



**ВИШНЕВСЬКИЙ
Іван Миколайович** — академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, почесний директор Інституту ядерних досліджень НАН України



**ДАВИДОВСЬКИЙ
Володимир Володимирович** — доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу теорії ядерних процесів Інституту ядерних досліджень НАН України

*До 30-річчя аварії
на Чорнобильській АЕС*

ЕТАПИ РОЗВИТКУ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

У статті розглянуто проблеми ядерної енергетики України та етапи її подальшого розвитку в період після аварії на Чорнобильській АЕС. Особливу увагу приділено необхідності розроблення довгострокової стратегії розвитку атомної енергетики, використанню можливостей інститутів НАН України, організації в Україні власної інфраструктури для повного забезпечення функціонування АЕС. Наголошено, що гарантування безпеки ядерної енергетики має стати найвищим державним пріоритетом в Україні.

Відкриття у 30-х роках минулого століття явища поділу ядер атомів важких елементів і встановлення факту вивільнення при цьому значної кількості енергії поклало початок розвитку ядерної енергетики. У багатьох країнах світу вчені та інженери розробляли ядерні реактори різних типів і конструкцій, які працювали досить успішно та майже безаварійно. Однак стрімкий розвиток нової галузі енергетики в 1970-х роках не відповідав рівню її безпеки. Наслідком такої легковажності стала серія аварій, найбільша з яких сталася 26 квітня 1986 р. на Чорнобильській АЕС. Людство не було підготовлене до катастроф такого масштабу, і ядерна енергетика вступила в депресивну стадію свого існування, довіру до неї було підірвано. У постчорнобильський період фахівці в усьому світі, зокрема й в Україні, доклали величезних зусиль для забезпечення безпеки експлуатації АЕС.

Проблеми ядерної енергетики відразу після аварії

Для ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС негайно було використано всі наявні науково-технічні розробки. Наведено лише деякі з них, розроблені в Інституті ядерних досліджень (ІЯД) НАН України.



Робоча нарада безпосередньо на місці аварії. У центрі — І.М. Вишневський. Чорнобильська АЕС. 1986 р.

У перші дні необхідно було насамперед оцінити радіаційну обстановку в зоні ЧАЕС. Для цього терміново слід було виготовити дозиметричну апаратуру для вимірювання надвисоких радіаційних полів, оскільки наявні прилади для цього були не придатні. За допомогою цієї апаратури, яку помістили на спеціально захищеному від радіації бронетранспортері (без захисту він не працював), вдалося оцінити радіаційну обстановку.

Велику тривогу викликав стан ядерного реактора. Невідомо було, чи відбувається ядерна реакція, чи лише горить графіт. Для з'ясування цього спорядили спеціальне обладнання. Фахівці ІЯД НАН України проникли в підреакторні приміщення і, діставшись до басейну-барботера, розмістили під опорною плитою реактора датчики температури, теплового потоку, гамма- та нейтронного випромінювання. Нейтронів, на щастя, не виявили, що свідчило про те, що ядерна реакція не відбувається, а дані

температурних детекторів дали змогу розрахувати, що проплавлення бетонних перекриттів під активною зоною не повинно статися.

Необхідно було також створити систему контролю та діагностики такого нестандартного об'єкта, як палаючий реактор. За основу взяли розроблену раніше розгалужену систему контролю й діагностики зони реактора та інших технологічних вузлів і пристроїв станції. Для цього було використано ідеологію створеної в ІЯД НАН України системи «Шатро». У дуже стислі строки було розроблено додаткове устаткування діагностичного комплексу «Шатро», виготовлено комплектуючі і в надзвичайно складних радіаційних умовах змонтовано систему. Комплекс містив унікальні дозиметричні детектори нейтронного і гамма-випромінювання, датчики температури, теплового потоку й вібрації, що охоплювали значну територію 4-го енергблока. Загалом було задіяно близько 200 вимірювальних пристроїв.

Усі дані збиралися на комп'ютері, записувалися і оброблялися за допомогою розробленої спеціалізованої програми, що дозволяло аналізувати поточний стан контрольованого об'єкта і прогнозувати його можливі зміни.

З метою поліпшення авторського супроводу системи було організовано діалоговий зв'язок «Шатро» — ІЯД. Це дало змогу фахівцям у Києві оперативно отримувати всю інформацію, «бачити», так би мовити, стан об'єкта і в разі невизначених ситуацій або збоїв у роботі технічних чи програмних засобів надавати експертну підтримку операторам. Система «Шатро» виявилася дуже надійною, ефективною й відіграла важливу роль у дослідженні стану зруйнованого реактора та процесів, що в ньому відбувалися.

Обсяг виконаних науково-технічних завдань, які породила аварія на ЧАЕС, був без перебільшення величезний. Серед них особливо слід відзначити вимірювання радіоактивності сотень тисяч проб ґрунту, води, рослин, тварин, продуктів харчування тощо. Надзвичайно важливим було те, що вдалося оперативно розробити і впровадити установки з експресного визначення рівнів радіозабруднення молока на молокозаводах, прилади для дистанційного контролю радіаційного забруднення автомобільного транспорту, розміщені на автошляхах, кілька серій побутових радіометрів бета-та гамма-випромінювання.

Перелік виконаних робіт можна продовжувати ще довго, але навіть з наведених окремих прикладів зрозуміло, що оперативно відреагувати на технічний виклик такого масштабу можна було лише завдяки наявності відповідних науково-технічних установ та потужного кадрового потенціалу. На щастя, тоді ми все це мали. У вирішенні нагальних проблем, що постали відразу після аварії, брала участь ціла армада наукових, технічних, промислових та інших організацій, розташованих як в Україні, так і по всьому Радянському Союзу.

Одним із переконливих уроків Чорнобиля є висновок, що для безпечного функціонування ядерної енергетики необхідно мати в країні повноцінну науково-технічну базу високого рівня.

Переосмислення проблем ядерної енергетики

Що ж відбувалося в атомно-енергетичному комплексі України в наступні після аварії роки? Корисно згадати деякі визначальні події.

Атомна енергетика увійшла в надзвичайно складну стадію свого існування. Часто політичні міркування окремих діячів брали гору над здоровим глуздом, економічною доцільністю і навіть над вимогами радіаційної безпеки. Яскравим прикладом цього може слугувати розгорнута на початку 1990-х років кампанія проти виконання проекту «Вектор», спрямованого на утилізацію радіоактивних відходів у Чорнобильській зоні, внаслідок чого його реалізація розтягнулася більш ніж на десятиліття. Ухвалений Верховною Радою України в 1990 р. мораторій на будівництво ядерних реакторів, хоча й діяв лише до 1993 р., але призвів до того, що 2-й енергоблок Хмельницької АЕС і 4-й енергоблок Рівненської АЕС, які тоді перебували вже у стадії 80 %-ї готовності, було введено в експлуатацію лише 10 років потому. Закриття в 2000 р. Чорнобильської АЕС породило безліч проблем технічного, економічного та соціального характеру.

Який же стан атомної енергетики в Україні сьогодні? Чи має вона майбутнє? Які проблеми необхідно вирішувати? Спробуємо стисло розкрити ці питання.

Передусім зазначимо, що за встановленою потужністю ядерних реакторів частка атомної енергетики у загальному виробництві електроенергії в Україні становить понад 50 %.

Чи орієнтується світ на використання атомної енергії в майбутньому? Міжнародне енергетичне агентство, яке діє в рамках Організації економічного співробітництва й розвитку, розробило три варіанти розвитку атомної енергетики у світі до 2050 р.: максимальний, середній та мінімальний. При цьому навіть у разі мінімального рівня розвитку АЕС встановлена потужність збережеться на сучасному рівні, тобто світ і надалі використовуватиме атомну енергію. І в Україні немає жодних підстав від-

мовлятися від ядерної енергетики в майбутньому, хоч інколи й лунали такі заклики. Аналіз потреб України в електроенергії свідчить про необхідність і доцільність розвитку атомної енергетики, однак вона має бути безпечною. Для цього насамперед необхідне виконання технічних вимог щодо експлуатації ядерних реакторів згідно з регламентом. Така позиція, на нашу думку, є очевидною і, мабуть, немає потреби її коментувати.

Проте зараз в Україні є ціла низка стратегічних для розвитку ядерної енергетики проблем. Надзвичайно актуальним є визначення ресурсу корпусів реакторів. Деякі з них уже досягли чи наблизилися до 30-річного терміну експлуатації. Через 5–10 років проектний ресурс буде вичерпано. У світі переважають тенденції встановлювати термін експлуатації корпусів реакторів згідно з їхнім фактичним станом. Для окремих з них прогнозують навіть до 60 років експлуатації. Для України можливість подовження терміну експлуатації корпусів ядерних реакторів є дуже привабливою перспективою. Однак це надзвичайно серйозна науково-технічна проблема, яка потребує глибокого вивчення. Так, на деяких наших реакторах, корпуси яких характеризуються збільшеним вмістом нікелю, спостерігається ефект крихкості металу, що може призвести до зменшення навіть проектного терміну експлуатації. Слід невідкладно визначити й спрогнозувати ресурс кожного з корпусів реакторів.

Сьогодні вже не терпить зволікань вибір типу ядерного реактора, який встановлюватимуть для компенсації втрат енергопотужності в разі зупинки старих блоків. Враховуючи великий інерційний термін будівництва нового реактора (10–12 років), такий вибір ми маємо зробити невідкладно.

Використання атомної енергетики породжує низку інших супровідних проблем. Серед них уже зараз для України актуальним є питання, що робити з відпрацьованим ядерним паливом. Сьогодні домінує стратегія його пристанційного зберігання, проте з часом необхідно розробити технологію довгострокової утилізації відпрацьованого палива. Не менш нагальною є

проблема переробки та утилізації радіоактивних відходів. Ситуація особливо загострилася у зв'язку з виведенням з експлуатації Чорнобильської АЕС та необхідністю приведення в нормативний порядок відходів численних тимчасових сховищ у Чорнобильській зоні відчуження. Важливим кроком для вирішення цього питання буде введення в експлуатацію комплексу виробництв з поводження з радіоактивними відходами в зоні ЧАЕС.

У грудні 2000 р. було прийнято політичне рішення про закриття Чорнобильської АЕС, і ми вперше зіткнулися з проблемами, пов'язаними з виконанням такого масштабного завдання, ускладненого ще й наявністю на території станції аварійного блока. Людство досі ще не вирішувало подібних проблем. При цьому виникає дуже багато абсолютно нових наукових і технічних завдань. І простих рішень тут немає. Наприклад, у реакторних блоках № 1–3 потрібно дослідити стан графіту щодо накопиченої енергії, яка може призвести до пожежо-небезпечної ситуації, визначити кількість тритію в графіті, оцінити небезпеку корозійної пошкоджуваності паливних каналів через не-регламентні умови їх розміщення та ін.

Є ще одне питання, яке сьогодні активно обговорюється. Йдеться про виробництво в Україні ядерного палива для реакторів АЕС. Підставою для цього є те, що для забезпечення атомної енергетики власними ресурсами в Україні достатньо родовищ урану та цирконію — основних компонентів виробництва ядерного палива.

Наведений короткий схематичний перелік проблем атомної енергетики логічно підводить нас до аналізу стану науково-технічного супроводу атомної галузі. Слід зазначити, що будь-яка країна, що використовує ядерну енергію, повинна мати розгалужену мережу науково-технічної підтримки. СРСР значною мірою реалізував такий підхід, але після його розпаду більшість установ науково-технічного супроводу залишилася в Росії.

Україні, з огляду на це, було б краще потрібно створити свою власну інфраструктуру. Як стартові можна було б використати два



На дослідницькому реакторі в Інституті ядерних досліджень НАН України. Справа наліво: директор Інституту академік НАН України І.М. Вишневський, президент НАН України академік НАН України Б.Є. Патон, академік-секретар Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України академік НАН України І.М. Неклюдов. 2004 р.

найбільші ядерні центри країни — ІЯД НАН України та ННЦ ХФТІ, доповнюючи та розвиваючи в них втрачені останнім часом науково-технічні напрями, залучаючи потенціал інших організацій та створюючи в разі необхідності додаткові установи та підприємства. На жаль, так не сталося. Хоча й з'явилося кілька нових, переважно приватних, організацій, вони здебільшого не мають ані потрібного досвіду, ані належної матеріально-технічної бази, а тому не можуть істотно підтримати галузь. При цьому профільне Міністерство енергетики та вугільної промисловості України залишає поза увагою реальні можливості інститутів НАН України та інших організацій, які вже давно працюють у цій галузі й мають у своєму штаті висококваліфікованих фахівців з величезним досвідом роботи.

Так, в ІЯД НАН України є унікальні «гарячі» камери — захисні бокси для проведення до-

сліджень з високоактивними зразками. Однак, незважаючи на наявні в Україні можливості, регламентні дослідження зразків-свідків корпусів ядерних реакторів здійснювали переважно в Росії, хоча це було набагато довше й дорожче. Останнім часом ситуація почала змінюватися, значний внесок в оновлення устаткування «гарячих» камер робить НАН України, але її фінансові ресурси дуже обмежені, певні кошти надходять від Європейського Союзу через програму TACIS. На жаль, участь національних відомств, що опікуються ядерною енергетикою, зовсім незначна. А саме в цих «гарячих» камерах можна з'ясувати стан корпусів реакторів і зробити прогнози щодо їхнього ресурсу експлуатації.

І ще про один важливий фактор забезпечення науково-технічної підтримки галузі — роль дослідницьких ядерних реакторів. Майже в усіх країнах, що використовують атомну

енергію, неодмінно є дослідницькі реактори. Це експериментальна база для атомних станцій. Дослідницький реактор в Україні працює близько 55 років. Останнім часом багато чого було зроблено для забезпечення умов його подальшої безпечної роботи. Проте, враховуючи термін його експлуатації та розміщення в Києві, НАН України внесла до Кабінету Міністрів України пропозицію про створення нового дослідницького реактора за межами столиці (Чорнобиль, Славутич) як базової установки для визначеного Указом Президента України Міжнародного науково-дослідного центру з питань ядерної енергетики, радіаційної медицини та екології. Урядовці загалом схвально сприйняли пропозицію, однак до реальних дій так і не дійшло. Важливо, щоб Мінпаливенерго все ж таки врахувало у своїх планах спорудження нового реактора.

Пізніше було здійснено ще кілька спроб розробити узгоджену програму науково-технічного забезпечення ядерної галузі. Наприклад, навесні 2000 р. департамент ядерної енергетики та атомно-промислового комплексу Мінпаливенерго та НАЕК «Енергоатом» зібрали пропозиції від кількох десятків науково-технічних установ з метою створення скоординованої програми науково-технічних розробок для галузі. Проте справа так і не зрушила з місця. І донині такої програми немає, виконуються лише деякі невідкладні завдання з безпеки АЕС. Основною причиною такої ситуації є відсутність фінансування науково-технічного забезпечення ядерно-енергетичного комплексу.

Ще більш неприпустимим є те, що в країні й досі немає довгострокової стратегії розвитку атомної енергетики, адже без цього неможливо забезпечити ані фінансування атомної енергетики, ані її науково-технічний супровід. Останнім часом було заплановано деякі заходи в цьому напрямі, але дуже важливо, щоб їх усе ж було реалізовано. Слід також чітко встановити на рівні Кабінету Міністрів України, яка державна установа визначатиме науково-технічну політику у сфері підтримки ядерної галузі й відповідатиме за її втілення. В Україні є достатні потенційні можливості безпечного

використання ядерної енергії, але це має стати найвищим пріоритетом держави. Цього вимагають уроки Чорнобильської катастрофи.

Безпечна ядерна енергетика на сучасному етапі

Минуло вже 30 років від дня Чорнобильської аварії. Що ж змінилося в поглядах на ядерну енергетику за ці роки? Фактично можна констатувати, що у колі фахівців та серед більшості населення міцно закріпилася думка про необхідність підтримки розвитку ядерної енергетики в Україні. І для цього є певні підстави.

Вище вже згадувалася важлива роль передбачень, отриманих при виконанні програми «зразків-свідків» для обґрунтування безпеки експлуатації корпусів реакторів. За останні роки в цьому напрямі відбувся помітний прогрес. «Гарячі» камери було оснащено найновішими системами вимірювань механічних властивостей опромінених зразків. Це дало змогу разом із прецизійними вимірюваннями нейтронних потоків у зоні реактора в рази точніше визначати ресурси корпусів діючих індустриальних реакторів. Результат виявився вражаючим — їх можна експлуатувати протягом 60 років, тоді як проектний ресурс оцінювався приблизно у 30 років. Неважко зрозуміти, який це дає економічний ефект.

Українські вчені-експерти оцінили можливість використання національної бази для розвитку вітчизняної енергетики. В Україні є значні поклади урану, цирконію та інших елементів, необхідних для виготовлення твелів зони реакторів. Розроблено і впроваджено у виробництво нові системи внутрішньої і зовнішньої безпеки реакторів.

Вирішальним аргументом на користь безпечності реакторів можна вважати відмову від використання високозбагаченого ($\approx 95\%$) ядерного палива дослідницьких реакторних систем і перехід на низькозбагачене паливо ($\approx 19,5\%$).

Україна поступово відмовляється від вивезення відпрацьованого ядерного палива до Росії. Це стало можливим завдяки споруджен-

ню спеціальних сховищ на території діючих реакторів з подальшим поступовим переміщенням відпрацьованого ядерного палива у створюване централізоване сховище в Чорнобильській зоні відчуження для довготривалого зберігання. Серйозні заходи безпеки вживають у зоні ЧАЕС у зв'язку з будівництвом об'єкта «Укриття» — нової ізоляційної споруди на заміну саркофага над зруйнованим 4-м реактором. Введення в експлуатацію об'єкта «Укриття» заплановано на 2017 р. У зоні відчуження ЧАЕС споруджується багато спеціальних комбінатів з перероблення твердих та рідких радіоактивних відходів. Для реалізації всіх цих заходів підготовлено достатню кількість кваліфікованих науково-технічних кадрів. Обсяг робіт, які вже виконано, і тих, що зараз виконуються, надзвичайно великий, що потребує значних коштів. І тут значну роль відіграють надійно відпрацьовані міжнародні системи підтримки.

Період у 30 років, що минули від дня аварії, відповідає періоду піврозпаду цезію та стронцію, які є найбільшими забруднювачами зони відчуження. Тобто природним шляхом забрудненість території зменшилася вже вдвічі. Широке коло вчених — фахівців різних спеціальностей ретельно вивчають і відстежують міграцію радіонуклідів. У багатьох місцях зони відчуження радіоактивні елементи проникли на глибину до 40 см, що уможливило самоочищення поверхні ґрунту. Вже розглядаються можливості практичного (хоча б частково) використання зони відчуження. Триває також контроль за станом здоров'я населення, постраждалого від Чорнобильської катастрофи.

Найважливішим пріоритетом сьогодні є гарантування безпеки всіх перелічених і багатьох інших, не названих тут, заходів, реалізація яких дає змогу розвивати безпечну ядерну енергетику в Україні.

И.Н. Вишнеvский, В.В. Давидовский

Институт ядерных исследований НАН Украины (Киев)

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ПЕРИОД ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

После открытия деления ядер и установления факта выделения при этом значительного количества энергии специалисты пришли к выводу, что эту энергию можно использовать в практических целях. И после определенных конструктивных разработок ядерная энергия вошла в жизнь человечества, вскоре существенно упростились методы ее использования. В мире было построено много экспериментальных ядерных реакторов, работавших успешно и безаварийно. При этом не уделялось достаточно внимания безопасной работе энергетических реакторов. За столь небрежное и легкомысленное отношение пришло «наказание» в виде аварий, самая масштабная из которых произошла на Чернобыльской АЭС. Техногенная катастрофа заставила человечество прилагать максимальные усилия для достижения безопасности ядерно-энергетического комплекса.

I.M. Vyshnevskiy, V.V. Davydovskiy

Institute for Nuclear Research of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

STAGES OF NUCLEAR ENERGY DEVELOPMENT AFTER CHERNOBYL ACCIDENT

After the discovery of nuclear fission and the finding of the release of considerable energy, experts realized that this energy could be practically used. After some constructive developments, nuclear energy entered the life of humanity. Quite soon, it was learned how to use it in relatively simple ways. Many experimental nuclear reactors have been built in the world and they worked successfully and trouble-free. In that time, the attention to the safe operation of power reactors was insufficient. And for this, the “punishment” has come in the form of accidents. The largest accident occurred at the Chernobyl Nuclear Power Plant. Man-made disaster compelled humanity to pay close attention to the safety of nuclear power plants.