

За матеріалами тематичної дискусії «Ядерна фізика: надії і тривоги людства» на зібранні «Елітарна світлиця» 26 квітня 2017 р., м. Київ

ПРО НАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

О. Бакай, В. Бар'яхтар

Стрімкий розвиток ядерної фізики в 20-му сторіччі досить швидко привів до створення двох потужних і взаємопов'язаних інструментів геополітики і науково-технічного прогресу – ядерної зброї і ядерної енергетики. Наразі є очевидним, що людство приголомшливими темпами стихійно виснажує наявні і приховані, не відновлювальні і ті, що повільно відновлюються, ресурси – біологічні, екологічні, енергетичні. Ядерна енергетика є чи не єдиним адекватним засобом запобігання однієї з глобальних загроз – екологічної катастрофи внаслідок накопичення в атмосфері надміру вуглекислого газу, який є продуктом згорання і окислення вуглеводів. Загальна частка енергії, що одержується від спалювання вуглеводів, складає 81%, а ядерна енергетика постачає лише 6,3%. Щоб замінити масштабну частину «вуглеводної» енергетики ядерною, необхідно збільшити загальний внесок ядерної енергетики принаймні до 25%. Для цього потрібно створити нові ядерно-енергетичні технології, які дозволять перейти до нових видів ядерного палива – урану-238 або торію-233 – замість урану-235, запаси якого виснажуються. Крім того, ядерні ректори нового покоління (покоління 4) мають забезпечити підвищену надійність і безпеку експлуатації, а також, що дуже важливо, виключити як розповсюдження ядерної зброї, так і накопичення радіотоксичних ізотопів (деякі з них є істотно небезпечними протягом 300 тисяч років, доки не порозпадаються), які напрацьовуються в ядерних реакторах. Наведений перелік умов, які має задовольняти ядерна енергетика 4-го покоління, виглядає надто складним, але в 2001 році Міжнародний форум G-IV головних західних країн-розробників ядерної енергетики прийняв дорожню карту науково-технологічних розробок з вибору типів і створення реакторів 4-го покоління, переважно – на швидких нейтронах [1]. Пілотні реактори цього покоління мали б з'явитися біля 2030 року.

Як бачимо, період становлення незалежної державності України співпадає з періодом розробки і початку впровадження ядерної енергетики нового покоління, а отже вимагає розробки стратегії розвитку ядерної енергетики в Україні з врахуванням світового тренду і поточних реалій нашої енергетичної галузі. Минуло 10 років відтоді, як з'явились перші публікації, присвячені цій проблемі [1, 2]. За цей час відбулись кардинальні зміни в нашій державі і загострились проблеми енергетики. При цьому ядерна енергетика помітно постаріла, але не зазнала жодних позитивних змін. Обговоренню сучасного стану та нагальних проблем ядерної енергетики України була присвячена нещодавня тематична дискусія «Ядерна фізика:

надії і тривоги людства» на зібранні «Елітарна світлиця». Це повідомлення передає зміст основних питань, що обговорювались.

1. УКРАЇНА – ІСТОРИЧНО ЯДЕРНА ДЕРЖАВА

Промислово і інтелектуально розвинута Україна займала лідируючі позиції в світовій ядерній фізиці і стала активним учасником розробок у рамках атомного проекту Радянського Союзу з розробки ядерної і термоядерної зброї, а згодом і в ядерній енергетиці. Історичний поступ у цій царині завдячує успіхами Георгію Гамову, Дмитру Іваненку, Кирилу Синельникову, Антону Вальтеру, Олександрі Лейпунському, Ігорю Курчатову, Льву Ландау, Юхиму Славському, Анатолію Александрову та багатьом іншим видатним фахівцям, пов'язаних з Україною походженням і творчими біографіями. Не дивно, що на теренах колишнього Радянського Союзу кількість ядерних реакторів на одиницю площі була найбільшою саме в Україні. Отже саме тут відпрацьовувались і впроваджувались ядерні реактори. Один із блоків уран-графітового реактора, збудований в Чорнобилі, став для України фатальним¹. Окрім того, Чорнобильська катастрофа призвела до великомасштабних непоправних втрат в Україні та водночас і до перегляду вимог щодо безпеки і надійності реакторів в усьому світі, але не до відмови від ядерної енергетики. Більш того, наразі ядерна енергетика розглядається як інструмент запобігання глобальній екологічній катастрофі. Той факт, що поточно 55% електричної енергії в нашій країні виробляють атомні електростанції, породжує впевненість, що ядерна енергетика зберігатиме провідну позицію в нашій енергетиці і надалі. Проте для цього доведеться ще багато зробити.

2. УКРАЇНА МАЄ ПЕРЕДУМОВИ СТАТИ УСПІШНОЮ ЯДЕРНОЮ ДЕРЖАВОЮ

Об'єктивно Україна має всі передумови, щоб стати успішною ядерною державою на довгий строк. Коротко охарактеризуємо поточний стан ядерної енергетики в нашій державі.

Позитивні фактори:

– В Україні працює 15 енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) на теплових нейтронах з легкою водою в якості теплоносія. Вони постачають 55% електроенергії в енергосистему країни. Як бачимо, частка енергії, виробленої АЕС в нашій країні, вдвічі перевершує середньосвітовий

¹ Дивись публікацію [3].

критичний показник, необхідний для запобігання глобальній екологічній катастрофі.

– Накопичено багаторічний досвід експлуатації АЕС. Налагоджено постачання реакторного палива. Здійснюються планові профілактичні і ремонтні роботи.

– Розпочато втілення програми з диверсифікації постачання реакторного палива і з залученням постачальників від фірми Вестінгауз (окрім російських виробників). Це загальноприйнята світова практика, спрямована на забезпечення енергетичної безпеки країни.

– В Україні розвіданих покладів урану досить, щоб забезпечити паливом на основі ізотопу уран-235 теплові реактори протягом наступних 100 років. Крім того, *є поклади усіх складових елементів*, необхідних для виробництва реакторних конструкційних матеріалів.

– В країні наразі зберігся, хоч і зазнав за останні десятиріччя значних втрат, науково-технологічний потенціал, необхідний для супроводу атомної енергетики, головним чином у Національній академії наук.

Тривожні фактори:

– Переважну більшість із діючих 15 блоків АЕС введено в експлуатацію до 1990 року при плановому терміні експлуатації до 40 років. До 2030 року вони мають бути виведені з експлуатації. Діюча Програма подовження терміну експлуатації реакторів лише відтерміновує закриття реакторів, ресурс яких вичерпується.

– Не зроблено реальних кроків до спорудження власного підприємства з виготовлення паливних збірок для ядерних реакторів. При існуючому обсязі закупівлі паливних збірок витрати на таке підприємство мають окупитися за кілька років. Через відсутність цього виробництва держава несе відчутні збитки.

– Не налагоджено належний видобуток руди, необхідної для виробництва реакторних матеріалів, а більшість виробництв (цирконієвих, гафнієвих, титанових і інших матеріалів, що дісталися у спадок новим власникам) доведено майже до краху. Припинено видобуток важкої води. Природний уран видобувається в кількості ~ 30% від необхідного для виробництва реакторного палива при тім, що за обсягом його покладів наша країна посідає одинадцяте місце в світі.

– Не організовано належним чином підготовку фахівців, необхідних для експлуатації АЕС, наукового супроводу ядерної енергетики, створення перспективних ядерно-енергетичних технологій.

Ядерна енергетика переживає період занепаду в ролі профіцитного додатку до теплової енергетики. На цей час кіловат-годину електроенергії АЕС постачають за ціною 0,4542 грн, тоді як електроенергія, що виробляється тепловими станціями, постачається за ціною 3,62 грн.

Проблеми енергетики України загальновідомі, але і досі не складено дорожню карту їх розв'язання. Озвучувані ж Міністерством палива і енергетики стратегічні плани розвитку ядерної енергетики (як складової частини енергетики України) є суто декларативними.

3. ЕЛЕМЕНТИ СТРАТЕГІЧНОЇ ПЕРСПЕКТИВИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ. ОПТИМАЛЬНА СТРУКТУРА НА ПЕРЕХІДНИЙ ПЕРІОД

Щоб ознайомитись з важливими елементами світової дорожньої карти розробки ядерних технологій 4-го покоління, поглянемо на рисунок, де схематично представлено графік розвитку ядерної енергетики в 21-му сторіччі. Зелена суцільна лінія показує внесок реакторів на теплових нейтронах, а блакитна штрихова – очікуваний внесок від реакторів 4-го покоління на швидких нейтронах. Як видно, потужність реакторів 4-го покоління в 2050 році має втричі переважати сумарні потужності реакторів на теплових нейтронах, які істотно мають зменшитись до 2070 року. Беручи до уваги те, що середній термін експлуатації реактора на теплових нейтронах сягатиме близько 50 років і що протягом наступних 30 років будівництво реакторів на теплових нейтронах продовжуватиметься не меншими темпами, ніж зараз, бачимо, що в ядерній енергетиці очікується перехідний період впродовж приблизно 70 років, коли співіснуюватимуть ядерні технології 3-го і 4-го покоління. Для підвищення ефективності, безпеки і надійності реакторів на теплових нейтронах потрібно провести їх конструкційні вдосконалення та розробити нові паливні цикли:

1. Number of Gwe (PWR and FR) as function of time – електрична потужність реакторів на теплових нейтронах і швидких нейтронах, як функція часу.

2. Total number of Gwe – повна електрична потужність.

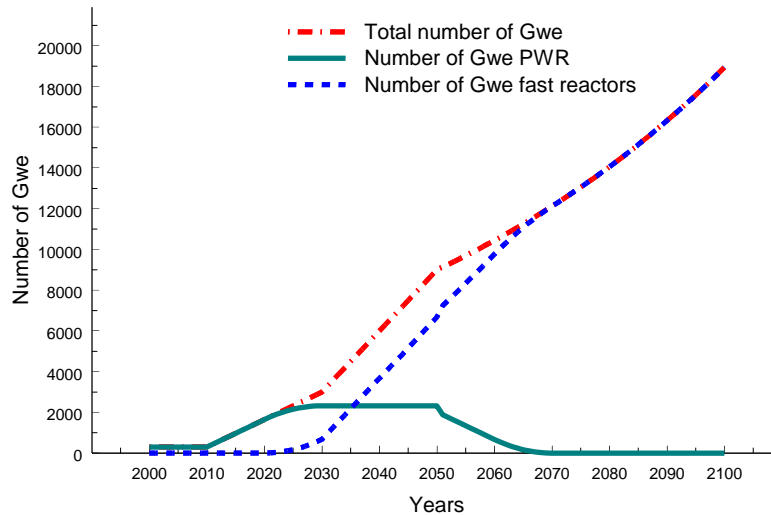
3. Number of Gwe PWR – електрична потужність реакторів на теплових нейтронах.

4. Number of Gwe FR – електрична потужність реакторів на швидких нейтронах.

5. Number of Gwe – електрична потужність реакторів (гігават).

6. Years – роки.

Number of Gwe (PWR and FR) as function of time



Прогнозоване зростання сумарної потужності ядерної енергетики в світі на перехідний період згідно з дорожньою картою міжнародного форуму G-IV

Саме виходячи з цих міркувань запропонована оптимальна (на думку авторів) дворівнева структура ядерної енергетики України на перехідний період [1–3]. Оскільки за наявних запасів урану-235 паливна криза нашої державі на цей період не загрожує, то слід розглядати варіанти оптимізації витрат на розвиток диверсифікованої ядерної енергетики, шляхи оптимального використання наявних ресурсів і раціонального поводження з радіотоксичним відпрацьованим ядерним паливом. Ці вимоги може задовольнити дворівнева ядерна енергетика, коли енергетичні легководні реактори на теплових нейтронах (ЛРПТН) працюють синергічно з реакторами-трансмутаторами, які окрім постачання енергії забезпечують випалювання радіотоксичних ізотопів і допалювання відпрацьованого палива з ЛРПТН у важководних реакторах². Перспективна перевага важководних реакторів типу CANDU полягає в тому, що започатковано програму їх еволюційного розвитку з переходом до реакторів 4-го покоління, які працюють у режимі охолодження водою в закритичному стані. У Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» у співпраці з фахівцями Канадської національної «Лабораторії Чок Рівер» розроблено нову методологію, відповідні пристрої і засоби, які дозволяють проводити ефективні випробування на корозійну і втомну стійкість перспективних конструкційних матеріалів у циркулюючому водяному плинні (у докритичному і закритичному станах) під опроміненням. Успішне застосування цієї методології при тестуванні кількох конструкційних матеріалів [4] показало, що вона дозволяє істотно скоротити терміни створення

² Паливо для ЛРПТН збагачується до 4,4% ізотопом урану-235. Біля третини цього ізотопу залишається в відпрацьованому паливі, яке можна допалити в важководному реакторі типу CANDU.

нових конструкційних матеріалів для водяних реакторів 4-го покоління.

4. ОЧЕВИДНІ ПЕРШОЧЕРГОВІ ЗАВДАННЯ

Розробка ефективної і реалістичної програми розвитку ядерної енергетики в нашій державі є очевидним головним нагальним завданням. Для цього необхідно за участі представників потенційних зарубіжних партнерів провести економічну експертну оцінку можливих сценаріїв розвитку ядерної енергетики України на перехідний період, тобто на наступні 50–60 років. Обравши стратегію розвитку згідно з цим аналізом, держава має подбати про її втілення. Невідкладним завданням для уряду нашої країни є забезпечення фінансування поточних робіт НАН України, пов'язаних з атомною енергетикою.

Іншим очевидним поточним завданням є підготовка фахівців для ядерної енергетики в Україні і забезпечення їх вишколу в тих країнах і фірмах західного світу, чії ядерні технології впроваджуватимуться.

На черзі також розвитку ефективного науково-технологічного супроводу ядерної енергетики. Для прикладу приведемо коротку довідку про діяльність лише однієї Національної ядерної лабораторії (НЯЛ) Великої Британії, яка працює в цій царині. Історія діяльності цієї державної інституції розпочалася в 1996 році і зазнала реорганізацій в процесі розвитку. Остаточо сформована в 2008 року. На сайті лабораторії читаємо:

«Починаючи з 2008 р. ми є незалежними радниками уряду ВБ і працюємо з іншими лабораторіями світу. Пропонуємо усі можливі дослідження і технологічні розробки, необхідні для супроводу паливного циклу.

Метою є надавати найкращі в світі наукові і технологічні розробки.

Як підприємці ми працюємо по трьох основних напрямках.

1. *Поводження з ядерними відходами і виведення реакторів з експлуатації.* Ми пропонуємо низку продуктів і послуг, спрямованих на розробку і впровадження засобів виведення з експлуатації ядерних об'єктів. Наш досвід покриває повною мірою поведження з відходами і проекти виведення з експлуатації, включно з проблемами довкілля і поведження з ядерними відходами, їх моніторингом і аналізом та технологією іммобілізації відходів.

2. *Розв'язання проблем паливного циклу.* Ми зосереджені на забезпеченні технічними розробками ядерної індустрії. Це включає розробку паливного циклу і розвиток відповідних технологій та розміщення відпрацьованого палива. Ми також займаємось ядерною надійністю і безпекою, інженерними послугами, проводимо комп'ютерні розрахунки і моделювання.

3. *Супровід діючих реакторів.* НЯЛ забезпечує життєво важливий супровід реакторів у Великій Британії, включно з дослідженням і використанням складових палива і графіту. Наші служби

охоплюють хімічні, ендоскопічні і металографічні дослідження на АЕС».

Ця довідка в стислій формі висвітлює лише одну з життєво необхідних складових супроводу ядерної енергетики, яку потрібно розбудовувати в нашій державі в найкоротший час.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Б.Є. Патон, О.С. Бакай, В.Г. Бар'яхтар, І.М. Неклюдов. *Про стратегію розвитку ядерної енергетики в Україні.* НАН України, 2008.

2. О.С. Бакай. Перспективні напрями розвитку ядерної енергетики України // *Світогляд.* 2009, №3, т. 48.

3. В.Г. Бар'яхтар, Б.С. Пристер, М.П. Уманець. ЧАЕС 30 років тому. Як це було // *Наука та наукознавство.* 2016, №2, с. 110-112.

4. A.S. Bakai, V.N. Boriskin, A.N. Dovbnya, S.V. Dyuldy, D.A. Guzonas. Combined effect of Irradiation, Temperature, and Water Coolant Flow on Corrosion of Zr-, Ni-Cr-, and Fe-Cr-Based Alloys // *J. Nucl. Eng. and Rad. Sc.* 2016, v. 2, p. (021007-1)-(021007-11).