної бази в м. Чорнобилі, яка постраждала внаслідок збройної агресії Російської Федерації проти України. Так, для виконання проектних робіт із відбудови лабораторних приміщень залучено Спеціалізовану проектну організацію. Зокрема, у 2022 р. відремонтовано покрівлю та встановлено блискавкозахист на будівлю в м. Чорнобилі.

Таким чином, незважаючи на об'єктивні складнощі, ІПБ АЕС НАН України докладає всіх можливих зусиль для збереження науково-технічного по-

тенціалу та виконання важливих завдань відповідно до основних напрямів своєї діяльності, а також керуючись стратегією розвитку планує стати провідною організацією України з науково-технічного супроводу діяльності з мирного використання ядерної енергії.

### Список використаної літератури

1. Про перебування російських окупантів на території зони відчуження Чорнобильської АЕС / ІПБ АЕС НАН України : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: <https://www.ispnpp.kiev.ua/rashist-maroders>.
2. Носовський А. В. Щодо наслідків тимчасової окупації території зони відчуження Чорнобильської АЕС: Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 20 квітня 2022 року / А. В. Носовський // Вісник Національної академії наук України. — Вип. 6. — С. 65–71. — doi.org/10.15407/vsn2022.06.065.
3. Рішення про затвердження постачальника № РШ-П 0.46.055-22. — Київ : ДП «НАЕК «Енергоатом». — Режим доступу: <https://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/01/RSH-P0.46.055-22.pdf>.
4. Hu J. A tuning-free wildfire detection algorithm reveals the impact of both Chornobyl wildfires and the Russian invasion of Ukraine in 2022 / J. Hu, Y. Igarashi, S. Kotsuki, Z. Yang, M. Talerko, V. Landin, O. Tischenko, M. Zheleznyak, V. Protsak, S. Kirieiev // Research Square. — July 2022. — doi.org/10.21203/rs.3.rs-1833678/v1.
5. Звіт про діяльність Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2022 році / ІПБ АЕС НАН України. — Київ, 2022. — 156 с. — Режим доступу: <https://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/10/zvit-2022.pdf>
6. Науково-технічний журнал «Ядерна енергетика та довкілля» : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: <http://npe.org.ua/uk>.
7. Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: <http://www.ispnpp.kiev.ua>.
8. Національна академія наук України : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: <https://www.nas.gov.ua/ua/pages/default.aspx>.

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

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

## The Work Results of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the NAS of Ukraine in 2022

The most important results of the scientific and scientific-organizational activities of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine (ISP NPP, NAS of Ukraine) in 2022 are presented. It is shown that even under the extremely difficult conditions in which the entire country is due to the invasion of Russian troops into the territory of Ukraine, the employees of the Institute made great efforts to implement planned tasks to ensure nuclear and radiation safety of the destroyed fourth power unit of the Chornobyl nuclear power plant, handling of nuclear hazardous materials, as well as increasing the reliability and safety of nuclear power plants operation. The results of these studies were implemented in the fields of production, electric power industry and during the educational process, as well as highlighted in a number of publications and scientific events. Thus, despite the objective difficulties and guided by the development strategy, the ISP NPP plans to preserve the scientific and technical potential under the conditions of power outages, lack of heating and water supply in some places, disruption of the functioning of public transport, telecommunications and data transmission facilities, etc., as well as to become the leading organization of Ukraine for scientific and technical support of activities for the peaceful use of nuclear energy.

**Keywords:** Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, results of scientific activity, coverage of scientific achievements, international cooperation, creation of objects of intellectual property law, publishing activity.

## References

1. [On the presence of Russian occupiers in the Exclusion Zone of the Chornobyl nuclear power plant]. ISP NPP, NAS of Ukraine: official website. Available at: <https://www.ispnpp.kiev.ua/rashist-maroders>. (in Ukr.)
2. Nosovskyi A. V. [Regarding the consequences of the temporary occupation of the Exclusion Zone of the Chornobyl nuclear power plant: transcript of the report at the meeting of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine on April 20, 2022]. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, vol. 6, pp. 65–71. doi.org/10.15407/vsn2022.06.065.
3. *Decision on supplier approval No. PIII-II 0.46.055-22*. Kyiv: SE NNEGC “Energoatom”. Available at: <https://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/01/RSH-P0.46.055-22.pdf>. (in Ukr.)
4. Hu J., Igarashi Y., Kotsuki S., Yang Z., Talerko M., Landin V., Tischenko O., Zheleznyak M., Protsak V., Kiriev S. (2022). A tuning-free wildfire detection algorithm reveals the impact of both Chornobyl wildfires and the Russian invasion of Ukraine in 2022. *Research Square*. doi.org/10.21203/rs.3.rs-1833678/v1.
5. *Report on the activities of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2022*. Kyiv: ISP NPP, NAS of Ukraine, 2022, 156 p. Available at: <https://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/10/zvit-2022.pdf>. (in Ukr.)
6. Scientific Journal “Nuclear Power and the Environment”: official website. Available at: <http://www.npe.org.ua>.
7. Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the NAS of Ukraine: official website. Available at: [www.ispnpp.kiev.ua](http://www.ispnpp.kiev.ua).
8. National Academy of Sciences of Ukraine: official website. Available at: <https://www.nas.gov.ua/ua/pages/default.aspx>.

Надійшла 20.03.2023

Received 20.03.2023