

дії можуть призвести до серйозних негараздів, з політичною та соціальною невизначеністю наслідків.

Процеси реструктуризації економіки проявлятимуться від одного до п'яти років. За цей період можуть і мають сформуватися інституційні, фінансові та інші механізми, що забезпечать внутрішню застрахованість хоча б від певної технологічної залежності. Це дасть можливість адекватно налагодити зовнішню торгівлю високотехнологічними товарами, тобто імпорт покривати відповідним експортом. Однак не виключено, що реструктуризація економіки відбуватиметься досить повільно, як це спостерігалось у попереднє десятиліття, коли зовнішній попит на товари нашого експорту гальмував зазначені трансформації в економіці. Саме тому під впливом насамперед зовнішнього чинника в окремі роки цього десятиліття на металургію та металообробку припадало понад 50% усього промислового виробництва, що за світовими вимірами відповідає середині ХХ століття. Такі процеси можуть зреалізуватися внаслідок зовнішніх шоків і в подальшому, і тоді нам не вдасться реструктуризувати економіку, отож, поступово перетворимося на країну, що залежить від використання тих природних ресурсів, які є на її території. Це не означає, що технологічно нові види діяльності не сформуються. Але економічний механізм складається

ся таким чином, що за технологічну ренту ми будемо розраховуватися природною рентою, тобто високорозвинені країни отримуватимуть технологічну ренту, а нам залишиться лише використовувати природний потенціал. Враховуючи сказане, я ще раз наголошую: перед нами постає завдання на найближчі три — максимум п'ять років дати адекватну відповідь на взаємопов'язані аспекти розвитку. І поштовхом до цього стало зростання цін на енергоносії.

Зауважу, що характер процесів, які можуть реалізуватися, є набагато боліснішим, ніж навіть те, що ми пережили 10 років тому. Чому? Тому що це зміна структури, і необхідність цього постала не тільки перед економікою, а й перед нами всіма. За таких умов рівень безробіття в країні сягне 15—20%, що неодмінно загострить соціальні проблеми, збільшить міграцію населення в інші країни, де відчувається дефіцит робочої сили. Без прискореної модернізації для України можуть настати не кращі часи її розвитку. Хочу побажати всім нам успіхів, щоб пережити ту серйозну трансформацію, яка вже розпочалася, але не шляхом копіювання, а створення нових технологій, що мобілізують і нас, науковців, і все населення країни. За таких умов воно швидко зрозуміє, що досягти успіху в житті можна, лише спираючись на високу кваліфікацію, а не на протекціонізм чи «родинні» стосунки.

СЬОГОДЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

І.М. НЕКЛЮДОВ,
академік-секретар Відділення ядерної фізики
та енергетики НАН України

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства споживання енергії у світі впродовж останніх 30 років зростало зі швидкістю понад 3% на рік. Приріст народонаселення (до 2% на рік) і темпи економічного

розвитку у ХХІ ст. зумовлять збільшення обсягів світового виробництва продукції у 3—5 разів до 2050 р. і в 10—15 — до 2100 року. А це потребуватиме нарощення енергозабезпечення у 3—5 разів.

Зростання кількості населення Землі, виснаження запасів органічного палива, вплив парникового ефекту, відсутність альтернативних джерел необхідної потужності підвищують роль ядерної енергетики у світовій економіці.

Нині у 30 країнах світу функціонують понад 440 і споруджуються 24 ядерних енергоблоки. У переважній більшості з них ядерна енергетика домінує, забезпечуючи виробництво половини необхідної електроенергії. До таких держав належить і Україна.

За виробництвом електроенергії на АЕС наша країна входить до вісімки, а за внеском одержуваної електроенергії у її загальному обсязі — до п'ятірки країн світу. Вітчизняна ядерна енергетика стала одним із головних джерел виробництва енергії, важливим чинником забезпечення енергетичної незалежності держави.

Після введення 2-го енергоблока на Хмельницькій АЕС і 4-го — на Рівненській станції в Україні діють 15 атомних енергоблоків, зокрема 13 реакторів ВВЕР-1000 і 2 — ВВЕР-400. Однак для 12 блоків у наступному десятилітті завершується запроектований термін експлуатації.

Встановлена потужність усіх енергоблоків вітчизняних АЕС у 2005 році дорівнювала 13885 МВт. За прогнозами Міністерства палива та енергетики України (МПЕ), щорічне виробництво електроенергії на АЕС зросте у найближчі роки до 100 млрд кВт/год.

На тлі критичного становища в традиційній енергетиці — через дефіцит органічного палива, фізичне і моральне старіння обладнання теплових електростанцій — ядерна енергетика працює достатньо стабільно і за умови дотримання всіх заходів безпеки є екологічно чистим джерелом енергії.

Завдяки оптимізації ядерного палива, впровадженню сучасних методів діагностики стану обладнання і поліпшенню ремонтних робіт останніми роками вдалося істотно підвищити коефіцієнт використання вста-

новленої потужності АЕС і досягти на деяких блоках високих показників.

Організацією, що експлуатує всі діючі в Україні АЕС і відповідає за ядерну безпеку, є Національна атомна енергогенеруюча компанія (НАЕК) «Енергоатом», що входить до системи Міністерства палива та енергетики України. Нагляд за дотриманням правил і норм ядерної безпеки здійснює Державний комітет ядерного регулювання України, підпорядкований Кабінету Міністрів України.

Національна академія наук України завжди приділяла велику увагу проблемам атомної енергетики. Враховуючи важливість і наукоємність розвитку ядерно-енергетичного комплексу, за ініціативою президента НАН України академіка НАН України Б.Є. Патона в структурі Академії створено нове Відділення — ядерної фізики та енергетики, до якого ввійшов Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ «ХФТІ»), що раніше підпорядковувався Міністерству освіти і науки України.

Головними завданнями нового Відділення є:

- ♦ організація та координація спільно з МПЕ України і НАЕК «Енергоатом» робіт із науково-технічного забезпечення надійного та безпечного функціонування вітчизняної ядерної енергетики;
- ♦ подальший розвиток фундаментальних і прикладних досліджень у галузях ядерної фізики, фізики плазми і прискорювачів, радіаційного матеріалознавства, технологій та нових ядерно-енергетичних джерел;
- ♦ розширення співпраці НАН України з питань ядерної фізики й енергетики із зарубіжними установами відповідного профілю, передовсім з інститутами РАН і галузевими організаціями Російської Федерації.

Установи НАН України беруть участь у розв'язанні таких нагальних проблем атомної енергетики: безперервне підвищення безпеки й експлуатаційної надійності всіх систем керування та обладнання діючих атом-

них реакторів; проведення робіт з ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи; створення технологій безпечного зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) і радіоактивних відходів (РАВ); науково-технічне обґрунтування можливості подовження терміну експлуатації атомних блоків, проектний ресурс яких добігає кінця.

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України розроблені й освоєні у виробництві датчики для вихрострумowego контролю труб парогенераторів; технології відновного ремонту арматури трубопроводів різних розмірів; герметизації контейнерів для зберігання ВЯП; зварювання у вузький зазор трубопроводу парогенератора ВВЕР-1000 (шов 111); технології виготовлення композитних зварних з'єднань трубопроводів 2-го контуру з метою збільшення їх ресурсу, ремонту патрубків СУЗ реакторів. Спільно з Інститутом ядерних досліджень (ІЯД) НАН України реалізується типова програма контролю властивостей корпусів реакторів за зразками-свідченнями. Разом із науковцями цієї установи модернізовано програму контролю властивостей корпусу реактора РАЕС-4 за зразками-свідченнями.

У ННЦ «ХФТІ» НАН України у співпраці з фахівцями українських АЕС виконано комплекс науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з розробки і впровадження способів вирізання темплетів для мікрорізків без порушення конструкційної цілісності і міцності виробів як методу прямого контролю структури та властивостей основного обладнання і трубопроводів енергоблоків після тривалої експлуатації.

Дослідження темплетів, вирізаних зі зварних швів головних циркуляційних трубопроводів (ГЦТ) Південно-Української, Рівненської, Запорізької АЕС, показали, що експлуатація сталі 10ГН2МФА протягом 100 тис. год призвела до зниження її ударної в'язкості на 10% і підвищення межі міцності на 20%. Це дало змогу науково обґрунтувати мож-

ливість подовження терміну служби ГЦТ на подальші 50 тис. год експлуатації.

Виконується великий обсяг робіт з дослідження механізмів деградації властивостей **тепловідвідних** труб парогенераторів. Задля цього останнім часом з парогенератора, що демонтується на Південно-Українській АЕС, вирізані теплообмінні трубки і проведено вихрострумний контроль їх стану. 150 дефектних трубок досліджуються у ННЦ «ХФТІ» НАН України.

Накреслено комплекс заходів щодо реалізації вирізання темплетів з корпусів реакторів для безпосереднього контролю їхніх механічних властивостей і структурного стану.

В ІЯД НАН України виконуються такі роботи: дослідження впливу нейтронного випромінювання на радіаційне окрихчування корпусів реакторів АЕС України; створення скануючого ядерного мікрозонда і ядерно-фізичних методик для фундаментальних та прикладних досліджень; вивчення поведінки радіонуклідів у слабо- і середньоопромінених радіоактивних відходах і графітах, відпрацьованих на АЕС; нейтронної спектроскопії конденсуючого стану речовини; розробка геоінформаційної системи радіоекологічного моніторингу в районах впливу українських АЕС.

В Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України розробляється принципово новий підхід до прогнозування граничного стану корпусних сталей за умов комплексної дії радіаційного опромінення, зниження температури і локального перенапруження.

Науковці Інституту проблем міцності ім. Г.В. Писаренка НАН України працюють над розробкою методів і способів створення систем моніторингу напруженості і визначення дефектності металу корпусу реакторів та інших конструкційних елементів першого контуру АЕС у процесі експлуатації.

Фахівці Інституту електрофізики і радіаційних технологій НАН України розробили ефективну діагностику оцінки та подовження

ресурсу обладнання об'єктів атомної енергетики методом інфрачервоної радіометрії.

Світовий досвід свідчить про можливість подовження терміну експлуатації атомних енергоблоків типу ВВЕР до 50–60 років. Для цього необхідно знати ресурс роботи основного обладнання реактора, науково обґрунтувати і підготувати нормативні документи на пролонгацію періоду експлуатації кожного енергоблока.

Актуальність проблеми подовження ресурсу та керування терміном служби основного обладнання атомних електростанцій України зумовлена кількома чинниками: завершенням проектного терміну роботи більшості реакторів; неприпустимістю зниження рівня безпеки та надійності експлуатації АЕС в умовах старіння основного обладнання; високою вартістю і тривалістю будівництва нових атомних станцій; можливістю відтермінування закриття АЕС і захоронення радіоактивних відходів; економічною ефективністю подовження періоду експлуатації станцій.

Особливо важливими проблемами надійної і безпечної роботи АЕС є наукове обґрунтування і розробка сучасних методів діагностики та контролю залишкового ресурсу металу корпусів реакторів, зварних швів, внутрішньо-корпусних пристроїв; матеріалу теплообмінних труб парогенераторів й інших трубопроводів; систем безперервного контролю і керування електротехнічним обладнанням.

Корпус діючого реактора ВВЕР не замінюється протягом усього періоду його експлуатації. З цієї причини дуже важливими є роботи з визначення фактичного стану основного металу, особливо зварних з'єднань кожного корпусу реактора; обґрунтування надійності його експлуатації; створення методології та науково-технічної бази відновлення властивостей і керування ресурсом корпусу.

Подовження терміну роботи корпусів реакторів України ускладнюється тим, що вони за умовами експлуатації, хімічним складом і

технологіями виготовлення відрізняються від корпусів, які використовуються у країнах Західної Європи і США. Крім того, у 80% зварних швів 11 корпусів українських реакторів ВВЕР-1000 вміст нікелю виявився вищим за припустиму норму (1,3%). Результати досліджень останніх років свідчать про можливість прискорення процесів радіаційного окрихчування корпусної сталі у разі надлишку в твердому розчині нікелю. Тому це питання потребує пильного і всебічного дослідження.

Мінімальний термін ухвалення рішення щодо подовження ресурсу корпусів атомних реакторів – близько п'яти років до завершення проектного терміну зняття енергоблока з експлуатації.

Кабінетом Міністрів України схвалена і наказом Мінпаливенерго введена в дію Комплексна програма робіт з подовження терміну експлуатації діючих енергоблоків АЕС.

Нині особливо зловбоденною є проблема спорудженого в екстремальних умовах об'єкта «Укриття» над зруйнованим 4-м блоком Чорнобильської АЕС, проектний термін якого добігає кінця. Після тривалих обговорень і відповідних зауважень прийнято проект будівництва нового безпечного конфайнмента (НБК) – купола-арки, який має накрити існуюче «Укриття».

Концептуальний проект розроблено міжнародним консорціумом у складі американських компаній Bechtel і Battelle і французьким EDF за участю трьох українських організацій (НДПКІ «Енергопроект», ДНДІСК та Інституту проблем безпеки АЕС НАН України).

Робоча група НАН України під головуванням академіка НАН України В.Г. Бар'яхтара ретельно розглянула концептуальний проект і внесла низку істотних зауважень і пропозицій. Слід зазначити, що деякі авторитетні фахівці вважають: НБК тільки приховає проблеми і може породити безліч інших – фінансового й екологічного характеру.

Важливими для України є проблеми поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами.

Сьогодні на вітчизняних АЕС реалізується проектна схема перевантаження ВЯП у басейни витримки з подальшим їх транспортуванням на заводи Російської Федерації: для переробки ВЯП ВВЕР-440 (з плановим поверненням високоактивних відходів); для технологічної витримки ВЯП ВВЕР-1000 (потужності для його переробки у РФ нині відсутні). З метою тривалого зберігання ВЯП ВВЕР-1000 на Запорізькій АЕС введено в експлуатацію пристанційне сховище на основі технології сухого контейнерного зберігання.

Щодо проблеми поводження з РАВ виконуються такі роботи: створення технологій та обладнання для кондиціонування РАВ із використанням методів гарячого пресування та гарячого ізостатичного пресування порошкових компонентів (ННЦ «ХФТІ» НАН України); розробка сухого способу переробки ВЯП і РАВ за газофторидним методом (ННЦ «ХФТІ» НАН України, Інститут технічної теплофізики НАН України, Державне підприємство «Південний машинобудівний завод», ЗАТ «Українська металургійна корпорація»); дослідження перспективних мінералоподібних захисних матеріалів для іммобілізації РАВ (ННЦ «ХФТІ» НАН України); вивчення міграції радіонуклідів у захисних бар'єрних матеріалах, запропонованих для системи геологічного захоронення ВЯП і РАВ (Інститут геохімії навколишнього середовища (ІГНС) НАН і МНС України); дослідження поведінки захисних бар'єрних матеріалів за умов корозійного середовища та опромінення (ННЦ «ХФТІ» НАН України, ІГНС НАН і МНС України).

Українські наукові центри зробили помітний внесок у розвиток атомної науки і техніки колишнього СРСР. І нині вони володіють достатнім науково-технічним і промисловим потенціалом для розробки власних компонент ядерного паливного циклу.

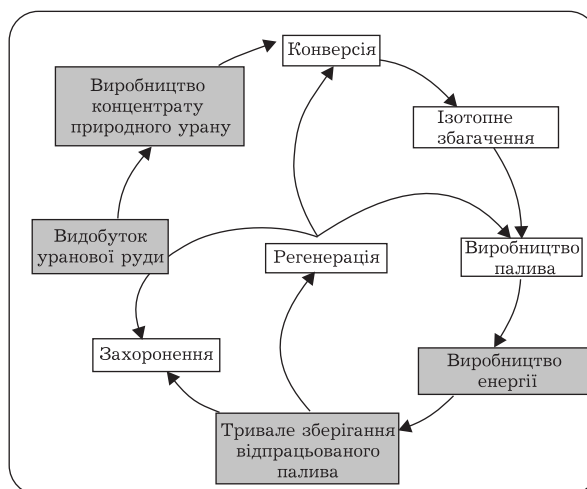


Рис. 1. Схема ядерного паливного циклу для реакторів на теплових нейтронах (заштриховано складники циклу, які існують в Україні)

Ідея створення замкнутого паливного циклу в Україні, на нашу думку, є передчасною. Адже для її реалізації необхідні величезні капіталовкладення — на спорудження надзвичайно дорогих й енергоємних виробництв з ізотопного збагачення урану і регенерації ВЯП.

Гадаємо, найефективнішим шляхом за існуючого парку енергоблоків «радянської» конструкції є посилення кооперації з Російською Федерацією у сфері виробництва ядерного палива для українських АЕС. Причому в цю кооперацію наша країна має входити з максимально можливим внеском як власних сировинних ресурсів урану і цирконію, так і вітчизняних технологічних і виробничих можливостей. Сьогодні з 9 компонент ядерного паливного циклу Україна реалізує лише 4 (рис. 1).

Визначаючи стратегію розвитку ядерної енергетики, слід враховувати той факт, що ця галузь увійшла у нове п'ятдесятиліття зі старими технологіями, які були створені не стільки для виробництва мирної електроенергії, скільки для випуску ізотопів збройного класу і реакторів для атомних підводних човнів.

Сучасні вимоги щодо нерозповсюдження ядерної зброї, екологічно безпечного поводження з ВЯП і РАВ ставлять на порядок денний розробку таких ядерних джерел енергії, які розв'язували б ці проблеми. Тому особливо увагу необхідно приділяти пошукам нових, гарантовано безпечних ядерних джерел енергії. З цього погляду заслуговують на підтримку дослідження науковців України і Росії, а саме: розробки реакторів з керуванням ланцюговою реакцією поділу ядер в активній зоні за допомогою зовнішнього джерела нейтронів; високотемпературних газових реакторів, які нині особливо актуальні для напрацювання водню; швидких рідкосольових реакторів; енергетичних термоядерних установок; підземних атомних теплоелектростанцій (що надзвичайно важливо з точки зору запобігання терористичним актам).

На рис. 2 показано один із прогнозованих сценаріїв зростання світових ядерних енергогенеруючих потужностей у XXI столітті.

Як бачимо, подальший розвиток ядерної енергетики на основі традиційних реакторів на теплових нейтронах маловірогідний через

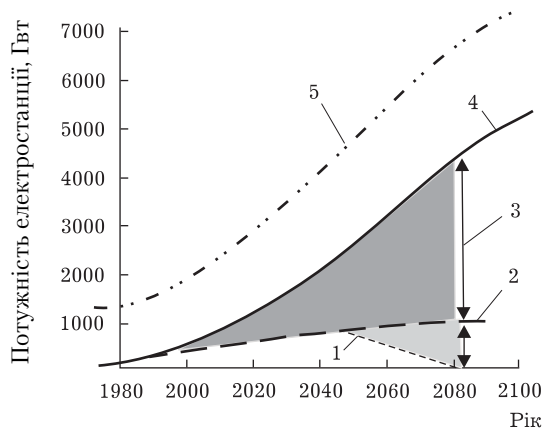


Рис. 2. Орієнтовний сценарій зростання ядерних енергогенеруючих потужностей за рахунок розвитку ядерної енергетики на: 1 – теплових реакторах на ^{235}U ; 2 – теплових реакторах з паливним циклом $\text{Th-}^{233}\text{U}$; 3 – швидких реакторах (U–Pu); 4 – сумарно на ядерних теплових і швидких реакторах; 5 – сумарні загальні ядерні та неядерні потужності

обмеженість запасів дешевого урану. За сучасного рівня використання урану-235 реакторами традиційного типу його ресурсів вистачить на 40–50 років (крива 1). Для підтримки рівня вироблення енергії на теплових реакторах необхідний перехід на паливний цикл $\text{Th-}^{233}\text{U}$ (крива 2). Щоб підвищити ядерні енергогенеруючі потужності, найоптимальніше, вважають науковці, слід розвивати реактори на швидких нейтронах (крива 4).

На відміну від реакторів на теплових нейтронах, ресурсної бази палива для реакторів на швидких нейтронах людству вистачить на тисячоліття.

На виконання Указу Президента України і доручення Прем'єр-міністра України НАН України розробила Державну програму фундаментальних і прикладних досліджень з проблеми використання ядерних матеріалів, ядерних і радіаційних технологій у сфері розвитку галузей економіки на 2004–2010 роки.

Головною метою програми є виконання фундаментальних і прикладних досліджень у галузі використання ядерних матеріалів і радіаційних технологій для потреб атомної енергетики та інших сфер економіки, їх перспективного розвитку з метою реалізації Національної енергетичної стратегії України.

Підписано Угоду про науково-технічну співпрацю між НАН України і НАЕК «Енергоатом», розроблено Перелік першочергових робіт академічних установ для забезпечення стабільного функціонування енергоблоків АЕС України.

Отже, для безпечної експлуатації діючих реакторів, підвищення економічної ефективності українських атомних електростанцій необхідні подальші дослідження і розробки у таких напрямках:

- ♦ модернізація і реконструкція ядерних енергоблоків з метою підвищення їхньої безпечності і забезпечення ефективної експлуатації усього обладнання АЕС;
- ♦ створення нових систем діагностики обладнання, наукове обґрунтування і розроб-

- ка нормативних документів для подовження на 10–15 років терміну безпечної роботи енергоблоків;
- ♦ розробка і реалізація програми поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами;
- ♦ вибір і будівництво нових атомних енергоблоків з підвищеним рівнем безпеки;
- ♦ дослідження та розробка ядерно-енергетичних установок четвертого покоління з високою ефективністю і гарантованою керованістю;
- ♦ створення оптимальної інфраструктури забезпечення надійного і безпечного функціонування та розвитку ядерної енергетики в Україні.

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ

**Ю.М. МАЦЕВИТИЙ, академік НАН України,
А.К. ШИДЛОВСЬКИЙ, академік НАН України**

Електроенергетика є, так би мовити, виконавчою ланкою паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) України. Своїми матеріально-технічними засобами вона, з одного боку, реалізує глобальну енергетичну політику держави, а з другого — забезпечує електроенергією конкретних споживачів.

Розглядаючи електроенергетику України загалом, слід зазначити, що це технологічно складна, територіально розгалужена система, складниками якої є електрогенеруючі станції, Об'єднана електроенергетична система та розподільчі електричні мережі країни. А в технологічному аспекті вона реалізує генерування, розподіл та постачання споживачам електричної енергії. Розвиток електроенергетичного комплексу (ЕЕК) визначально впливає на стан економіки країни, розв'язання проблем соціальної сфери і рівень життя людей. Зрештою енергетична незалежність чималою мірою визначає національну незалежність держави.

Електроенергетичній галузі притаманні специфічні особливості, пов'язані з одноментністю генерування та споживання електричної енергії. Це зумовлює необхідність централізованого диспетчерського оператив-

но-технологічного керування всім комплексом, системною та протиаварійною автоматикою для забезпечення надійності і безпечності функціонування обладнання. Аварійні, кризові ситуації в ЕЕК за масштабами впливу на економіку і життя людей часто можна порівняти з природними стихійними лихами.

Усе це визначає електроенергетику як галузь дуже матеріаломістку й енергоємну, з великим інвестиційним циклом і, що надзвичайно важливо, наукоємну.

Наука України завжди працювала на електроенергетику, відповідала на її запити і виклики, допомагала розв'язувати нагальні проблеми галузі на різних етапах та в різних умовах її розвитку.

За радянських часів за безпосередньої участю наших учених було закладено підвалини надійної та безаварійної роботи електроенергетичної системи України, що дало змогу втримати її від розвалу у важкі роки економічної та енергетичної кризи. Чималою мірою це вдалося зробити завдяки новаторським розробкам вітчизняних науковців. Причому це стосувалося як надійності самого енергетичного обладнання, так і розв'язання найважливіших проблем, які забезпечують