

Г.В. ЛИСИЧЕНКО

ПРО СТАН ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОБ'ЄКТАХ ЯДЕРНО-ПАЛИВНОГО ЦИКЛУ УКРАЇНИ

Наукове повідомлення на засіданні Президії НАН України
14 березня 2012 року

Драматичні події в березні 2011 р. на АЕС «Фукусіма» в Японії, спричинені землетрусом і цунамі, та відлуння наслідків Чорнобильської катастрофи вимагають від усіх, хто причетний до розвитку ядерної галузі, нового рівня відповідальності перед населенням власної країни та міжнародним співтовариством за стан безпеки мирних ядерних об'єктів. На сучасному етапі підвищення безпеки діючих енергоблоків АЕС та інших об'єктів ядерної енергетики з метою доведення їх цільових показників до міжнародних норм, правил і стандартів з ядерної, радіаційної та техногенно-екологічної безпеки є пріоритетним завданням державної політики у сфері використання ядерної енергії. Успішне вирішення цих завдань значною мірою залежить від активної позиції вітчизняної науки.

Минуло 25 років після трагічних подій Чорнобильської катастрофи і світ знову здригнувся від нової аварії на АЕС «Фукусіма» в Японії.

На перший погляд, у катастрофі, що сталася в Японії, можна звинувачувати стихію. Проте це далеко не так. Як і у випадку з Чорнобильською АЕС, головним фактором був людський чинник — грубий інженерний прорахунок японських проектувальників, які розмістили об'єкт на березі океану в сейсмоактивній зоні, не оцінивши максимально можливу сейсмічність та висоту хвиль під час цунамі. Не було також побудовано захисні споруди для АЕС, які мали б захистити станцію від руйнівних хвиль.

Події на АЕС «Фукусіма» викликали в усьому світі посилену увагу до питань техногенно-екологічної безпеки АЕС. Більшість країн, що мають ядерну енергетику, вирішили ще раз переглянути свої ядерні програми та заходи з безпеки об'єктів ядерно-енергетичного комплексу в разі виникнення стихійних природних явищ та інших екстремальних ситуацій. Країни — чле-

ни Європейського Союзу (ЄС) спільно із сусідніми державами 24 червня 2011 р. у Брюсселі прийняли Декларацію про проведення всебічного переоцінювання ризиків і безпеки експлуатації атомних електростанцій (стрес-тестів) та вживання відповідних заходів. Мета проведення стрес-тестів комплексна: переоцінювання резервів АЕС та їх реакції на різні екстремальні ситуації, підвищення рівня безпеки АЕС, визначення найефективнішого порядку дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Оцінювання стрес-тестів АЕС здійснювалось на основі методичних рекомендацій, погоджених Європейською комісією та Європейською групою ядерного регулювання безпеки (ENSREG) [1, 2].

За останніми даними МАГАТЕ, нині у світі експлуатується понад 400 атомних реакторів, будується 65, з них 44 — у країнах Азії. Аварія на японській АЕС призвела до часткового зниження інтересу щодо розвитку ядерної енергетики і певного скорочення обсягів будівництва нових ядерних реакторів.

Після аварії з різних причин з експлуатації було виведено 13 ядерних реакторів [3]. За матеріалами преси, в Японії на сьогодні функціонує лише одна атомна електростанція — третій енергоблок АЕС «Томарі» на острові Хоккайдо, а 53 блоки зупинено. Деякі з них автоматично припинили роботу під час землетрусу, інші — призупинено з метою планових технічних оглядів, які проводяться задля профілактики раз на 13 місяців. Перезапуск цих реакторів можливо буде здійснити лише за таких умов:

- успішне проходження обов'язкових стрес-тестів, результати яких мають бути визнані японськими експертами і фахівцями МАГАТЕ;
- схвалення урядом Японії;
- отримання згоди місцевого населення.

Проте, як завершиться ця кампанія, поки ще невідомо.

У Європі, відразу після аварії на АЕС «Фукусіма», Німеччина зупинила 8 найстаріших реакторів з 17. Уряд Німеччини прийняв рішення про припинення експлуатації всіх блоків АЕС до 2022 року [4]. Рішення щодо закриття своїх АЕС до 2034 р. та відмову від подальшого використання атомної енергетики в червні 2011 р. прийняла Швейцарія, в якій за рахунок АЕС виробляють близько 40% усієї споживаної в країні енергії. Проте Іспанія, що має 8 реакторів, планує продовжувати свою атомну програму, як і Чехія та Туреччина. Разом з тим Росія, Фінляндія та багато інших держав працюють над подовженням терміну експлуатації енергоблоків наявних АЕС. Польща та Білорусь мають намір будувати нові атомні станції [5].

На азіатському та африканському континентах ядерну енергетику планують розвивати Туреччина, Китай, Південна Корея, Індія, Південно-Африканська республіка.

Отже можна стверджувати, що ядерна енергетика світу на поточний момент, як і 25 років тому — після Чорнобиля, опинилася на роздоріжжі. Бути чи не бути ядерній енергетиці?

Серед населення різних країн зростає кількість противників ядерної енергетики.

Так, за даними компанії Gallup International, що проводила після аварії на АЕС «Фукусіма» статистичне опитування 34 тис. респондентів у 47 країнах світу, встановлено, що число тих, хто негативно ставиться до ядерної енергетики, зросло на 11% і становить близько 43% [6].

В Україні, де половина обсягів електроенергії виробляється на АЕС, відмова від їх експлуатації, на тлі технічно зношеного більш ніж на 85% парку енергетичних потужностей, заснованих на спалюванні органічного палива, може призвести до «економічного колапсу» країни — стрімкого падіння промислового виробництва та якості життя.

Україна не збирається відмовлятися від своєї атомної енергетики, більш того, найближчим часом планує збільшувати частку атомної енергії на українському ринку. По-перше, це зумовлено тим, що дана галузь енергетики країни за обсягами виробництва електроенергії є досить потужною і посідає восьме місце в світі, по-друге, за розвіданими запасами покладів урану Україна займає дев'яте місце в світі і перше в Європі. Проте, якщо врахувати попередньо розвідані запаси, які знаходяться в стадії детальної розвідки (категорії А, В), то Україна переміститься на шосте місце в світі після Австралії, Казахстану, Росії, Канади і США.

Останнім часом в Україні забезпечено не лише стійку і безпечну роботу всіх АЕС, а й істотно збільшено виробництво електроенергії: з 79,6 млрд кВт·год в 1996 р. до 90,2 млрд кВт·год в 2011 р.

Чітку офіційну позицію щодо розвитку ядерної енергетики визначив Президент України В.Ф. Янукович на засіданні Ради національної безпеки і оборони України 8 квітня 2011 р., де заявив, що держава не має реальних економічно обґрунтованих альтернатив ядерній енергетиці [7]. Президент доручив провести поглиблене позачергове оцінювання стану безпеки всіх енергоблоків АЕС України, яке б враховувало уроки Чорнобиля та Фукусіми [8, 9].

З метою підвищення рівня безпеки власних АЕС Україна приєдналася до ініціативи ЄС щодо проведення стрес-тестів. Ця робота здійснювалась упродовж усього другого півріччя 2011 р. підрозділами Національної атомної енергетичної компанії (НАЕК) «Енергоатом». Її підсумком став «Національний звіт України щодо результатів проведення «стрес-тестів» для АЕС України», який було направлено до Європейської Комісії 30 грудня 2011 р. [10]. Головним результатом оцінювання АЕС за стрес-тестами став висновок про те, що в Україні відсутні чинники загроз природного характеру, які здатні спричинити таку аварію, як на Фукусімі [11].

Проте, слід зазначити, що в питаннях безпеки АЕС України є багато невирішених проблем. Стратегічно важливим і показовим стало засідання Колегії Державної інспекції ядерного регулювання (ДІЯР) України від 01.03.2012 р. «Про виконання заходів з переоцінки та підвищення безпеки АЕС у 2011 р.», у рішенні якого зазначено, що заплановані роботи не було виконано в повному обсязі (рис. 1) [12].

У рішенні Колегії також вказано, що діяльність експлуатуючої організації ДП

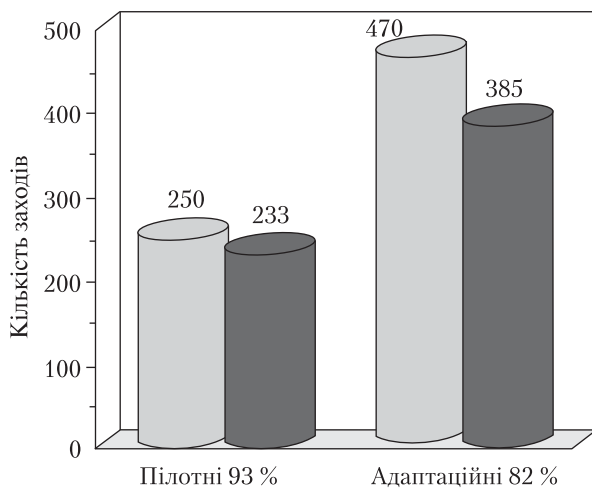


Рис. 1. Фактичні дані щодо виконання Концепції підвищення безпеки діючих енергоблоків атомних електростанцій; світлий колір — заплановані, темний — виконані

НАЕК «Енергоатом» щодо робіт на енергоблоках ВВЕР-1000 (проект В-320) є недостатньою, а на енергоблоках ВВЕР-1000 (проект В-302) — незадовільною. Також наголошено на необхідності термінового виконання низки додаткових заходів з безпеки станцій, насамперед у частині сейсмічної безпеки проммайданчиків станцій, захищеності від руйнівних повеней та інших катастрофічних кліматичних явищ.

За результатами проведення позачергового переоцінювання рівня безпеки енергоблоків АЕС (стрес-тестів) та на виконання рішень постанови Колегії Держатомрегулювання від 24-25 листопада 2011 р. №13 НАЕК «Енергоатом» розроблено Комплексну (зведену) програму підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій. Виконання заходів цієї програми, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2011 р. № 1270, розраховане на період до 2017 р. Програма охоплює понад 800 заходів підвищення безпеки, які мають дати необхідну інформацію для обґрунтування та прийняття рішень щодо можливості продовження строків експлуатації енергоблоків атомних електростанцій і стосуються таких питань: експлуатація активної зони, ядерного палива та оптимізація роботи реакторів; автоматизація систем управління технологічними процесами; контролю будівель і конструкцій, систем електропостачання; чинників внутрішньої (пожежонебезпека, водопостачання, поведження з радіоактивними відходами) та зовнішньої небезпеки (сейсмічність, кліматичні катастрофічні явища); вдосконалення системи управління аваріями.

З огляду на викладене, в системі безпеки наших АЕС є ще багато проблемних питань, вирішення яких потребує виваженої системної роботи, в тому числі із залученням наукового потенціалу профільних установ НАН України. Так, низка масштабних катастроф на АЕС — «Три Майл Айленд», Чорнобильська, «Фукусіма-1» — вимагають перегляду наявної методології щодо управління

системою безпеки діючих АЕС з тим, щоб виключити можливість таких аварій у майбутньому. Проте критичне переосмислення цієї методології пов'язане з певними труднощами, зумовленими консерватизмом загальноприйнятого класичного методу — імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) [13–16].

На думку автора доповіді та багатьох його колег, імовірнісна концепція аварії — стратегічна помилка сучасної методології, що ґрунтується на принципах ІАБ [17–20]. Її використання в розрахунках аналізу безпеки АЕС призводить до суб'єктивних оцінок і не гарантує реальної безпеки об'єктів. У цій концепції «імовірність» розглядається як математичний образ частоти виникнення подій. Проте імовірнісну модель аварії можна використовувати для оцінювання безпеки лише в тому разі, коли є статистична закономірність аварій (сталість її частоти). Застосування моделей ІАБ для оцінювання безпеки АЕС теоретично постулює сталість частоти аварій і, як наслідок, теоретичну неминучість катастрофи.

Згідно з ІАБ, безпека АЕС забезпечується за умови досягнення «міфічного» показника — нормативно встановленого допустимого значення ризику 10^{-7} на реактор за рік [16]. Це значення є умоглядним і не має ні практичного, ні теоретичного обґрунтування. Такий підхід не придатний до оцінювання АЕС — об'єктів потенційної небезпеки, на яких можливі унікальні аварії з катастрофічними наслідками, що підтверджує Чорнобильська трагедія.

Аварії на АЕС, що загрожують екологічною катастрофою, не можна розглядати з позиції логічного компромісу. Чинна норма перевищення встановлених у проекті значень граничного аварійного викиду 10^{-7} на реактор за рік жодним чином не узгоджується з технологією управління безпекою АЕС. Її неможливо ні проконтролювати, ні використовувати як під час проектування, так і в процесі експлуатації об'єкта. Ця норма є наслідком методологічної омани, що виключає управління безпекою АЕС.

Теорія ІАБ має також непереборні похибки аналізу безпеки через неоднозначності та суб'єктивності вибору аварійних послідовностей із сукупності дискретних можливих комбінацій — безвідмовних і відмовних станів функціонуючих елементів АЕС (аналіз дерева подій). Число станів $Z = 2^n$ катастрофічно зростає, що створює істотну проблему з розмірністю станів зі збільшенням числа елементів об'єкта. З усієї сукупності дискретних станів Z експерт зазвичай вибирає аварійні послідовності, які, на його думку, становлять небезпеку. Із збільшенням числа елементів n число станів $Z = 2^n$ зростає настільки, що втрачається практична можливість їх перебирання. В результаті виключаються як однозначність, так і об'єктивність аналізу безпеки. Наприклад, для схеми реактора з $n = 18$ елементів, що включає два технологічних контури і контур балансу потужності, кількість станів $Z > 260\,000$ [17].

У разі застосування ІАБ неможливо обґрунтувати вимоги до надійності підсистем управління та їх елементів, що необхідні для забезпечення допустимого значення ризику аварії. Щоб визначити ці вимоги, потрібно було б застосувати метод структурного аналізу об'єкта з підсистемами управління безпекою, який враховував би ступінь впливу кожного елемента підсистем управління на стан безпеки об'єкта. Проте для структурного аналізу необхідно знати закони взаємозв'язку, що враховують роль кожного елемента і ґрунтуються на зв'язку потоків інформації елементів з потоками інформації підсистем і об'єкта. Їх можна визначити на основі алгоритму управління безпекою об'єкта [20, 21]. Проте в теорії ІАБ відсутні як поняття таких потоків, так і закони їх взаємозв'язку. Це унеможливорює здійснення структурного аналізу, який враховував би потоки інформації елементів, вимоги до їх надійності, що необхідно для забезпечення допустимого значення показника ризику аварії.

До недоліків методу ІАБ слід також віднести відсутність можливості поєднання методів імовірнісного і детерміністичного

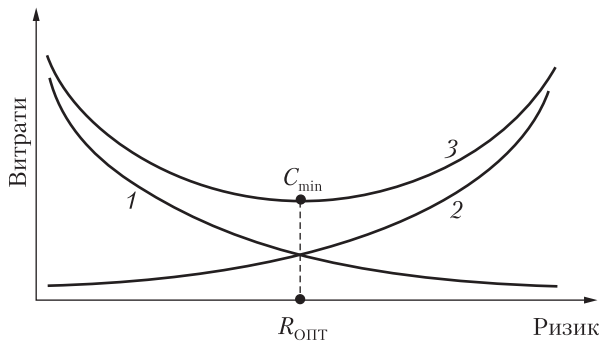


Рис. 2. Залежність сумарних витрат на безпеку від показника ризику аварії R : C_{\min} – мінімальні сумарні витрати на безпеку; $R_{\text{опт}}$ – оптимальне значення показника ризику віртуальної аварії; 1 – витрати на технологію запобігання й ослаблення аварії; 2 – витрати на страхування наслідків можливої аварії; 3 – сумарні витрати за позиціями 1 та 2

аналізів виникнення аварії, що виключає управління робочим станом об'єкта з метою запобігання його переходу в аварійний стан. Цей метод не дає змоги забезпечити управління безпекою АЕС у реальному масштабі часу – реагування за поточним станом.

Однією з центральних проблем безпеки АЕС є мінімізація похибки (негативного впливу) людського фактора. Згідно зі статистичними даними, внесок людського фактора в ризик аварії (відмови роботи обладнання) становить від 50% до 70%. Через ергономічні умови надійність оператора обмежена значенням 0,9. Моделі ІАБ систем без надмірності з однаковим числом елементів не враховують відмінності структур управління безпекою (надійністю) і не дають можливості знайти оптимальну структуру управління безпекою з оператором.

Практичне гарантування безпеки енергетичного об'єкта не можливе також без оптимізації витрат на її реалізацію, що не розглядається в теорії ІАБ.

Для усунення зазначених недоліків пропонується:

- запровадити в розрахунках аналізу безпеки АЕС поєднання апріорного (імовірнісного) і апостеріорного (детермінованого) методів управління безпекою об'єкта;

- перейти на управління безпекою об'єкта в реальному масштабі часу за поточним станом контрольованих параметрів, що визначають рівень безпеки всіх його структурних вузлів (нормальний, передаварійний, критичний);

- мінімізувати похибки людського фактора і оптимізувати структуру управління безпекою з оператором;

- мінімізувати витрати на безпеку (попередження, страхування) на основі аналізу залежності сумарних витрат від показників ризику аварії (згідно з підходом, запропонованим доктором технічних наук В.І. Пампуро (рис. 2).

Щоб обґрунтувати економічно прийнятне значення ризику аварії, слід врахувати сумарні витрати на безпеку (рис. 2, крива 3). Тоді показник ризику враховує максимальну безпеку системи (елемента) як комплексну властивість, що включає ядерну, радіаційну та екологічну безпеку.

На сьогодні вирішуються питання щодо подовження експлуатації блоків АЕС понад установлений проектами термін. При цьому найбільша увага приділяється проблемам стійкості конструкцій реакторів АЕС, що були під опроміненням. Проте, слід підкреслити, що успішне розв'язання цих завдань досягається не лише завдяки оцінюванню стану конструктивних матеріалів реакторів, що експлуатуються, а й одночасним здійсненням додаткового комплексу науково-технічних заходів, спрямованих на підвищення рівня технологічної й екологічної безпеки усіх складових ядерно-паливного циклу (ЯПЦ), а саме:

- вдосконалення або переоснащення систем ядерного і радіаційного контролю;

- обґрунтування і розширення систем геодинамічного, екологічного і сейсмічного моніторингу;

- запровадження сучасних інформаційних технологій щодо моделювання і прогнозування виникнення кризових ситуацій;

- удосконалення засобів управління техногенно-екологічною безпекою в штатних та аварійних ситуаціях.

Потребують подальшої наукової підтримки та сучасних конструктивно-технічних рішень роботи, пов'язані з вирішенням практичних проблем радіоекологічної безпеки на об'єктах уранодобувної та переробної промисловості, що виконуються в рамках таких програм:

- Державної цільової екологічної програми приведення в екологічно безпечний стан уранових об'єктів виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 30 вересня 2009 р. № 1029;

- Програми радіаційного і соціального захисту населення м. Жовті Води на 2003–2012 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 5 травня 2003 р. № 656;

- Державної цільової економічної програми «Ядерне паливо України», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 23 вересня 2009 р. № 1004.

Проблеми радіоактивних відходів (РАВ) вирішуються в рамках Загальнодержавної цільової екологічної програми поводження з радіоактивними відходами, затвердженої Законом України від 17 вересня 2008 р. № 516-VI; Цільової програми наукових досліджень Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України «Фундаментальні проблеми в фізиці елементарних частинок, ядерній фізиці та ядерній енергетиці» та Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Науково-технічний супровід розвитку ядерної енергетики та застосування радіаційних технологій в галузях економіки». Проте залишається ще велике коло невирішених питань. Особливо це стосується зменшення обсягів рідких РАВ та сольового плаву АЕС, вибору місця будівництва сховища геологічного типу для захоронення довгоіснуючих РАВ, створення надійних ізолюючих матриць для високоактивних РАВ.

На сучасному етапі актуальними залишаються також організаційно-технічні заходи щодо протидії актам незаконного обігу

ядерних і радіоактивних матеріалів та ядерного і радіологічного тероризму, які реалізуються на виконання Закону України «Про боротьбу з ядерним тероризмом» та Указу Президента України «Про Національний план з реалізації Робочого плану Вашингтонського саміту з ядерної безпеки на 2010–2012 роки». Лише протягом 2011 р. в Україні зареєстровано 38 випадків радіаційних інцидентів. З них 5 випадків виявлення радіаційно забрудненого металобрухту, 8 – втрати джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ), 25 – виявлення ДІВ у незаконному обігу.

Суттєві законодавчо-правові та організаційні питання з проблем техногенно-екологічної безпеки виникають у зв'язку зі створенням нових типів ядерних установок (джерела нейтронів, заснованого на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів, дослідницького ядерного реактора, заводу з виробництва ядерного палива), а також зі зняттям ядерних об'єктів з експлуатації.

Українськими науковцями розроблено теоретичні основи методу динамічного аналізу нестационарних радіаційних полів, у тому числі для низькофонової джерел випромінювання [22–24]. Для його обґрунтування було:

- розроблено математичні моделі, на основі яких відпрацьовано алгоритми та модулі основних програмних засобів;
- створено апаратні засоби комплексу, в тому числі: аналогові блоки первинної фіксації й оброблення спектрометричної інформації, цифрові блоки аналізу й візуалізації, мікропроцесорні блоки передавання інформації по модему і радіоканалу в реальному часі для багатьох користувачів;
- проведено лабораторні випробування для вибору оптимальних параметрів, миттєвої чутливості, енергетично роздільної здатності, чутливості до зовнішніх чинників, що заважають;
- опубліковано понад 40 наукових робіт;
- отримано 5 патентів на вдосконалення методу та апаратури.

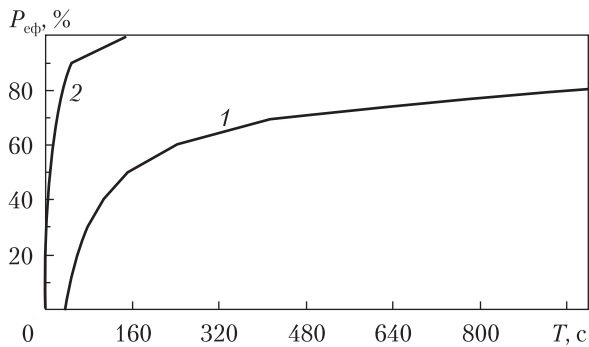


Рис. 3. Зіставлення ефективності виявлення точкового джерела випромінювання за класичним (1) та динамічним (2) методами

Цей метод створив підґрунтя для розроблення нової системи радіаційної безпеки в ядерній галузі [25], концепцію якої було прийнято до впровадження в Мінпалив-енерго України ще в 2008 р. На основі методу створено дослідні зразки нових програмно-технічних засобів, які забезпечують ефективне виявлення радіоактивних матеріалів та джерел іонізуючого випромінювання, що перебувають у незаконному обігу (рис. 3).

Активно розвиваються роботи з радіаційного приладобудування: створено дослідні зразки обладнання для альфа-, бета- і гамма-спектрометрії — аерогаммаспектрометричний комплекс, спектрометр людини, портативна робоча станція «Вектор» з функціями багатоканального гамма-спектрометра, радіометра та дозиметра. Деякі з них вже сертифіковано та виготовлено малими серіями.

Фахівцями інститутів геохімії навколишнього середовища, безпеки атомних станцій, геофізики ім. С.І. Субботіна, гідробіології та Національного науково-природничого музею НАН України здійснюється значний обсяг робіт в інтересах НАЕК «Енергоатом» з проведення комплексного радіоекологічного, геодинамічного та сейс-

мологічного моніторингу АЕС України, які надають об'єктивну інформацію про стан екологічної безпеки в зонах їхнього впливу, що використовується для обґрунтування заходів безпеки, отримання даних для проєктів будівництва нових об'єктів інфраструктури ЯПЦ, прийняття управлінських рішень, інформування керівних органів та громадськості [30].

Разом з тим розвиток робіт із зазначеної проблематики стримується через недостатнє бюджетне фінансування наукових досліджень, відсутність стабільності та неплатежі при виконанні госпдогвірних робіт, труднощі під час атестації нових зразків техніки й технічних засобів та недосконалість механізмів їх впровадження на об'єктах ЯПЦ.

Крім того, відчувається нагальна потреба у підвищенні рівня міжнародної кооперації у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, нерозповсюдження ядерних технологій і матеріалів, боротьби з ядерним тероризмом.

Потребує вдосконалення і розширення система підготовки та перепідготовки висококваліфікованих фахівців і науковців, які забезпечують вирішення проблем експлуатації та перспективного розвитку ядерно-енергетичного комплексу України.

Дослідження вчених установ Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України надалі будуть визначатися завданнями розвитку ядерної фізики та енергетики, науково-технічного супроводу надійного і безпечного функціонування та розвитку ядерно-енергетичного комплексу України, в тому числі створення фундаментальних основ елементів ядерно-паливного циклу в Україні, а також екологічно безпечної енергетики майбутнього.