

І. В. Куцина, В. С. Гавриленко, 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 2021 році

Ключові слова:

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій, НАН України, наукова діяльність, впровадження результатів досліджень, міжнародне співробітництво, робота з засобами масової інформації, видавнича діяльність

Наведено основні результати наукової та науково-організаційної діяльності Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2021 р. Показано, що незважаючи на об'єктивні складнощі, зумовлені економічною й епідеміологічною ситуацією у світі, співробітниками Інституту були отримані важливі науково обґрунтовані результати з фундаментальних і прикладних досліджень, зокрема, щодо ядерної та радіаційної безпеки об'єкта «Укриття», а також підвищення надійності та безпеки експлуатації атомних електростанцій. Ці результати впроваджені та використовуються у законотворчій діяльності України, на виробництві, в електроенергетиці та в закладах вищої освіти.

Вступ

У 2021 р. вже другий рік поспіль Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України (ІПБ АЕС НАН України), як і всі наукові установи в Україні та світі, продовжував свою роботу в умовах пандемії. Додаткові складнощі зумовили також економічні та політичні чинники. Однак попри обмеження та необхідність суттєво коригувати формат виконання поставлених завдань, науковці інституту продовжували докладати необхідних зусиль для виконання запланованих науково-дослідницьких робіт, впровадження їхніх результатів та представлення їх у публікаціях та в рамках наукових заходів.

ІПБ АЕС був створений на підставі Постанови Президії НАН України № 44 від 16.02.2004 р. шляхом реорганізації Міжгалузевого науково-технічного центру «Укриття», який, у свою чергу, було започатковано відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 55 від 04.02.1992 р. Інститут став правонаступником Міжгалузевого науково-технічного центру з усіх питань і зобов'язань. На Інститут було покладено

обов'язки наукового керівника робіт зі зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) та перетворення об'єкта «Укриття» (ОУ) на екологічно безпечну систему, а також відповідальність за подальший розвиток фундаментальних і прикладних досліджень у галузі безпеки атомних станцій, їхню належну організацію та координацію [1].

На сьогоднішній час Інститут має такі напрями наукової діяльності:

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

За весь час існування ІПБ АЕС НАН України його очолювали такі видатні вчені: Карасьов В. С. (1992–1993 рр.); Токаревський В. В. (1993–1995 рр.); Ключников О. О. (1996–2015 рр.); Носовський А. В. (з 2016 р. і станом на сьогодні).

У зв'язку з оголошенням НАН України конкурсу на заміщення посади директора ІПБ АЕС були організовані та проведені вибори відповідно до Статуту

© І. В. Куцина, В. С. Гавриленко, Д. І. Хвалін, 2022

Інституту та Методичних рекомендацій щодо особливостей обрання керівника державної наукової установи, затверджених постановою Кабінету Міністрів України № 998 від 14.12.2016 р. Згідно з результатами таємного голосування та п. 3.12.4 Статуту НАН України директором ІПБ АЕС обрано чл.-кор. НАН України, д-ра техн. наук, проф. Носовського А. В., який набрав більше двох третин голосів.

На сесії Загальних зборів НАН України 26 травня 2021 р. чл.-кор. НАН України, д-ра техн. наук, проф. Носовського А. В. обрано дійсним членом (академіком) НАН України.

У 2021 р. за вирішення проблем безпеки об'єктів атомної енергетики, багаторічну сумлінну працю, високий професіоналізм та з нагоди 35-х роковин Чорнобильської катастрофи нагороджені: Медаллю «За працю і звитягу» — 1 працівник, Грамотами Верховної Ради України — 2 працівника, Цінними подарунками Голови Верховної Ради України — 2 працівника, Подяками Президії НАН України — 4 працівники. Крім того, за особисті досягнення нагороджені: Медаллю «За оборону рідної держави» — 1 працівник, Відзнакою «Почесний громадянин міста Славутич» — 1 працівник, Відзнакою НАН України для молодих учених «Талант, натхнення, праця» — 1 працівник.

У 2021 р. згідно з Тематичним планом науковими співробітниками Інституту виконувались 8 робіт за бюджетними темами відомчої тематики, 3 — програмно-цільової та конкурсної тематики, а також 8 — госпдоговірної тематики. У цій статті наведено результати, які отримані під час виконання робіт з кожного напрямку діяльності Інституту.

Перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему

У рамках науково-технічного супроводу робіт щодо введення Нового безпечного конфайнмента (НБК) в експлуатацію виконано комплекс досліджень з обґрунтування ядерної та радіаційної безпеки, що дозволило ЧАЕС отримати ліцензію на переробку та зберігання РАВ, а також забезпечити початок виконання практичної діяльності з експлуатації НБК щодо перетворення ОУ на екологічно безпечну систему (рис. 1, 2). Співробітниками Інституту виконано дослідження впливу НБК на довкілля та розроблено комплекс коригувальних дій у разі виникнення небезпечних наслідків від погіршення радіаційних умов під час експлуатації кон-



Рис 1. Загальний вигляд Нового безпечного конфайнмента



Рис 2. Об'єкт «Укриття» під Новим безпечним конфайнментом

файнмента. На основі комплексного довгострокового моніторингу досліджено вплив стану лавоподібних паливовмісних матеріалів (ЛПВМ) на рівень ядерної безпеки НБК і побудовано базу даних з сукупністю інформації про основні характеристики цих матеріалів, що дозволило розробити організаційно-технічні заходи щодо запобігання або зниження ризиків від погіршення їхнього стану. Результати робіт впроваджені у державному спеціалізованому підприємстві (ДСП) «ЧАЕС», що дозволило покращити контроль рівня ядерної та радіаційної безпеки під час перетворення ОУ на екологічно безпечну систему.

Шляхом виконання комплексних робіт досліджено стан захисного полімерного покриття у підпокрівельному просторі ОУ та визначено вплив контрольних параметрів на експлуатацію комплексу НБК-ОУ, що сприяє зменшенню негативних наслідків радіаційного навантаження на довкілля. Результати роботи впроваджені в ДСП «ЧАЕС» і дозволили приймати науково обґрунтовані рішення щодо термінів проведення зрошування захисним покриттям поверхонь у підпокрівельному просторі ОУ.

Крім цього, у 2021 р. під час виконання науково-дослідницьких робіт отримано результати, які дозволяють планувати та виконувати майбутні роботи щодо перетворення ОУ на екологічно безпечну систему. Так, на основі експериментальних досліджень розроблено модель перерозподілу радіонуклідів у поровому просторі ЛПВМ ОУ, яка дозволяє за допомогою електрокінетичних процесів перевести ці матеріали у хімічно стабільні кристалічні сполуки та сприяє створенню нових методів кондиціювання для забезпечення умов довготривалого зберігання та/або їхнього майбутнього захоронення. Розроблена модель впроваджена у ДСП «ЧАЕС», що сприяє підвищенню достовірності визначення поведінки ЛПВМ в умовах НБК і впливає на рівень ядерної та радіаційної безпеки. Науково обґрунтовані рішення щодо поводження з ЛПВМ були використані у законотворчій діяльності Національної комісії з радіаційного захисту населення України при Верховній Раді України, зокрема під час підготовки експертного висновку до проекту Закону про внесення змін до Загальнодержавної програми зняття з експлуатації ЧАЕС та перетворення ОУ на екологічно безпечну систему (реєстр. № 5602 від 03.06.2021 р.), внесеного Кабінетом Міністрів України. Запропоновані методичні рекомендації щодо створення нових методів кондиціювання ЛПВМ використовуються у низці дисциплін навчального процесу 4-го освітнього рівня Державної Установи «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» під час підготовки аспірантів спеціальності 103 «Науки про Землю» (спеціалізація «Екологічна безпека»).

Визначено фактори, що впливають на вибір сценаріїв перетворення ОУ, оцінено ризики несприятливих впливів на довкілля кожного зі скупчень ПВМ, проведено аналіз національних нормативно-правових актів та оцінку їхньої достатності для вирішення комплексу завдань щодо перетворення ОУ на екологічно безпечну систему, а також розроблено методологічно-технічні пропозиції з підвищення ефективності й інформативності штатної системи контролю ядерної безпеки НБК. Отримані результати у вигляді науково обґрунтованих рекомендацій щодо поетапного вилучення або переведення в контрольований стан ПВМ заплановані до впровадження у Державному агентстві України з управління зоною відчуження (ДАЗВ) і ДСП «ЧАЕС».

Безпека експлуатації ядерних установок

В умовах необхідності і важливості впровадження програми нового будівництва ядерних енер-

гоблоків для забезпечення енергетичної незалежності України досліджено важливі характеристики сучасної реакторної установки AP1000, яка ліцензована у США, Канаді і деяких інших країнах. Досліджено переваги проекту AP1000 перед іншими сучасними реакторними установками EPR-1750, APR-1400, ВВЕР-1200, а також питання, на які необхідно звернути особливу увагу під час обґрунтування впровадження технології AP1000 в ядерній енергетиці України.

Під час планування обсягів споживання електроенергії в Україні на період 2020–2040 рр. рекомендовано використовувати результати аналізу розвинених країн, а також країн, рівень споживання електроенергії яких близький до нашої держави. Отримані прогностичні оцінки щодо споживання електроенергії в Україні дозволяють визначити оптимальні діапазони встановленої потужності енергоблоків АЕС, у тому числі з урахуванням введення потужностей заміщення на АЕС України.

Виконано системний аналіз перспективних напрямів розвитку атомної енергетичної галузі, типів та особливостей використання реакторних установок нового покоління, а також систематизовано визначальні фізико-технічні проблеми реалізації нових технологій у головному обладнанні ядерних енергоблоків нового покоління. Отримані результати у вигляді багатокритеріальної методології вибору перспективних ядерно-енергетичних технологій заплановані до впровадження у Державному підприємстві Національна атомна енергогенеруюча компанія (ДП НАЕК) «Енергоатом» та дозволяють науково обґрунтувати вибір основного обладнання, конструктивних і будівельних матеріалів для ядерно-енергетичного сектору України.

Узагальнено відомості про особливості проявів потенційно небезпечних теплогідравлічних аномалій, що виникають у процесі експлуатації активних зон ВВЕР. Значну увагу приділено загрозі неконтрольованого виникнення в тепловидільних збірках латентних передаварійних та аварійних експлуатаційних станів під час генерації парової фази на поверхні твелів, включаючи кризу тепловіддачі в умовах подальшого кипіння теплоносія. Відзначено, що в цих умовах тепловіддача, яка має відбуватися виключно в конвективному режимі, характеризується також неконтрольованим виникненням процесу кипіння, від активації перших центрів пароутворення до формування розвиненої пухиркової структури теплоносія. Розглянуто обмежені можливості сучасних технічних засобів моніторингу технічного стану ВВЕР, які

не забезпечують виявлення зазначених аномалій та передаварійних режимів тепловіддачі. З огляду на дані про флуктуації потоку нейтронів, показано, що шумові складники на виході штатних детекторів нейтронного потоку (детектори прямого заряду) несуть важливу діагностичну інформацію, яка наразі втрачається, щодо теплогідрравлічних процесів в об'ємі активної зони. З урахуванням цього зроблено висновок про необхідність невідкладної розробки методології оперативної ідентифікації випадкових спектральних реалізацій нейтронного шуму, що реєструється на виходах нейтронних детекторів існуючих систем внутрішньореакторного контролю. Визначено характер необхідних надійних даних про спектральну структуру основних типів діагностичних образів нейтронного шуму відповідно до основних типів теплогідрравлічних аномалій. Наведено аналіз даних відомих, а також виконаних за участі науковців інституту реакторних експериментів, на основі якого доведено, що спектральна структура авто- та когерентної густини сигналів на виході штатних детекторів нейтронного потоку містить вичерпну діагностичну інформацію стосовно типу та місця локалізації парорідинних структур в активній зоні ВВЕР. З огляду на це проаналізовано інформаційні характеристики окремих спектральних діапазонів нейтронного шуму і зроблено висновки щодо безпосередньої їх відповідності до характерних теплогідрравлічних процесів, як об'єктів діагностики.

На основі узагальнення тенденцій розвитку водоохолоджуваних енергетичних ядерних реакторів, аналізу стану відповідних досліджень та досвіду науковців інституту сформульовано науково-практичні напрями та конкретизовано першочергові науково-технічні проблеми, пов'язані з забезпеченням надійності та продовженням термінів гарантованої експлуатації діючих та перспективних ядерних енергоустановок. Визначено основні недоліки існуючих систем контролю та діагностики перебігу складних багатофакторних нейтронно-фізичних, теплогідрравлічних та вібраційних процесів, якими супроводжується експлуатація цих реакторів, включаючи їх найважливіше головне обладнання — активні зони — і показано принципову недосконалість цих систем та невідповідність їх зростаючим вимогам безпеки. Відзначено необхідність запровадження методів спектрального аналізу та штучного інтелекту для врахування флуктуаційних складових сигналів датчиків основних технологічних параметрів. Наголошено на необхідності зміни принципів побудови

систем контролю та діагностики шляхом створення засобів автоматичної діагностики, здатних виявляти початкові фази потенційно небезпечних аномалій, що має полегшити інформаційно напружені умови праці персоналу, підвищити ефективність та економічність оперативних рішень та оптимізувати ремонтну політику із суттєвим подовженням ресурсу обладнання. Сформульовано вимоги до створюваного інтелектуального діагностичного функціоналу водоохолоджуваних реакторів, визначено напрями побудови математичних моделей, алгоритмічного та програмного забезпечення комп'ютерних комплексів автоматичного контролю та діагностики.

На основі багатофакторного імітаційного моделювання визначено термодинамічні та структурні параметри матеріалів реактора на надкритичній воді під впливом радіаційного випромінювання. З урахуванням поведінки надкритичної води під впливом опромінення досліджено термодинамічні параметри рідинної системи, яка утворюється за можливих режимів роботи цього реактора, що дозволило оцінити надійність матеріалів зовнішніх конструкційних елементів і стійкість матеріалів внутрішніх конструкцій під впливом радіаційного випромінювання за надкритичних умов і коректно визначити можливий термін їхньої експлуатації. Наукові та науково-практичні результати у вигляді рекомендацій щодо вибору конструкційних матеріалів з продовженням терміном експлуатації за умов інтенсивного радіаційного опромінення та методики визначення фізико-хімічних властивостей води у надкритичному стані використано під час навчального процесу на кафедрі молекулярної фізики фізичного факультету Київського національного університету (КНУ) імені Тараса Шевченка.

У рамках угоди про співробітництво з компанією Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. (Китайська Народна Республіка) групою співробітників ІПБ АЕС спільно з китайськими інженерами виконується розробка концепту робота для очищення труб охолодження конденсаторів на АЕС Ціньшань. Оскільки під час експлуатації системи охолодження конденсаторів на цій АЕС, яка використовує морську воду, виникає проблема засмічення трубопроводу, це зумовлює необхідність розробки мобільних пристроїв для їхнього очищення. Фахівцями Інституту було запропоновано концепт мобільного робота, який має компактні розміри в транспортному положенні та збільшує свою базу в робочому стані, що дозволяє виконувати очищення трубопроводу діа-

метрами 1 200 і 4 000 мм без участі людини (рис. 3, 4). Після проведення низки розрахунків розроблено унікальне шасі зі змінною геометрією для переміщення у циліндричних поверхнях, а також ґрунтозабірний комплекс і систему подачі інструмента. Цей концепт був представлений замовнику China National Nuclear Corporation. Станом на сьогодні проходять

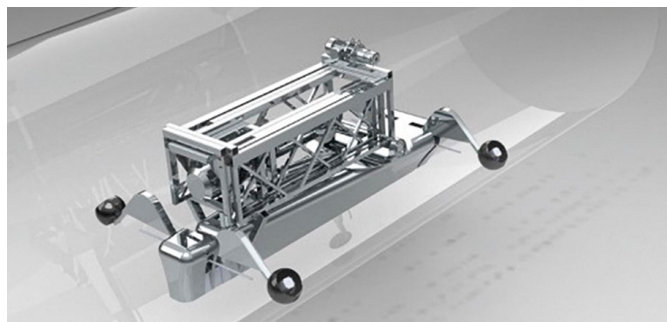


Рис 3. Транспортне положення мобільного робота в трубопроводі



Рис 4. Робоче положення мобільного робота



Рис 5. Випробувальна платформа для нахилого транспортера відпрацьованих збірок демонстраційного реактора

переговори щодо технічної реалізації проєкту. Результати роботи заплановані до впровадження на АЕС Ціньшань.

Зняття з експлуатації ядерних установок

У рамках методичного та науково-технічного супроводу тестування термічної та пінної дезактивації РАВ визначено ефективність застосування технологій Корейського науково-дослідного інституту на реальних радіоактивно забруднених зразках бетону та металу ЧАЕС, а також розроблено рекомендації з підвищення ефективності та застосування цих технологій на ЧАЕС. Результати роботи впроваджено у ДСП «ЧАЕС» і сприяють зменшенню радіаційного навантаження на персонал та довкілля.

Розроблено методичні рекомендації щодо визначення бета-активності «гарячих» частинок та їхнього розподілу за активністю на основі авторадіографії забруднених поверхонь, що надає можливість проводити дослідження з визначення закономірності утворення та шляхів поширення радіоактивних аерозолів фахівцям, які не мають попереднього досвіду з таких робіт.

У рамках угоди про співробітництво ІПБ АЕС з компанією Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. виконується розробка технічного рішення випробувальної платформи для нахилого транспортера відпрацьованих збірок демонстраційного реактора на швидких нейтронах потужністю 600 МВт. Під час роботи, зокрема, розроблено та запропоновано концептуальне рішення у вигляді універсальної випробувальної платформи, яка відповідає одночасно параметрам транспортера відпрацьованих збірок і транспортера екранованого приміщення (рис. 5). З метою чіткого загального уявлення про розроблений концепт співробітниками Інституту підготовлено та передано спеціалістам компанії Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. анімаційний демо-ролик. Після детального аналізу концепту з китайської сторони та двостороннього обговорення особливостей конструкції було прийнято рішення щодо незначного корегування проєктних матеріалів з подальшим затвердженням концептуального рішення. Результати роботи заплановані до впровадження на АЕС Хайян.

Виконано математичне моделювання розповсюдження радіоактивних аерозолів, які потрапили в атмосферу за рахунок лісових пожеж у 2015, 2018 і 2020 рр., для Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) та території України (рис. 6, 7).

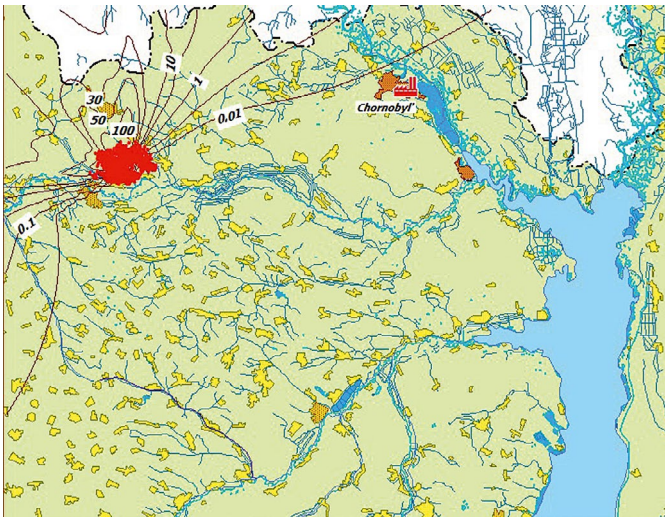


Рис. 6. Моделювання атмосферного розповсюдження радіоактивних аерозолів у результаті лісових пожеж у ЧЗВ

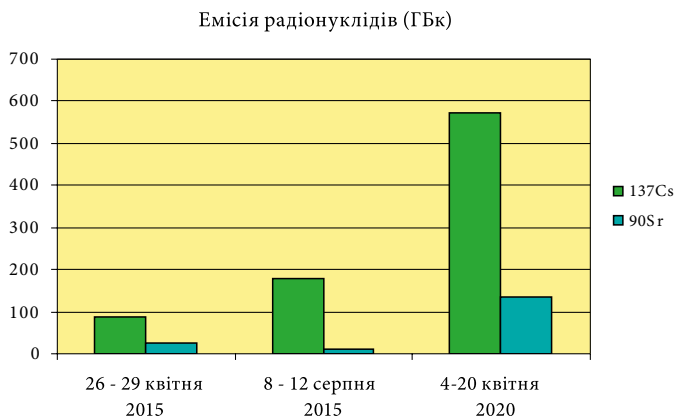


Рис. 7. Усереднене значення емісії радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr , які потрапили в атмосферу за рахунок лісових пожеж

На основі даних дистанційного зондування місцевості виконано дослідження ефективності визначення ділянок лісових екосистем, що зазнали впливу пожежі 2020 р. На відповідних ділянках було відібрано 42 проби біомаси рослинності, лісової підстилки та ґрунту для подальшого їхнього аналізу на вміст радіонуклідів з метою актуалізації даних щодо радіоактивного забруднення досліджуваної території та визначення закономірності міграції радіонуклідів у компоненти біомаси рослинності з ґрунту та підстилки, а також розрахунку валових запасів радіонуклідів у дерево-станах лісових екосистем. Це дозволило створити файл реєстру проб з геолокацією місць відбору.

З урахуванням радіоекологічної критичності виконано комплексну оцінку впливу ЧЗВ на прилеглу територію в радіусі 100 км у період лісових пожеж, що дозволило визначити найбільш критичні території, на яких можливе формування небезпечних рівнів до-

зового навантаження на населення під час повітряного перенесення радіонуклідів із ЧЗВ у випадку лісових пожеж та екстремальних метеорологічних явищ (пилі бурі) в зоні. Розглянуто різні сценарії структури регіонального землекористування та побудовано тематичні оціночні карти, які є основою для превентивного планування реабілітаційних заходів відповідно до норм радіаційної безпеки в разі критичних ситуацій.

Науково обґрунтовані рекомендації з екологічної реабілітації радіоактивно забруднених територій ЧЗВ на основі результатів експериментальних і модельних досліджень заплановані до впровадження у ДАЗВ України й Міністерство аграрної політики та продовольства України, а також сприяють розробці науково обґрунтованих рекомендацій щодо можливості повернення різних частин території ЧЗВ до різних форм господарського використання, у тому числі виробництва сільськогосподарської продукції, вибору та зміни форм землекористування на сільськогосподарських територіях, прилеглих до зони відчуження.

Поводження з ВЯП і РАВ

У 2021 р. на майданчику ЧАЕС було введено у промислову експлуатацію сховище сухого типу (СВЯП-2) для приймання, підготовки до зберігання і безпосередньо довгострокового зберігання (протягом 100 років) ВЯП реакторів РБМК. У межах роботи над цим проектом співробітники ІПБ АЕС брали участь у розробці розділів Програми науково-технічного супроводу об'єкта «Завершення будівництва сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2) на майданчику ДСП ЧАЕС на етапах будівництва та введення в експлуатацію» та забезпеченні науково-інженерного супроводу буріння та облаштування спостережних свердловин радіогідроекологічного моніторингу.

У рамках науково-технічного супроводу на етапах будівництва та введення в експлуатацію Централізованого сховища ВЯП (ЦСВЯП) виконано аналіз достатності й ефективності заходів із забезпечення радіаційної безпеки персоналу та довкілля за умов, які не регламентовані чинними нормами та стандартами, а також проведено вібродинамічні випробування будівлі приймання ВЯП (рис. 8). Розроблений попереднього року Регламент радіаційного контролю на етапі введення в експлуатацію ЦСВЯП погоджено Державною інспекцією ядерного регулювання України. Все це сприяє посиленню енергетич-



Рис. 8. Будівля приймання відпрацьованого ядерного палива

ної незалежності України за рахунок відмови від послуг Російської Федерації зі зберігання відпрацьованого палива.

У рамках наукового супроводу на етапі введення в експлуатацію промислового комплексу з переробки твердих РАВ Чорнобильської станції за допомогою розробленого програмного забезпечення для розрахунку коефіцієнтів радіонуклідного вектора й обробки лабораторних даних проведено вдосконалення параметрів системи радіаційного та технічного контролю промислового комплексу, а також забезпечено роботу системи паспортизації упаковок із цими відходами (рис. 9). Результати роботи впроваджені у ДСП «ЧАЕС».



Рис. 9. Промисловий комплекс з переробки твердих радіоактивних відходів

Співпраця з національними та закордонними науковими організаціями

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

Інститут має угоди про співробітництво з такими міжнародними організаціями та компаніями як:

Міжнародне агентство з атомної енергії (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 Reactorsicherheit, GRS (Німеччина); Японське агентство з атомної енергії (Japan Atomic Energy Agency, JAEA), Національна корпорація «Університет Фукусіми» (Японія); товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «Китайсько-українські ядерно-енергетичні технології Сянчу»; Університет Південної Кароліни, Університет штату Східного Теннессі, Університет Клемсона, Аргонська національна лабораторія (США); компанія Qingdao Xianchu Energy Development Group Ltd. (КНР), Університет Брістоля (Велика Британія), Корейський науково-дослідний інститут атомної енергії (Південна Корея); Університет Упсала (Швеція) та інші.

За результатами роботи в рамках гранту 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., підготовлено до друку колективну монографію «Use of isotope hydrology to characterize groundwater systems in the vicinity of nuclear power plants».

У рамках угоди про науково-технічне співробітництво між Японським агентством з атомної енергії (JAEA) та ІПБ АЕС виконуються дослідження деградації ПВМ унаслідок впливу мікроорганізмів. Мета — визначення структури мікробів в ОУ та впливу мікроорганізмів на перерозподіл радіонуклідів у сформованій у ньому екосистемі. Отримані під час виконання роботи експериментальні дані демонструють процеси вилугування, що свідчить про змішані фізико-хімічні (внаслідок хімічного впливу води) та біологічні (вплив мікроорганізмів) закономірності процесів. Зразки культур з ОУ продемонстрували значно вищий ступінь переходу ^{137}Cs до культурального середовища порівняно з рештою експериментальних і контрольних зразків, що дозволяє стверджувати про внесок певних видів мікроорганізмів у процеси вилугування. Підвищення кислотності культурального середовища зразків з мікроорганізмами ОУ передбачає модифікацію водневого показника (рН) як одного з механізмів біовилугування.

У 2021 р. продовжено роботи в рамках спільного українсько-японського проєкту «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 Technologies Agency, JST) і Японського агентства міжнародного співробітництва (Japan International Co-operation 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 ЧЗВ.

Проведено засідання спільної групи WG3 проєкту за напрямом «Оцінка атмосферного забруднення на основі наземного моніторингу та комп'ютерного моделювання розповсюдження радіоактивних аерозолів» (представники від Японії — Інститут радіоактивності навколишнього середовища Фукусіма-І, Інститут проблем математичних машин і систем НАН України та ДСП «Екоцентр»). З використанням двох фільтро-вентиляційних установок Sibata HV-RW, встановлених на території Гідроцеху ЧАЕС та біля берегової насосної станції, проведено перші відбори проб радіоактивних аерозолів у приземному повітрі на території осушеної частини ставка-охолоджувача ЧАЕС. Після виходу з ладу обох установок у серпні 2021 р. вони відправлені на ремонт до Японії. Розроблену в ІПБ АЕС модель розрахунку підйому та подальшого розповсюдження радіоактивних аерозолів в атмосфері внаслідок лісових пожеж адаптовано до умов Японії та використано для оцінки наслідків лісової пожежі радіоактивно забруднених лісів у 2017 р. зони обмеження АЕС Фукусіма-І.

У рамках договору між ІПБ АЕС та South West Nuclear Hub / School of Physics University of Bristol (Беліка Британія) виконується робота «Випробування експериментальних пристроїв для оцінки радіаційних умов об'єктів на ЧАЕС і НБК». Під час виконання роботи, зокрема, з використанням методів і обладнання дистанційного роботизованого радіаційного картографування та комплексного інженерно-радіаційного обстеження виконано візуальне тривимірне об'ємне сканування у широкому спектральному діапазоні та створено тривимірні термограми, проведено дистан-

ційне тривимірне картографування західної стіни ОУ, радіаційне тривимірне картографування приміщень Чорнобильської станції та НБК за допомогою чотириноного самохідного робота Boston Dynamics «Spot» (рис. 10). Це дозволило отримати нові наукові дані про об'єкти та провести унікальні експерименти в умовах підвищеного радіаційного фону та випробування унікального обладнання [2].



Рис. 10. Чотириногий самохідний робот Boston Dynamics «Spot»

Незважаючи на складну епідеміологічну ситуацію світового масштабу, яка ускладнює міжнародну діяльність, у 2021 р., зокрема, було підписано договір з МАГАТЕ «Розробка та застосування ізотопних методів для ефективного управління водними ресурсами в гірничих районах» (Development and Application of Isotope Techniques for Efficient Water Resources Management in Mining Areas, Research Contract No. F33026). Мета роботи — оцінка впливу підприємств Калусько-Голинського родовища калійних солей на засолення питного водоносного горизонту за допомогою ізотопного методу та математичної моделі техногенно-геологічних умов. Під час виконання досліджень, зокрема, виконано аналіз умов засолення території Калусько-Голинського родовища, зроблено відбір проб підземних і поверхневих вод, на основі лабораторних досліджень визначено хімічний склад і концентрації тритію, дейтерію, калію та ізотопів кисню. Встановлено, що вода родовища має підвищений вміст тритію та дейтерію порівняно з підземними водами. Подальший аналіз ореолів розповсюдження ізотопів у підземних водах дозволить визначити масштаб забруднення підземних вод.

Крім цього, у 2021 р. між Університетом Упсала (Швеція) та ІПБ АЕС було підписано меморандум про науково-технічне співробітництво щодо моніторингу ксенону в ОУ. Мета — розробка методології та

технології моніторингу ізотопів ксенону в ОУ для підтвердження ефективності роботи системи ядерної безпеки комплексу НБК-ОУ. Під час виконання досліджень, зокрема, виконано польові роботи задля визначення точок відбору проб ізотопів ксенону, проведено попередні роботи з відбору ізотопів ксенону за допомогою фільтраційних пасток, а також розглянуто концептуальне рішення про інтеграцію системи у штатні системи контролю ПБМ ОУ та управління НБК [3].

Науково-організаційна діяльність

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

Під керівництвом співробітників Інституту один здобувач захистив кандидатську дисертацію на спеціалізованій вченій раді ІПБ АЕС за спеціальністю 05.14.14 — теплові та ядерні енергоустановки; один здобувач захистив докторську дисертацію на спеціалізованій вченій раді КНУ імені Тараса Шевченка за спеціальністю 01.04.14 — теплофізика та молекулярна фізика.

У 2021 р. два студента Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» проходили дипломну практику в ІПБ АЕС. Прийнято на роботу сім спеціалістів з вищою освітою у віці до 35 років. На додаток, один співробітник Інституту закінчив вищий навчальний заклад без відриву від виробництва.

На стажування в установи за кордоном відправлено троє наукових працівників.

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

У звітному році Інститут взяв участь в організації таких заходів:

VI Міжнародна конференція INUDEC0'21 «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» (26–29 квітня, м. Славутич), спільно з ДСП «ЧАЕС», Виконавчим комітетом міської ради м. Славутич, ДАЗВ України та Інститутом проблем математичних машин і систем НАН України. У рамках роботи конференції було проведено Міжнародну дискусійну па-

нель з громадською організацією «Українське ядерне товариство» (ГО «УкрЯТ») на тему «35-ті роковини аварії на ЧАЕС: від минулого до майбутнього»;

XVI Міжнародна науково-практична конференція МОДС'2021 «Математичне та імітаційне моделювання систем» (28 червня — 1 липня, 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.;

Семінар з науковцями Брістольського університету Королівської інженерної академії Великої Британії (20–24 вересня, м. Чорнобиль), спільно з ДСП «ЧАЕС»;

Семінар з науковцями Шведської агенції з оборонних досліджень (FOI) та Університету Упсала (15–18 листопада, м. Чорнобиль), спільно з ДСП «ЧАЕС».

Водночас співробітники ІПБ АЕС брали участь у 17 міжнародних заходах в Україні, Казахстані, Канаді, Німеччині, США, Швейцарії, Угорщині, Португалії, Франції, Росії, Японії, Великобританії та в 11 національних заходах у Києві, Харкові, Житомирі, Чернігові, Чорнобилі, Славутичі.

Співробітники ІПБ АЕС брали участь у:

1) Підготовці до 35-х роковин аварії на ЧАЕС телевізійних проєктів від телеканалів:

Громадське телебачення «Науковий полігон. Чорнобиль. Документальний фільм» [4];

Телеканал Україна «Вартові мирного атома» [5];

Радіосвобода «Інший Чорнобиль: Магніт зони відчуження» [6];

Факти ICTV, Документальний фільм сайту Факти ICTV, оснований на невідомих історіях очевидців і ліквідаторів аварії на ЧАЕС [7].

2) Зустрічі з молоддю (проведення двох лекцій) в онлайн-режимі на тему «Чорнобильська зона та об'єкт «Укриття». Сучасний стан та майбутнє» в рамках проєкту «Наукові зустрічі» [8].

3) III Міжнародному круглому столі «Перспективи впровадження інновацій в атомну енергетику» (Організатори: ГО «УкрЯТ» та Рада молодих вчених при Відділенні фізико-технічних проблем енергетики НАН України).

4) Панельній дискусії «Атомні можливості для енергетичної незалежності України» в рамках XIX Міжнародного енергетичного бізнес-форуму 20 жовтня 2021 р. у ДП НАЕК «Енергоатом».

5) Зустрічі з німецькими студентами в рамках літньої школи DAAD Go East Summer School 2021, яку в цьому році проводили фахівці Навчально-

наукового центру екології та охорони навколишнього середовища Поліського національного університету. Основна тема навчання — ознайомлення німецьких студентів з сучасним станом і проблемами ЧЗВ, а також пов'язаними з цим питаннями.

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

У 2021 р. було надруковано 5 книжкових видань, авторами яких стали співробітники ІПБ АЕС (рис. 11):

1. Нейтронні та рентгенівські дослідження ліпідних мембран: монографія / Л. А. Булавін, О. І. Куклін, А. В. Носовський, Д. В. Соловйов; НАН України, Ін-т проблем безпеки атом. електростанцій. — Київ; Чорнобиль : ІПБ АЕС НАН України, 2021. — 160 с.

2. Об'єкт «Укриття» в умовах нового безпечного конфайнмента / В. О. Краснов, А. В. Носовський, С. А. Паскевич, В. М. Рудько; під заг. ред. А. В. Носовського. — Чорнобиль : ІПБ АЕС НАН України, 2021. — 344 с.

3. Shelter object in the conditions of the New Safe Confinement / V. O. Krasnov, A. V. Nosovskiy, S. A. Paskevych, V. M. Rudko; ed. by A. V. Nosovskiy. Chornobyl : ISP NPP, NAS of Ukraine, 2021. — 320 p.

4. Хвалін Д. І. Підвищення надійності та ефективності експлуатації турбогенераторів електричних станцій: монографія / Д. І. Хвалін. — Бостон, США : Primedia eLaunch LLC, 2021. — 152 с.

5. Attacks defense of computer nets by tools using extended information about environment / V. Lytvynov, N. Stoianov, I. Stetsenko, I. Skiter, O. Trunova, A. Hrebennyk, V. Nekhai, I. Burmaka. — Chernihiv : Polytechnic National University, 2021. — 212 p.

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 ГО «УкрЯТ». Відповідно до Наказу Міністерства освіти і науки України № 1643 від 28.12.2019 р. журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України [9]. Журнал індексується в базах даних Index Copernicus (входить до Index Copernicus Master List), Google Scholar, INIS, ResearchBib.

Результати досліджень співробітників Інституту у 2021 р. опубліковані в наукових виданнях, що індексуються провідними наукометричними базами даних (Scopus, Web of Science). Загальна кількість цих статей утричі перевищує аналогічний показник порівняно з середнім значенням 2016–2019 рр. і в півтора рази — порівняно з 2020 р. Водночас публікаційна активність закордоном підвищилась у два рази порівняно з середнім значенням аналогічного показника 2016–2019 рр., але менша, ніж попереднього року. Кількість статей у рецензованих фахових виданнях України відповідає показнику 2020 р.

З метою нерозповсюдження коронавірусної інфекції більшість зустрічей і заходів відбувається в онлайн-режимі за допомогою сучасних телекомунікаційних засобів, тому ІПБ АЕС постійно підтримує свій інтернет-сайт [10], а також сайт науково-технічного журналу «Ядерна енергетика та довкілля» в належному стані. Так, у 2021 р. сайт Інституту відвідали користувачі більше ніж з 215 іноземних країн.



Рис. 11. Книжкові видання співробітників ІПБ АЕС, надруковані у 2021 р.

Висновки

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

Водночас робота Інституту специфічна, оскільки наукові дослідження виконуються в особливо шкідливих умовах на об'єктах з обмеженим доступом, що потребує наявності засобів індивідуального захисту, спеціалізованого ліцензійного обладнання, проведення періодичних медичних оглядів, оформлення спеціальних дозволів і перепусток та ін. Така специфіка функціонування призводить до додаткових витрат. Наявне лабораторне обладнання є морально та фізично застарілим, тому потребує великих фінансових вкладень в оновлення, а переважно заміни на нове. Також існує проблема залучення молоді. Інститут щороку залучає до роботи випускників вищих навчальних закладів, але більшість з яких розглядають установу як площадку для набуття досвіду та через певний час переходять у більш привабливі з точки зору оплати праці підприємства.

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

Список використаної літератури

1. Звіт про діяльність Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України у 2021 році / ІПБ АЕС НАН України. — Київ, 2021. — 150 с. — Режим доступу: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/10/zvit-2021.pdf>.
2. Візит науковців брістольського університету до ІПБ АЕС // Новини; ІПБ АЕС : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: <http://www.ispnpp.kiev.ua/vizit-bristol21>.

3. Спільні дослідження з моніторингу ізотопів ксенону в об'єкті «Укриття» // Новини; ІПБ АЕС : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: www.ispnpp.kiev.ua/shveden-visit.
4. Науковий полігон. Чорнобиль. Документальний фільм / hromadske : YouTube-канал. — Режим доступу: www.youtube.com/watch?v=jeYCRAknHqs&feature=emb_imp_woyt.
5. Операція «Саркофаг». Вартові мирного атома / Телеканал Україна : YouTube-канал. — Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=wWfZ1WTIFI>.
6. Другой Чернобыль: Магнит зоны отчуждения / Радио Свобода : YouTube-канал. — Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=HRq4_s9ZKLM&t=212s.
7. Чернобыль 1986–2021. Неизвестные истории очевидцев и ликвидаторов аварии на ЧАЭС / Факти ICTV : YouTube-канал. — Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=Y2caCOxxv1w>.
8. Чорнобильська Зона та об'єкт «Укриття». Сучасний стан та майбутнє / Лекторій «Наукові зустрічі / Scientific meetings» : YouTube-канал. — Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=kjH4sktEBY4&feature=emb_imp_woyt.
9. Науково-технічний журнал «Ядерна енергетика та доквілля» : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: <http://npe.org.ua/uk>.
10. Інститут проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: www.ispnpp.kiev.ua.

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

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

The Work Results of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the NAS of Ukraine in 2021

For the second year in a row, the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine (ISP NPP, NAS of Ukraine), as well as other scientific institutions in Ukraine and around the world, continues its work in the context of a pandemic. Additional difficulties are also caused by economic and political factors. However, despite the limitations and the need to significantly adjust the format of the tasks, the scientists of the Institute continued to make the necessary efforts to carry out planned research, implement their results and present them in publications and research activities. The main results of scientific and scientific-organizational

activities of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants in 2021 are presented in the article. Despite the difficult economic situation due to the epidemic, the staff of the Institute obtained important results in studies of nuclear and radiation safety of the Shelter object, and in works aimed at improving the reliability and safety of existing Ukrainian and foreign nuclear power plants. The results of works in the field of the Shelter object transformation into an ecologically safe system, safe operation of nuclear facilities, decommissioning of nuclear facilities, spent nuclear fuel and radioactive waste management are presented in the article. These results are implemented and used in the legislative activity of Ukraine, in production, in the power industry and during the educational process.

Keywords: Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, scientific activity, implementation of research results, international cooperation, work with mass media, publishing activity.

References

1. *Report on the activities of the Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2021*. Kyiv: ISP NPP, NAS of Ukraine, 2021, 150 p. Available at: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/10/zvit-2021.pdf>. (in Ukr.)
2. *Visit of the scientists of the Bristol University to the ISP NPP*. ISP NPP: official website. Available at: <http://www.ispnpp.kiev.ua/vizit-bristol21>. (in Ukr.)
3. *Joint research on xenon isotope monitoring at the Shelter object*. ISP NPP: official website. Available at: <http://www.ispnpp.kiev.ua/shveden-visit>. (in Ukr.)
4. *Scientific landfill. Chernobyl. Documentary*. Hromadske: YouTube channel. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=jeYCRaKnHqs&feature=emb_imp_woyt. (in Ukr.)
5. *Operation "Sarcophagus". Guardians of the peaceful atom*. "Ukraine" TV channel: YouTube channel. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=wWfIZ1WTIFI>. (in Ukr.)
6. *Another Chornobyl: Exclusion Zone Magnet*. Radio Svoboda: YouTube channel. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=HRq4_s9ZKLM&t=212s. (in Rus.)
7. *Chornobyl 1986–2021. Unknown stories of eyewitnesses and liquidators of the Chornobyl accident*. Facts ICTV: YouTube channel. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Y2caCOxxv1w>. (in Rus.)
8. *Chornobyl Zone and Shelter object. Current state and future*. Lectures "Scientific meetings": YouTube channel. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=kJH4sktEBY4&feature=emb_imp_woyt. (in Ukr.)
9. Scientific Journal "Nuclear Power and the Environment": official website. Available at: <http://www.npe.org.ua>.
10. *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine*: official website. Available at: www.ispnpp.kiev.ua.

Надійшла 21.02.2022

Received 21.02.2022