



ВОЄВОДИН

Віктор Миколайович — член-кореспондент НАН України, директор Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України

СУЧАСНИЙ СТАН ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Вельмишановний Борисе Євгеновичу!

Вельмишановна Президіє!

Шановна академічна спільнота!

Дякую за надану мені можливість виступити з цієї високої трибуни і хочу дуже коротко розповісти вам про сучасний стан ядерної енергетики в Україні та світі. Як відомо, в 2015 р. Організацією Об'єднаних Націй було ухвалено 17 Цілей сталого розвитку людства. «Сталий розвиток — це розвиток, який задовольняє потреби теперішнього часу, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби», — йдеться в доповіді ООН. Саме виробництво і використання енергії підтримують розвиток людства на тривалий період у всіх його соціальних, економічних та екологічних вимірах. Ядерна енергетика якнайкраще відповідає принципам сталого розвитку, однією з найважливіших вимог якого є наявність достатніх паливно-енергетичних ресурсів при стабільному їх споживанні в довгостроковій перспективі, та ґрунтується на трьох стовпах: економічному, екологічному та соціальному.

У 2016 р. у світі налічувалося 449 діючих ядерних енергетичних реакторів, загальна генеруюча потужність АЕС становила 382,9 ГВт електроенергії, що на 6,6 ГВт більше, ніж у 2014 р. Важливо, що 17 % світового виробництва «чистої» електричної енергії, тобто енергії, отриманої без спалювання вуглеводнів і, відповідно, без викидів в атмосферу парникових газів, забезпечується завдяки функціонуванню АЕС. У 2015 р. у світі до енергомережі було підключено 10 нових реакторів — це найбільша щорічна кількість починаючи з 1990 р. Станом на 31 грудня 2015 р. на стадії будівництва перебувало 68 ядерних реакторів, причому того ж року розпочато спорудження 8 нових блоків. Найбільше реакторів будується у Китаї — 24, Росії — 8, Індії — 6, США — 5, Україні, Білорусі, Японії — по 2 реактори.

У всьому світі ядерна енергетика ґрунтується на трьох складових — безпека, ефективність і стабільність. Після Чорнобиля і Фукусіми вимоги до безпеки стали жорсткішими. Без-

печність українських АЕС було підтверджено позитивними висновками безпрецедентної комплексної перевірки. Експерти МАГАТЕ і Європейського Союзу встановили практично повну відповідність усіх енергоблоків українських АЕС світовим вимогам МАГАТЕ щодо ядерної безпеки.

Чим же є зараз атомна енергетика для України? Саме ядерна енергетика становить сьогодні надійну основу енергетичної незалежності та національної безпеки нашої держави, це найбільш розвинений і високотехнологічний індустріальний сектор економіки. Як ви знаєте, раніше українська атомна енергетика повністю забезпечувалася ядерним паливом для реакторів ВВЕР-1000 виробництва російської паливної компанії «ТВЕЛ». В останні роки вдалося провести диверсифікацію цієї сфери, і тепер майже 30% ядерного палива постачає ядерноенергетична компанія Westinghouse. Частка ядерної енергетики в енергетичному балансі України зросла з 43 % у 2013 р. до 55 % нині.

Щодо проблем з відпрацьованим ядерним паливом. Станом на кінець 2015 р. у світі кількість відпрацьованого ядерного палива, що перебуває у сховищах, сягала приблизно 266 тис. т, при цьому темпи його накопичення становлять близько 7 тис. т на рік. Здебільшого паливо зберігають у мокрому стані на майданчику реактора, проте у 27 країнах є 147 сховищ відпрацьованого ядерного палива, які розміщені поза реактором. Запорізька АЕС першою з атомних електростанцій України з реакторами типу ВВЕР побудувала на своєму майданчику сухе сховище відпрацьованого ядерного палива за технологією сухого вентильованого контейнерного зберігання. Сховище розраховане на 380 контейнерів, в яких можна розмістити 9000 збірок з відпрацьованим ядерним паливом. НАЕК «Енергоатом» планує збудувати у Чорнобильській зоні відчуження централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива реакторів ВВЕР атомних станцій України. Загальний обсяг радіоактивних відходів в Україні оцінюється в 3,45 млн м³; 97–98 % з них є короткоіснуючими і можуть бути захоронені у приповерхневих сховищах; близько 59 тис. м³

є довгоіснуючими і мають бути видалені в глибокі геологічні формації. Проблеми безпечного поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами перебувають у центрі уваги установ НАН України. Було зроблено прогноз радіаційної стійкості гранітоїдів Українського кристалічного щита і показано, що найкращими породами є плагіограніти — кварцові сієніти і кварцити, які можуть витримувати великі радіаційні навантаження (до 108 рад). Проведено роботи щодо вивчення проблеми іммобілізації небезпечних радіонуклідів у захисні радіаційно і корозійностійкі форми; визначено найбільш придатні матеріали для створення мінералоподібних керамічних матриць, здатних включати в свою структуру радіонукліди, — це фосфатна кераміка (калій-магнієвий фосфат $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$, апатит $Ca_5(PO_4)_3F$); оксидна кераміка (ZrO_2 , Al_2O_3); розроблено захисні матриці на основі цементних компаундів; вивчено радіаційний і корозійний вплив на властивості природних матеріалів.

Подовження ресурсу ядерних блоків є актуальною проблемою світової атомної енергетики. Серед 449 діючих нині ядерних енергетичних реакторів 250 працюють уже 30 і більше років. Для подовження або поновлення ліцензії на експлуатацію реакторів, проектний строк роботи яких спливає, здійснюється ретельний аналіз безпеки реактора і оцінка ступеня старіння його основних конструкцій, систем та елементів. Така стратегія має суто економічне підґрунтя, оскільки витрати на подовження терміну експлуатації становлять приблизно 300–350 млн дол. США на один енергоблок, а витрати на будівництво нового блока (строк будівництва 5–7 років) — 5–7 млрд дол. США для російських проектів і 9–10 млрд дол. США для проектів компаній Westinghouse, Areva, Toshiba. Для України ця проблема стоїть особливо гостро. Ми вже подовжили роботу 3 ядерних блоків і за наступні 6 років маємо подовжити термін експлуатації ще 9 блоків ВВЕР-1000.

Фахівці профільних установ Академії розробили ефективні методи оцінки і подов-

ження ресурсу об'єктів атомної енергетики. З використанням технології реконструкції зразків-свідків і визначення радіаційного навантаження корпусу та внутрішньокорпусних пристроїв виконано обґрунтування строку безпечної експлуатації корпусів реакторів 8 енергоблоків українських АЕС: блоків № 1, 2, 3, 4, 6 Запорізької АЕС; № 1 і 3 Південно-Української АЕС; № 2 Хмельницької АЕС. Уперше у світовій практиці розроблено і обґрунтовано методику вирізання темплетів з обладнання і трубопроводів АЕС. Результати контролю механічних властивостей і ударної в'язкості (без порушення цілісності) разом зі структурними дослідженнями дозволили подовжити строк експлуатації головного циркуляційного трубопроводу енергоблока № 1 Південно-Української АЕС до 2031 р. (Техрішення ТР.1.0019.3827 від 02.12.2016 р.).

Після аварії на АЕС «Фукусіма» активно почав розвиватися новий напрям досліджень — створення ядерного палива, стійкого до аварійних умов (Accident Tolerant Fuel — ATF). Роботи в цьому напрямі пов'язані з підвищенням надійності паливних оболонок ядерних реакторів з метою запобігання тяжким наслідкам (вибуху водню) при аварії з втратою теплоносія та збільшенню ступеня вигорання палива (>60 ГВт на добу/т U). Для вирішення проблеми нових паливних оболонок для легководних реакторів є два основні шляхи: довготривалий (>10 років) з використанням нових матеріалів для оболонок (SiC/SiC-композити, FeCrAl, Mo/FeCrAl) і середньотривалий (≤10 років) з використанням захисних покриттів (Cr, SiC, FeCrAl та ін.) для існуючих цирконієвих сплавів. З цією метою в установах НАН України проведено дослідження вакуумно-дугових керамічних та металічних покриттів на макетах твелів у потоку пари; запропоновано цирконієві трубки з покриттями на основі хрому, які у високотемпературних випробуваннях (600–1020 °C) продемонстрували поліпшені захисні властивості; розроблено хромові покриття, що можуть забезпечити захист цирконієвих паливних оболонок в умовах аварії протягом 1 години.

Сьогодні у світі багато уваги приділяють розробленню нових типів ядерних реакторів з підвищеним рівнем активної і пасивної безпеки. По-перше, оскільки всі великі попередні аварії були пов'язані насамперед з людським фактором, у нових типах реакторів намагаються максимально автоматизувати керування роботою реактора. По-друге, з підвищенням ККД реакторів до конструкційних матеріалів висуваються нові, більш високі вимоги. Учені НАН України отримали вагомий результат в цій галузі. Так, розроблено нові, толерантні до високого рівня радіації, матеріали — дисперсно-зміцнені оксидами сталі (ДЗО-сталі). Радіаційне розпухання ДЗО-сталі в 5 разів менше, ніж базової сталі. За радіаційною стійкістю і міцнісними характеристиками ДЗО-сталі перспективні для виготовлення внутрішньокорпусних елементів і пристроїв як у діючих, так і в нових типах ядерних реакторів. Ще одним новим класом перспективних матеріалів, створених в Академії, є високоентропійні сплави (ВЕСи) з аустенітною ГЦК-ґраткою, які мають дуже високу пластичність і в'язкість руйнування при відносно низькій границі плинності. Розроблено метод поліпшення характеристик міцності таких ВЕСів шляхом легування їх елементом проникнення (вуглецем). У результаті границя плинності «класичного» ВЕСу CoCrFeMnNi зростає вдвічі, границя міцності — в 1,5 раза при збереженні високої пластичності. Ці характеристики помітно вищі, ніж для аустенітної сталі OX18H10T, яку зараз використовують для корпусів реакторів.

Кілька слів скажу про основні напрями міжнародного співробітництва в ядерній сфері. 9 березня 2017 р. сталася визначна подія — представник України вперше взяв участь, а Україна стала офіційним членом Європейської спільноти з атомної енергії — Євратому (European Atomic Energy Community). Це дуже важливий крок в євроінтеграційному напрямі, і я хочу зазначити, що для того, щоб це відбулося, дійсно колосальний обсяг роботи виконали віце-президент НАН України академік А.Г. Загородній і його помічник Є.П. Дубинський. Важливо, що Національний контактний пункт

(NCP Euratom) створено саме на базі ННЦ ХФТІ, де є власна потужна експериментальна і теоретична база для наукової підтримки робіт у галузі атомної науки і техніки. Ми сподіваємося, що спільна праця українських науковців з їх європейськими колегами дасть помітний поштовх для сучасного розвитку вітчизняної ядерної енергетики зокрема і науково-технічної сфери країни загалом, а можливо, і приверне увагу вищих органів влади до проблем галузі, що сприятиме збільшенню її фінансування.

Насамкінець хочу зазначити, що розробки науковців-атомників виявилися корисними й у сфері охорони здоров'я. На основі запропонованих нами матеріалів було створено біорозчинні коронарні (деградуючі) стенти для кардіохірургії, а також хірургічні та офтальмологічні магніти для видалення малоінвазивними методами металевих осколків при вогнепальних осколкових пораненнях (у військових госпіталях Харкова, Вінниці, Києва проведено вже понад тисячу операцій з використанням таких магнітів).

Ядерна енергетика сьогодні є важливою складовою енергетичної стратегії багатьох країн світу, оскільки це розширює ресурсну базу, збільшує постачання електроенергії, очолює інші

технології виробництва енергії, збільшує світове накопичення технологічного і людського капіталу, а також допомагає уникати забруднення навколишнього середовища і викидів газів, які зумовлюють парниковий ефект. За прогнозами, до 2030 р. потужність ядерної енергетики у світі зросте приблизно на 2 % за найнижчим сценарієм або на 70 % за найвищим сценарієм. Дедалі більшого визнання набуває роль ядерної енергетики у зменшенні викидів парникових газів. Уже тільки забезпечуючи значний внесок у пом'якшення наслідків зміни клімату завдяки виключенню викидів майже 2 млрд тонн вуглекислого газу щороку, ядерна енергетика безпосередньо сприяє досягненню Цілей сталого розвитку, поставлених Організацією Об'єднаних Націй. В Україні ядерна енергетика є гарантом енергетичної незалежності, сталого економічного та соціального розвитку. Розв'язання проблем безпечної експлуатації існуючих і створення реакторів нових поколінь, здатних задовільнити енергетичні потреби людства, має забезпечуватися спільними зусиллями експлуатаційників, промисловців, науковців та супроводжуватися відповідною політичною волею і належним фінансуванням з боку держави.

Дякую за увагу!