

ПРО НАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ



Олександр Бакай
доктор фіз.-мат. наук,
академік НАН України,
завідувач відділу
Інституту теоретичної фізики
ім. О.І. Ахієзера
ННЦ “Харківський фізико-
технічний інститут”,
м. Харків



Віктор Бар'яхтар
доктор фіз.-мат. наук,
академік НАН України,
почесний директор
Інституту магнетизму
НАН України і МОН України,
м. Київ

Стрімкий розвиток ядерної фізики в ХХ ст. сприяв створенню двох потужних і взаємопов'язаних інструментів геополітики і науково-технічного прогресу — ядерної зброї й ядерної енергетики. Наразі є очевидним, що людство приголомшливими темпами стихійно виснажує ресурси — наявні й приховані, невідновлювальні й ті, що повільно відновлюються, біологічні, екологічні, енергетичні. Ядерна енергетика є чи не єдиним адекватним засобом запобігання однієї з глобальних загроз — екологічної катастрофи внаслідок надмірного накопичення в атмосфері вуглекислого газу, який є продуктом згорання і окислення вуглеводів. Загальна частина енергії, одержувана від спалювання вуглеводів, становить 81 %, а від ядерної енергетики — 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 реактори нового покоління (4-го покоління) повинні забезпечити підвищену надійність і безпеку експлуатації, а також, що дуже важливо, виключити як розповсюдження ядерної зброї, так і накопичення радіотоксичних ізотопів, які напрацьовуються в ядерних реакторах (деякі з них є істотно небезпечними протягом 300 тисяч років, доки не порозпадаються). 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 щодо вибору типів і створення реакторів 4-го покоління переважно на швидких нейтронах¹. Пілотні реактори цього покоління мали б з'явитися десь у 2030 році.

Як бачимо, період становлення державної незалежності України співпадає з періодом розробки і початком впровадження ядерної енергетики нового покоління, а, отже, вимагає розробки стратегії розвитку ядерної енергетики в Україні з урахуванням світового тренду й поточних реалій нашої енергетичної галузі. Минуло 10 років відтоді, як з'явилися перші публікації, присвячені цій проблемі [1—2]. За цей час відбулися кардинальні зміни в нашій державі і загострилися проблеми енергетики, але ядерна енергетика не зазнала жодних позитивних змін. Обговоренню поточного стану та нагальних проблем ядерної енергетики України була присвячена нещодавня тематична дискусія “Ядерна фізика: надії і тривоги людства” на зібранні “Елітарної світлиці”. Дане повідомлення передає зміст основних обговорених питань².

¹ Дивись публікації [1,2] і цитовану там літературу.

² Стаття підготовлена за матеріалами тематичної дискусії “Ядерна фізика: надії і тривоги людства”, що відбулася на зібранні “Елітарної світлиці” 26-го квітня 2017 р. у м. Київ.

1. Україна — історично ядерна держава

Промислово й інтелектуально розвинена Україна ще за радянських часів займала лідируючі позиції в світовій ядерній фізиці і стала активним учасником розробок в рамках атомного проекту Радянського Союзу з розробки ядерної і термоядерної зброї, а згодом і в ядерній енергетиці. Історичний поступ у цій царині відбувся завдяки успішним роботам *Георгія Гамова, Дмитра Іваненка, Кирила Синельнікова, Антона Вальтера, Олександра Лейпунського, Ігоря Курчатова, Льва Ландау, Юхима Славського, Анатолія Александрова* та багатьох інших видатних фахівців, пов'язаних з Україною походженням або 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 у Чорнобилі, став для України фатальним [3]. Чорнобильська катастрофа призвела до великомасштабних непоправних втрат в Україні і, водночас, до перегляду вимог щодо безпеки і надійності реакторів у всьому світі, але не до відмови від ядерної енергетики. Більш того, ядерна енергетика наразі розглядається як інструмент запобігання глобальній екологічній катастрофі. Той факт, що 55 % електричної енергії в Україні виробляють атомні електростанції, породжує впевненість, що ядерна енергетика зберігатиме провідну позицію в нашій енергетиці й надалі. Проте для цього доведеться ще багато чого зробити.

2. Україна має передумови стати успішною ядерною державою

Об'єктивно Україна має всі передумови стати успішною ядерною державою на довготривалий термін. 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 як теплоносієм. Вони постачають 55 % електроенергії в енергосистему країни. Отже, частина енергії, виробленої атомними електростанціями в нашій країні, вдвічі перевершує середньосвітовий критичний показник, необхідний для запобігання глобальній екологічній катастрофі.

— Накопичено багаторічний досвід експлуатації АЕС. Налагоджено постачання реакторного палива. Здійснюються планові профілактичні і ремонтні роботи. Організовано кадрове забезпечення АЕС.

— Розпочато втілення програми з диверсифікації постачання реакторного палива із залученням постачальників від фірми Westinghouse (крім 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.



Г. Гамов



Д. Іваненко



К. Синельніков



А. Вальтер



О. Лейпунський



І. Курчатов



Ф. Ланге



Л. Ландау



А. Александров



Є. Славський

— Наразі в країні зберігся, хоч і зазнав за останні десятиріччя значних втрат, науково-технологічний потенціал, необхідний для супроводу атомної енергетики.

Тривожні фактори:

— Переважна більшість із діючих 15 блоків АЕС введені в експлуатацію перед 1990 р. при плановому терміні експлуатації до 40 років. До 2030 р. вони мають бути виведені з експлуатації. Діюча програма продовження терміну експлуатації реакторів лише на деякий час відтерміновує закриття деяких з них.

— Не зроблено реальних кроків по спорудженню власного підприємства для 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 великі збитки.

— Не налагоджено належний видобуток руд, необхідних для виробництва реакторних матеріалів, а більшість виробництв, як от цирконієвих, гафнієвих, титанових та інших матеріалів, що дістались у спадок новим власникам, доведені майже до краху. Припинено видобуток важкої води. Природний уран видобувається в кількості орієнтовно 30 % від необхідного для виробництва реакторного палива. І це при тому, що за обсягом його покладів наша країна посідає одинадцяте місце в світі.

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

Ядерна енергетика переживає період занепаду як профіцитний додаток до теплової енергетики.

На сьогодні кіловат-годину електроенергії атомні електростанції постачають по ціні 0,4542 грн, тоді як електроенергія, що виробляється тепловими станціями, постачається по ціні 3,62 грн.

Проблеми енергетики України загальновідомі, але й досі не складена дорожня карта їх розв'язання. Озвучуванні ж Міністерством палива і енергетики стратегічні плани розвитку ядерної енергетики (як складової частини енергетики України) є чисто декларативними.

3. Елементи стратегічної перспективи атомної енергетики України. Оптимальна структура на перехідний період

Для ознайомлення з важливими елементами світової дорожньої карти розробки ядерних технологій 4-го покоління нами наведено рисунок, де схематично представлено графік розвитку ядерної енергетики в ХХ 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 зменшитися до 2070 року. Взявши до уваги, 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 тепер,



Хмельницька АЕС — 2 енергоблоки



Рівненська АЕС — 6 енергоблоків

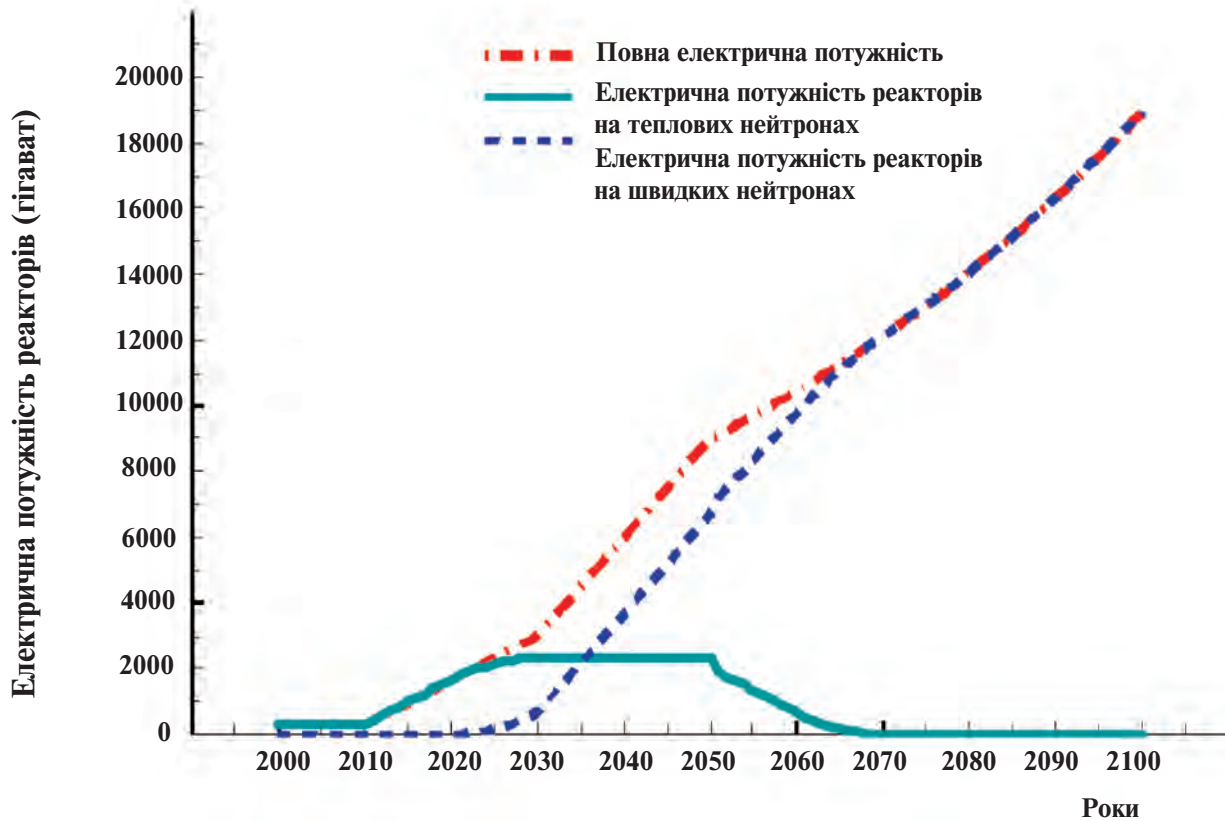


Південно-Українська АЕС — 3 енергоблоки



Запорізька АЕС — 6 енергоблоків

Електрична потужність реакторів на теплових нейтронах і на швидких нейтронах як функція часу



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

зауважимо, що в ядерній енергетиці очікується перехідний період впродовж 70—80 років, коли співіснуюватимуть ядерні технології 3-го і 4-го поколінь. Для підвищення ефективності, безпеки і надійності реакторів на теплових нейтронах потрібно провести їх конструкційні вдосконалення та розробити нові паливні цикли.

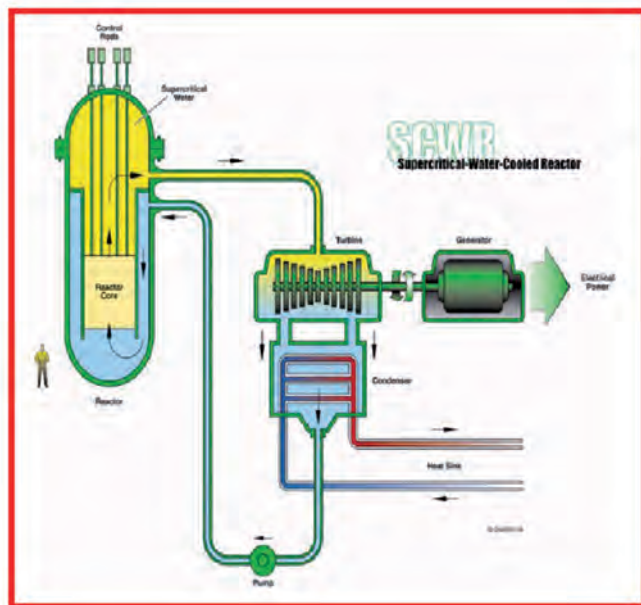
Саме з цих міркувань була запропонована оптимальна (на думку авторів) дворівнева структура ядерної енергетики України на перехідний період [1—2]. Оскільки за умови наявності запасів урану-235 паливна криза нашої державі на цей період не загрожує, то слід розглядати варіанти оптимізації витрат на розвиток 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 (ЛРТН) працюють синергічно з реакторами-трансмутаторами, які окрім постачання

енергії забезпечують випалювання радіотоксичних ізотопів і допалювання відпрацьованого палива з ЛРТН в важководних реакторах. Перспективна перевага важководних реакторів типу CANDU полягає в тому, що започатковано програму їх еволюційного розвитку з переходом до реакторів 4-го покоління, які працюють в режимі охолодження водою в закритичному стані³.

Співробітники Національного наукового центру “Харківський фізико-технічний інститут” разом з фахівцями Канадської національної лабораторії “Лабораторія Чок Ріверу” розробили нову методологію, відповідні пристрої і засоби, які дозволяють проводити ефективні випробування на корозійну і втомну стійкість перспективних конструкційних матеріалів у циркулюючому водяному млині (в докритичному і закритичному станах) під опроміненням. Успішне застосування цієї методології при тестуванні кількох конструкційних матеріалів [4] показало, що вона дозволяє істотно скоротити терміни створення нових конструкційних матеріалів для водяних реакторів 4-го покоління.

³ Паливо для ЛРНТ має бути збагаченим до 4,4 % ізотопом урану-235. Біля третини цього ізотопу залишається у відпрацьованому паливі, яке можна допалити у важководному реакторі типу CANDU.



Важководний реактор 4-го покоління SCWR з водою як теплоносієм у закритичному стані

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.

Другим очевидним першочерговим завданням є підготовка фахівців для ядерної енергетики в Україні і забезпечення їх вишколу в тих західних країнах і фірмах, чий ядерні технології впроваджуватимуться.

На черзі також розвиток ефективного науково-технологічного супроводу ядерної енергетики. Для прикладу наведемо коротку довідку про діяльність лише однієї Національної ядерної лабораторії Великої Британії, яка працює в цій царині. Історія діяльності цієї державної інституції розпочалася в 1996 році й зазнала реорганізації в процесі розвитку. Остаточо сформована в 2008 році. На сайті лабораторії читаємо: “Починаючи від 2008 року, ми є незалежними радниками уряду Великої Британії і працюємо з іншими лабораторіями світу. Пропонуємо усі можливі дослідження і технологічні розробки, необхідні для супроводу паливного циклу.

Література

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, № 3, 48 (2009).
3. В.Г. Бар'яхтар, Б.С. Пристер, М.П. Уманець. ЧАЕС

Нашою метою є надання найкращих у світі наукових і технологічних розробок. ... Як підприємці ми працюємо в 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 поведіння з відходами і проекти виведення з експлуатації включно з проблемами довкілля і поведіння з ядерними відходами, їх моніторингом і аналізом та технологією іммобілізації відходів.

2. Розв'язання проблем паливного циклу. Наші зусилля спрямовані на забезпечення технічними розробками ядерної індустрії. Це включає розробку паливного циклу і розвиток відповідних технологій та розміщення відпрацьованого палива. Ми також займаємось питанням ядерної надійності та безпеки, інженерними послугами, проводимо комп'ютерні розрахунки і моделювання.

3. Супровід діючих реакторів. Національна ядерна лабораторія 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. ■

30 років тому. Як це було. *Наука та наукознавство*, № 2, с. 110—112 (2016).

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. & Rad. Sc.*, Vol. 2/021007—1)–(021007—11) (2016).