

Вісник N9 2001

I. ВИШНЕВСЬКИЙ, В. ДАВИДОВСЬКИЙ, А. ТРОФИМЕНКО

ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТА АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА: ТЕХНІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ, СОЦІАЛЬНІ, ПОЛІТИЧНІ АСПЕКТИ

Видатні досягнення ядерної фізики середини ХХ століття дали людству нове потужне джерело енергії, головною особливістю якого є величезна концентрація енергії в малому об'ємі речовини. Це зумовлює його значні переваги перед іншими енергоджерелами, але й водночас створює певну небезпеку, пов'язану з його використанням.

Атомна енергетика як галузь, що потребує застосування сучасних передових технологій, уже сьогодні відіграє істотну роль в усьому світі і могла б стати основою енергетики майбутнього за умови її безпечності, економічної конкурентоспроможності та позитивного сприйняття громадськістю.

Проте, мабуть, немає жодної іншої галузі науки і техніки, щодо якої висловлювалося б стільки суперечливих міркувань, як щодо атомної енергетики. Тому надзвичайно актуальним завданням є всебічний аналіз і об'єктивна оцінка її сучасного стану, тієї ролі, яку вона відіграє у світі і в Україні, всіх її переваг і недоліків і, нарешті, перспектив розвитку у ХХІ столітті.

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ

За даними МАГАТЕ, на 1 січня 2000 р. у світі діяло 433 реактори загальною потужністю 349 ГВт, що забезпечувало виробництво близько 6 % всієї енергії та 17 % електроенергії. На стадії будівництва перебувало 37 реакторів загальною потужністю 31 ГВт [1]. Основна їх частина припадає на країни Далекосхідного регіону (Японія, Китай та Південна Корея).

Атомна енергетика (АЕ) як галузь промисловості, що потребує застосування передових технологій, набула особливо великого розвитку в країнах Європейського Союзу: 35 % електроенергії тут генерується на атомних електростанціях (АЕС), 27 % — одержують з твердого органічного палива, 16 % — з природного газу, 14 % — на гідроелектростанціях та за допомогою інших поновлюваних джерел, 8 % — з використанням нафти [2].

Розподіл потужностей АЕС у країнах з найбільш розвинутою АЕ та їх внесок у загальне виробництво електроенергії (за станом на 1 січня 2000 р.) наведено у табл. 1 [1].

Таблиця 1. Стан розвитку атомної енергетики у різних країнах

Країна	Кількість енергоблоків	Потужність АЕС, МВт	Кількість виробленої електроенергії за 1999 р., ТВт · год.	Електроенергія, вироблена на АЕС, %	Загальна тривалість роботи АЕС (реакторо-роки)
США	104	97156	727	19,8	2456
Франція	59	63103	375	75,0	1110
Японія	53	43691	303	34,6	909
Німеччина	19	21122	160	31,2	572
Росія	29	19843	111	14,4	642
Англія	35	12968	91	28,8	1203
Південна Корея	16	12990	98	42,8	153
Україна*	14	12115	67	43,8	226
Канада	14	9998	69	12,4	419
Швеція	11	9432	70	46,8	267
Іспанія	9	7470	56	31,0	183
Бельгія	7	5712	47	57,7	163
Усього у світі	433	349074	2398	~17	9384

* 3-й блок Чорнобильської АЕС було закрито наприкінці 2000 р.

Як бачимо, найбільша кількість енергоблоків розташована у США, а далі, в порядку зменшення їх кількості, йдуть Франція, Японія, Німеччина та інші країни. Україна нині посідає восьме місце в світі за потужністю своїх АЕС.

Основний тип АЕС у більшості країн — легководні реактори під тиском PWR (Pressurized Water Reactors) та подібні їм за конструкцією водо-водяні енергетичні реактори ВВЕР (65 % усієї наявної потужності). Ще один поширений вид реакторів — легководні киплячі BWR (Boiling Water Reactors), на які припадає 22 % потужності всіх реакторів. В Англії набули розвитку газоохолоджувані реактори типів GCR та AGR (Gas Cooled Reactors та Advanced Gas Reactors), потужність яких становить 3,4 % від світової. Канада надає перевагу розвитку важководних реакторів під тиском PHWR (Pressurized Heavy Water Reactors), зокрема найвідомішому їх типові — CANDU (CANadian Deuterium-Uranium). На них припадає 4,5 % потужності всіх діючих у світі реакторів. Частка реакторів типу РБМК (реактори великої потужності каналного типу) становить 3,9 % від загальної їх кількості. Усі згадані реактори використовують енергію теплових (уповільнених) нейтронів. І, нарешті, потужність реакторів, які працюють на швидких нейтронах — FBR (Fast Breeder Reactors), становить близько 0,3 % [1].

Наявність багатьох типів діючих реакторів — результат пошуку їх оптимальної конструкції. До того ж кожен з них відбиває рівень розвитку технології у конкретних країнах та можливості ядерного паливного циклу.

З табл. 1 видно, що частка електроенергії, одержаної на АЕС, у загальному виробництві електроенергії в Україні дорівнює 43,8 %. За цим показником наша країна посідає сьоме місце у світі, забезпечуючи майже половину своїх енергетичних потреб.

Іншим показником, який характеризує роботу АЕС у світі, є час експлуатації всіх ядерних реакторів (рис. 1 [1]). Спостерігається стрімке зростання тривалості дії реакторів: їхній загальний термін роботи наближається до 10 тис. років. Нагромаджений у цій справі досвід використовується для створення реакторів нового покоління з підвищеною безпекою.

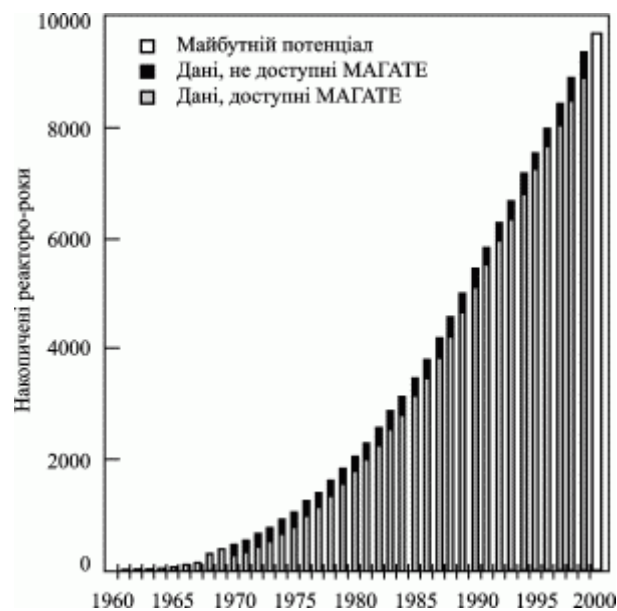


Рис. 1. Досвід експлуатації ядерних реакторів.

Темпи зростання потужностей атомної енергетики у більшості країн були максимальними у 60—70-х роках, далі поступово зменшувалися, і нині вона розвивається тільки в окремих країнах. Причиною цього стали різноманітні технічні, економічні, соціальні та політичні проблеми.

До технічних належить необхідність перегляду норм безпеки, яка стала очевидною після великої аварії на АЕС у Три-Майл-Айленді у США (1979 р.), Чорнобильської катастрофи (1986 р.) та ряду дрібних аварій на різних АЕС. МАГАТЕ визначило обсяг технічних заходів, спрямованих на істотне підвищення безпечності всіх діючих реакторів, і встановило нові норми, згідно з якими ймовірність великої аварії з пошкодженням активної зони не повинна перевищувати 10^{-4} реакторо-років, а ймовірність аварії з викидом радіонуклідів за межі реактора має бути не вищою за 10^{-5} . Для нових реакторів, що перебувають на стадії розробки, встановлено нижню межу аварії останнього типу у 10^{-6} реакторо-років [3]. Іншими словами, йдеться про рівень безпеки, за якого за мільйон років роботи реактора може статися одна гіпотетична аварія (це при тому, що проектний термін служби реактора становить 30—50 років).

Підвищення вимог до безпечності реакторів призвело до зростання вартості, що за ринкових умов негативно позначилося на темпах їх подальшого спорудження. До цього додалося негативне ставлення значної частини населення до атомної енергетики як до потенційно небезпечного енергоджерела і відсутність широкої громадської підтримки. Тим часом АЕ характеризується значно меншим ризиком, пов'язаним з постачанням палива та нестабільністю цін на нього. Адже необхідні обсяги постачання палива тут малі, тому можна створити його стратегічні резерви на багато років. Це допомагає зберегти енергетичну незалежність державам, які не мають достатніх запасів органічного палива.

Кожна країна формує свою енергетичну політику з урахуванням усіх цих факторів, віддаючи перевагу розвитку того чи іншого джерела енергії. Останнім часом різні країни дедалі частіше орієнтуються на пріоритетний розвиток атомної енергетики. І тут істотну роль відіграє розробка конструкцій нових, удосконалених реакторів, які за своїми технічними та економічними показниками й рівнем безпеки значно перевершують існуючі [4].

Наприклад, у США, де протягом тривалого часу не було замовлень на нові реактори, одержано сертифікат регулюючих органів на конструкцію вдосконалених реакторів PWR та BWR великої потужності, зокрема на реактор AP-600 з пасивними (тобто такими, що ґрунтуються на фундаментальних фізичних законах) системами захисту. Він розрахований на 60-річний строк служби.

У Франції було поставлено під навантаження енергоблок "Civaux-2"— останній реактор, збудований у Західній Європі. Фірми Франції та Німеччини завершили розробку базового проекту європейського легководного реактора під тиском ERP потужністю 1500 МВт, який відповідає вимогам європейських енергопідприємств.

Росія закінчує будівництво трьох нових енергоблоків ВВЕР-1000 на Ростовській та Калінінській АЕС, а також РБМК удосконаленої конструкції на Курській АЕС. Атомна енергетика Росії забезпечує виробництво 13 % всієї електроенергії в країні. Тривають розробки проектів удосконалених реакторів ВВЕР середньої потужності з пасивними системами захисту.

В Японії діють 53 реактори загальною потужністю 43,7 ГВт. Ведуться роботи зі спорудження двох удосконалених киплячих реакторів потужністю 1350 МВт.

У Південній Кореї розпочалась комерційна експлуатація важководного реактора "Wolsong-4" , що довело кількість діючих тут реакторів до 16. Ведеться будівництво двох стандартизованих блоків реактора PWR потужністю по 1000 МВт вітчизняної конструкції.

У Китаї розгорнулося будівництво двох блоків ВВЕР-1000 і триває спорудження п'яти реакторів інших типів.

Інтерес до застосування нових, удосконалених реакторів виявляють також інші країни. Вимальовуються нові центри розвитку атомної енергетики — переважно у Далекосхідному регіоні. Втім, і в Європі роль АЕ залишається дуже вагомю, всупереч думці, яку цілеспрямовано проводять її противники.



Карта Європи, на якій показано розташування атомних електростанцій в різних країнах, переконує, що атомна енергетика набула в наш час величезного розвитку. Однак ставлення до неї складне і неоднозначне. Тому будь-яка серйозна розмова про перспективи цієї галузі має відбуватися за участю як тих, хто безпосередньо причетний до її розвитку, так і їхніх опонентів. Проаналізуємо ж аргументи обох сторін. (Карту передруковано з журналу "Національна безпека і оборона". — 2001. — № 2 (14). — С.17).

Прогнозування подальшого розвитку АЕ у світі невіддільне від вибору шляхів стабільного світового розвитку. А це чи не найважливіша проблема сучасності, над розв'язанням якої працюють численні міжнародні організації. При цьому враховуються такі чинники, як зростання чисельності населення Землі (вважається, що до середини ХХІ століття його

кількість сягне 10 мільярдів чоловік), світові енергетичні потреби та наявність джерел енергії, здатних задовольнити ці потреби.

Щоб оцінити роль атомної енергетики в цьому процесі, необхідно спиратися на досвід експлуатації існуючих реакторів (загальна тривалість роботи яких наближається до 10 тис. реакторо-років), враховувати дані про наявність запасів урану та розвиток методів його збагачення, про вплив роботи АЕС на здоров'я людей та довкілля. Нарешті, дуже важливо об'єктивно аналізувати тенденції, пов'язані з проблемою нерозповсюдження ядерної зброї та результатами міжнародного співробітництва в галузі мирного застосування АЕ.

За даними Міжнародного енергетичного агентства Організації економічного співробітництва та розвитку, світове споживання електроенергії протягом найближчого десятиліття неухильно зростатиме. Найбільшим буде воно у країнах, що розвиваються: 5,2—5,5 % на рік. У країнах Західної Європи це зростання становитиме 1,1—2,2 %, а в країнах СНД 0,3—1,5 % [5].

Міжнародний інститут прикладного системного аналізу та Всесвітня енергетична рада розробили три варіанти розвитку потужності атомної енергетики у світі та виробництва електроенергії на АЕС до 2050 р. (табл. 2 і 3).

Таблиця 2. Прогнозована потужність АЕС у світі, ГВт

Варіант розвитку	2000 р.	2010 р.	2020 р.	2030 р.	2040 р.	2050 р.
Інтенсивний	368	467	660	1068	1416	1905
Помірний	368	467	541	745	930	1132
Мінімальний	362	400	428	470	460	333

Таблиця 3. Прогнозоване виробництво атомної енергії у світі, ТВт · год.

Варіант розвитку	2000 р.	2010 р.	2020 р.	2030 р.	2040 р.	2050 р.
Інтенсивний	2257	3070	4626	7482	9926	12650
Помірний	2257	3070	3792	5224	6521	7935
Мінімальний	2222	2627	2996	3296	3223	2335
Коефіцієнт використання потужності, %	70	75	80	80	80	80

У варіанті інтенсивного розвитку, який відповідає високому загальному економічному рівню і використанню новітньої технології, враховується той факт, що економічні показники та сприятливі екологічні характеристики АЕ зможуть змінити ставлення до неї громадськості та орієнтацію існуючих енергетичних програм. У цьому випадку вона як джерело, що практично не має екологічних забруднювачів, розвиватиметься переважно у Західній Європі та в країнах Азії. Потужність АЕС за наступні 50 років зросте майже у п'ять разів, а їхня частка у загальному виробництві енергії, яка нині становить 6,2 %, досягне 11,5 %. Рівень виробництва АЕ завдяки вищим коефіцієнтам використання встановленої потужності у варіанті інтенсивного розвитку зросте до 2050 р. у 5,6 раза. При цьому темпи будівництва нових АЕС мають трохи прискоритися порівняно з тими, що були протягом 1970—1980 рр. Збільшення терміну експлуатації реакторів забезпечить приріст потужностей на рівні 35 ГВт/рік.

Варіант помірної розвитку передбачає зростання потужностей АЕС за 50 років у середньому на 15 ГВт/рік. У цьому випадку вважається, що світові потреби в енергії будуть меншими, ніж за варіанта інтенсивного розвитку, а частка АЕ у виробництві енергії становитиме 12 %.

Варіант мінімального розвитку базується на припущенні, що у більшості країн нові реактори не будуватимуться (так звана "ядерна пауза") і тільки в окремих державах ядерні програми розвиватимуться. При цьому більшість діючих реакторів поступово зніматиметься з експлуатації, і лише частина з них замінюватиметься на нові. Зростання потужностей АЕС та виробництва електроенергії на них відбуватиметься до 2030 р., аж поки не вичерпаються ресурси роботи діючих реакторів і не будуть виконані прийняті ядерні програми. Загальна потужність АЕС у цьому разі в 2050 р. буде дещо меншою за нинішню, але виробництво електроенергії на них трохи перевищить існуючий рівень. Частка АЕ у виробництві всіх видів енергії зменшиться до 3,5 % внаслідок переважючого застосування неядерних енергоджерел.

З наведеного огляду видно, що атомна енергетика за будь-якого варіанта її подальшого розвитку відіграватиме істотну роль у паливно-енергетичному балансі різних країн світу.

Застосування новітніх технологій може відкрити принципово нові шляхи розвитку АЕ у майбутньому. Один з них — так званий електроядерний метод, коли сам реактор перебуває у підкритичному стані і нейтрони, необхідні для керованої ланцюгової реакції поділу ядер, вводяться в активну зону за допомогою прискорювача протонів. Такий метод практично розв'язує проблему безпеки, виключає можливість аварій, не потребує введення поглинаючих стержнів у активну зону. Робота самого реактора при цьому задається режимом роботи прискорювача. Додаткова важлива перевага електроядерного методу — відсутність необхідності збагачення урану, можливість застосування збідненого урану та використання торієвого

паливного циклу. Завдяки цьому можна здійснити трансмутацію елементів, що утворюються під час роботи реактора, і позбутися у такий спосіб найшкідливіших довгоживучих трансуранових елементів [6].

Заслужують на увагу також дослідження у галузі термоядерного синтезу, що ведуться вже протягом півстоліття. Енергія, яка виділяється під час синтезу легких ядер, на порядок перевищує ту, що використовується у результаті реакції поділу важких ядер. Нині за участю країн Європейського Союзу, Росії та Японії розробляється проект створення Міжнародного термоядерного реактора (ITER), який може стати прототипом промислового реактора майбутнього [7].

АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ

Структура енергетичної бази України формувалася протягом багатьох десятиліть і визначалася енергетичною політикою колишнього СРСР та використанням єдиної енергетичної мережі. Україна належить до енергодефіцитних країн і може покрити свої потреби у вугіллі лише на 50 %, у нафті — на 10—12 %, у природному газі — на 20—25 % [8]. Щоб покрити цей дефіцит, можна було б транспортувати органічне паливо з районів Сибіру. Однак це коштувало б надто дорого. Тому було взято курс на розвиток в Україні АЕ. Протягом 70—80-х років у республіці розгорнулося будівництво мережі АЕС.

Першою з них була Чорнобильська (ЧАЕС), перший блок якої почав працювати в 1977 р. У наступні роки розгорнулося будівництво Рівненської та інших станцій. Споруджувалися вони без належного вивчення майданчиків для їх розташування, а також геологічних умов у районах будівництва. Ось чому невдовзі виникла необхідність укріплення ґрунту, наприклад під Рівненською та Хмельницькою АЕС. ЧАЕС було побудовано з реакторами РБМК, проект яких мав конструктивні вади, що й далося взнаки під час аварії 1986 р.

Рівень безпеки всіх побудованих в Україні реакторів, за оцінкою МАГАТЕ, не відповідав міжнародним нормам, і тому за рекомендацією цієї міжнародної організації протягом тривалого часу проводилась велика робота з модернізації устаткування всіх українських АЕС. Нині рівень їх безпеки відповідає вимогам МАГАТЕ.

Сьогодні в Україні працює чотири АЕС, на яких діють 13 енергоблоків типу ВВЕР загальною потужністю 11880 МВт. Протягом останнього десятиліття загальне щорічне виробництво електроенергії в Україні зменшилось з 298 до 171 млрд. кВт·год. Водночас виробництво електроенергії на АЕС залишилося практично незмінним - на рівні 75—77 млрд. кВт·год. за рік. Якщо у 1990 р. частка АЕС в одержанні електроенергії в країні становила 25 %, то у 2000 р. вона досягла 45 %. Тобто у скрутних економічних умовах атомна енергетика перетворилася на основний стабілізуючий фактор енергетичної системи країни.

Усі ці факти, а також аналіз енергетичних потреб країни та можливостей їх задоволення свідчать про доцільність і необхідність розвитку в Україні атомної енергетики. Вибір саме такого шляху відповідатиме і світовій тенденції.

Однак важливою умовою цього вибору має стати повна гарантія безпеки. Для її досягнення передусім повинні виконуватись необхідні регламентні роботи під час експлуатації реактора. Дотримання стандартів культури ядерної безпеки — це, по суті, очевидна й тривіальна умова, і ми не обговорюватимемо шляхи її виконання. Спинімося на деяких стратегічних проблемах сучасної АЕ України. Як уже зазначалося, після закриття ЧАЕС в Україні експлуатуються 13 ядерних блоків. Деякі з них (блоки № 1 і 2 Рівненської, а також блок №1 Південно-Української АЕС) працюють уже близько 20 років, і до проектного строку закінчення їх експлуатації залишилось усього 10 років. Враховуючи велику інерційність будівництва нових ядерних реакторів (10—12 років), необхідно без зволікань визначитися щодо спорудження реакторів, які компенсуватимуть втрати потужності блоків, виведених з експлуатації. Це мають бути реактори нового покоління, підвищеної безпеки.

Найкритичнішим елементом ядерного реактора, що визначає термін експлуатації, є металевий корпус, строк придатності якого оцінюється ступенем його окрихчування під дією нейтронів та гамма-випромінювання. У розвинених країнах для оцінки стану корпусу використовують не проектні прогнози, а результати експериментальних досліджень. Саме так було доведено, що термін експлуатації корпусу можна подовжити на 10—20 років порівняно з проектним. Що ж до корпусів наших реакторів, то, на жаль, є інформація, що в деяких з них виявлено підвищений (щодо проектних значень) вміст нікелю, а це прискорює процес окрихчування [9]. Тому виникають сумніви навіть щодо можливості експлуатувати такі реактори протягом проектного строку. Це дуже серйозна ситуація. Вона диктує необхідність додаткового дослідження ефектів окрихчування і розробки технічних заходів їх нейтралізації. Треба терміново перевірити стан крихкості реакторів вітчизняних АЕС і розробити програму подовження строку їх служби.

Нагальною потребою для України є введення в експлуатацію блоків № 2 Хмельницької АЕС та № 4 Рівненської АЕС. Як відомо, за умови закриття ЧАЕС їх планувалося добудувати за міжнародні кредити та гранти. Проте її зупинено 15 грудня 2000 р., а нові блоки так і не введено в експлуатацію, і схоже на те, що добудувати реактори Україна змушена буде самотужки. Коли почнуть працювати нові реактори, загальний рівень безпеки АЕ України зросте (внаслідок їхньої високої надійності), а загальна потужність наших АЕС підвищиться приблизно на 14 %.

Серед проблем, пов'язаних з використанням атомної енергії, особливе місце посідають ядерний паливний цикл і поводження з радіоактивними відходами.

ЯДЕРНИЙ ПАЛИВНИЙ ЦИКЛ

Повний ядерний паливний цикл (ЯПЦ) охоплює всі процеси, пов'язані з видобутком уранової руди, наступною

концентрацією урану, збагаченням природного урану його ізотопом ^{235}U , виготовленням паливних елементів, їх використанням на АЕС, поводженням з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП), включаючи його переробку та захоронення радіоактивних відходів (світлі лінії на рис. 2). Без деяких з цих етапів можна обійтися, якщо відсутні можливості для видобутку урану і переробки ВЯП (темні лінії на рис. 2).

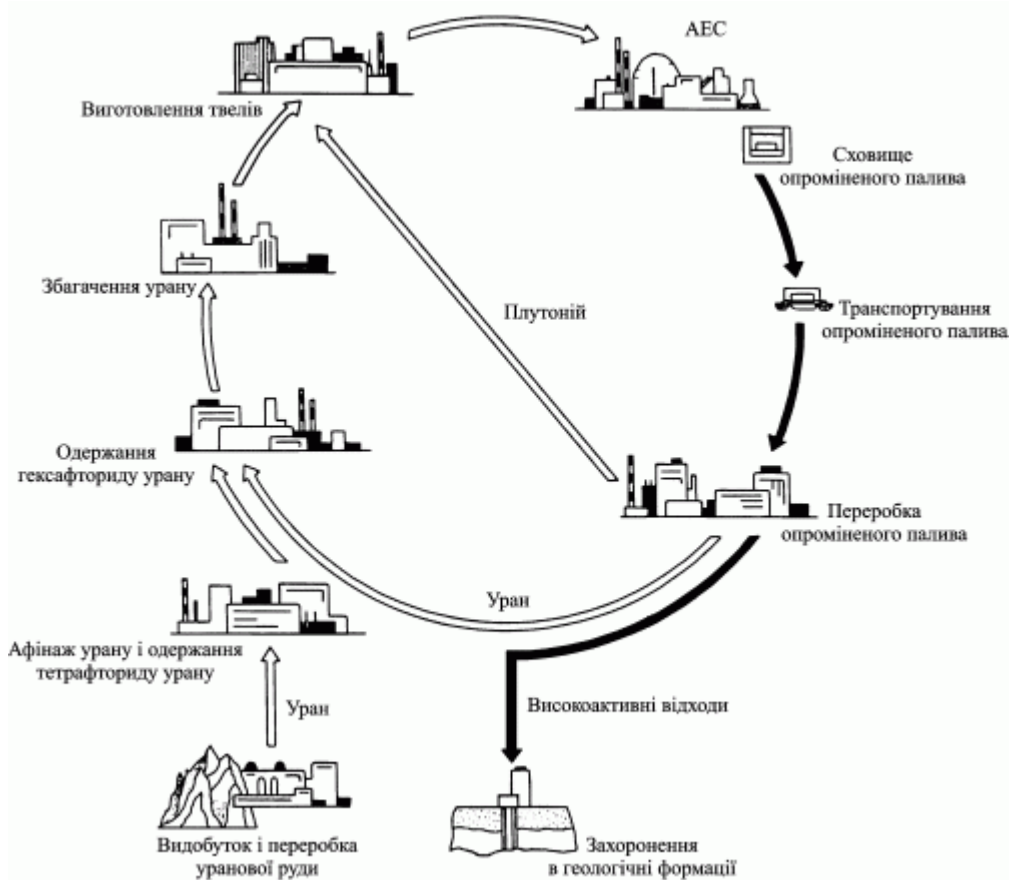


Рис. 2. Загальна схема ядерного паливного циклу.

За відкритого ЯПЦ відпрацьоване ядерне паливо використовується одноразово, не переробляється і після тривалого зберігання (з метою зменшення його активності) підлягає остаточному захороненню. За замкнутого ЯПЦ використане ядерне паливо переробляється за допомогою радіохімічних методів, з нього вилучають уран і плутоній, які йдуть на виробництво змішаного ядерного палива $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ (MOX) для повторного використання.

Нормальне функціонування атомної енергетики країни може бути забезпечене за наявності розвиненої мережі підприємств ЯПЦ. Такі підприємства існували в колишньому СРСР, проте в основному за межами України. У нас після здобуття незалежності проблема ЯПЦ набула неабиякої гостроти.

Організація виробництва ядерного палива розглядалась у Кабінеті Міністрів України, Комісії при Президенті України з питань ядерної політики й знайшла своє відображення у відповідному Указі Президента України в 1994 р. На його основі було розроблено "Комплексну програму створення ядерного паливного циклу в Україні", але вона досі залишається на папері.

Тим часом Україна має непогані передумови для організації виробництва національного ядерного палива. У нас є родовища і виробничі потужності з видобутку і концентрації уранової руди; виробничі потужності з переробки уранового концентрату; родовища і виробничі потужності з видобутку цирконієвих руд і виробництва цирконієвого концентрату; дослідне виробництво цирконієвих сплавів; дослідно-промислова база для виготовлення необхідних комплектуючих виробів. Крім того, у нас є установи, здатні забезпечити належну науково-технічну, технологічну і проектну підтримку повного ядерного паливного циклу.

У загальній структурі організації виробництва ядерного палива в Україні проблематичним лишається тільки здійснення ізотопного збагачення урану. Схематично структуру можливого повного ядерного паливного циклу представлено на рис. 3.

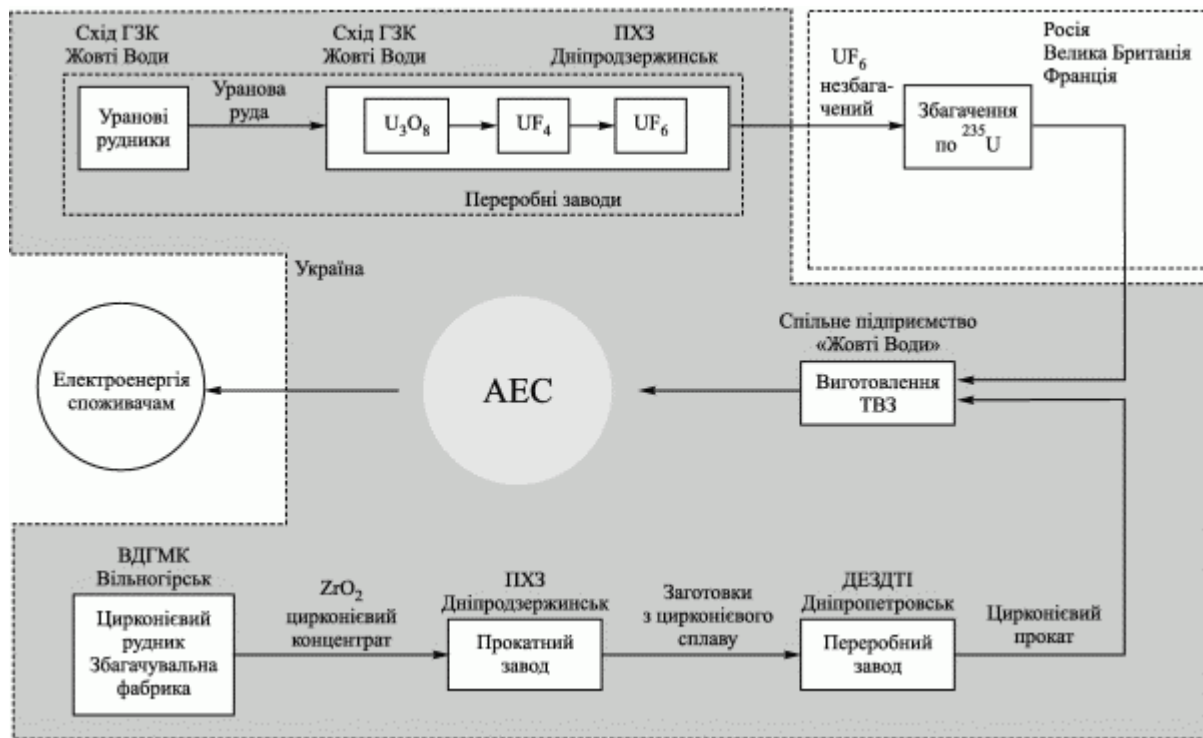


Рис. 3. Схема можливого ЯПЦ України.

Реалізація цієї схеми посильна й вигідна Україні.

Потребує свого розв'язання і проблема відпрацьованого ядерного палива. Його кількість, утворена в результаті експлуатації АЕС у світі, невпинно зростає і в 2000 р. досягла 220 тис. тонн [10]. З них на наявних потужностях перероблено лише 75 тис. тонн. До 2015 р. кількість ВЯП сягне 400 тис. тонн, з яких необхідно переробити 130 тис. тонн.

Проблема подальшого поводження з ВЯП після його тривалого зберігання розв'язується по-різному. Деякі країни (Франція, Англія, Росія) використовують сучасну промислову технологію переробки і вважають такий шлях економічно вигідним. Він дає змогу отримувати, крім додаткового ядерного палива, цінні хімічні елементи для новітніх технологій.

Більшість країн, включаючи Україну, використовує відкритий ЯПЦ. У середньому з одного реактора потужністю 1000 МВт щорічно вивантажується 30 тонн ВЯП. На наших АЕС, загальний термін роботи яких у 2000 р. становив приблизно 170 реакторо-років, уже накопичилося приблизно 5 тис. тонн ВЯП, що загострює проблему поводження з ним. Нині використане ядерне паливо після попереднього зберігання у приреакторних басейнах витримки надсилається для проміжного зберігання і наступної переробки до Росії. Проте останнім часом постійно зростає вартість його транспортування та переробки. Тим часом на АЕС України заповнюються місткості приреакторних басейнів. З огляду на це, на ряді АЕС доводиться вдаватися до додаткових заходів, пов'язаних із зберіганням ВЯП. Так, на енергоблоках Рівненської, Хмельницької, Південно-Української та Запорізької АЕС встановлено стелажі ущільненого зберігання ВЯП у приреакторних басейнах витримки.

Але це тимчасовий захід. Проблему необхідно розв'язувати у повному обсязі. Цьому сприятиме розроблена за дорученням Кабінету Міністрів України програма поводження з ВЯП АЕС України [11], в якій передбачається детальне планування діяльності у цій галузі і, зокрема, створення сховищ ВЯП на майданчиках кожної АЕС. Велика увага приділяється розробці інфраструктури поводження з ВЯП під час технологічних і транспортних операцій з ним.

ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

На різних етапах експлуатації АЕС утворюються радіоактивні відходи (РАВ). Вони класифікуються за фізико-хімічним складом, питомою активністю, її типом (альфа-, бета- або гамма-активність), часом їх напіврозпаду тощо. Рідкі відходи - це дезактиваційні розчини, стоки від регенераційного водоочищення, від душових та спецрапель тощо. Тверді відходи утворюються під час обслуговування та ремонту устаткування блоків, дезактиваційних робіт і реконструкції споруд. Вони підлягають попередній обробці (збирання однотипних відходів, зменшення їх обсягу, хімічна обробка, дезактивація), після чого піддаються кондиціонуванню і зберігаються протягом певного часу на станції або захоронюються. В основному вони належать до категорії відходів низької та середньої активності.

На всіх АЕС України для організації належного захисту персоналу АЕС та довкілля ведеться постійний радіаційний контроль. Як свідчать його результати, індивідуальна доза опромінення персоналу станцій значно нижча за граничну, яка становить 5 сЗв/рік [12]. Аналізуються також газоаерозольні викиди в атмосферу інертних газів, довгоживучих радіонуклідів

та йоду-131. Вимірювання показують, що величини цих викидів на 1—3 порядки нижчі за контрольні. Щорічне зростання обсягів РАВ у сховищах АЕС України становить: для твердих відходів — 4—6 % від проектних об'ємів сховищ, а для рідких — 11—13 %.

Такі темпи заповнення сховищ можуть у найближчі роки поставити під загрозу нормальну експлуатацію блоків АЕС. З огляду на це планується спорудження заводу з переробки рідких РАВ, установки з вилучення твердих відходів, заводу з їх переробки, а також сховища для короткоживучих РАВ. Крім того, згідно з програмою поводження з РАВ будуватиметься комплекс "Вектор", який має вирішити питання безпечної експлуатації з радіоактивними відходами у зоні відчуження ЧАЕС. Першу чергу цього комплексу планується ввести в дію у 2002 р. Усі ці заходи дуже ускладнюються, оскільки насамперед необхідно зробити об'єкт "Укриття" екологічно безпечною системою шляхом вилучення з нього величезної кількості паливовмісних матеріалів і радіоактивних речовин.

Найскладнішим і поки що остаточно не вирішеним питанням є поводження з довгоживучими та високоактивними відходами. Загально визнано, що їх можна захоронити лише у стабільних геологічних формаціях, які не зазнавали змін протягом багатьох мільйонів років, наприклад у соляних куполах або в граніті. До цих природних перепон на шляху поширення радіонуклідів додаються інженерні бар'єри (зв'язування відходів, їх оскльвання і розміщення в контейнерах).

Нині у деяких країнах (Німеччина, Канада, Франція, Швеція, Японія) вивчаються можливості глибинного захоронення РАВ і вже підібрано кілька місць для таких сховищ. Найбільших успіхів у цій справі досягли США: у штаті Нью-Мексико створюється дослідно-промислова установка для ізоляції високоактивних відходів (Waste Isolation Pilot Plant). Роботи з її спорудження розпочалися в 1986 р. Їх мета — будівництво на глибині 700 м у геологічних соляних відкладах постійного сховища для трансуранових відходів. У здійсненні цього проекту беруть участь провідні ядерні центри США [13].

Пошуки місць, які придатні для захоронення високоактивних довгоживучих відходів і задовольняють усі міжнародні вимоги, ведуться і в Україні, але їх темпи та рівень фінансування не відповідають поставленому завданню. Один з можливих варіантів геологічних сховищ — Чорнобильська зона відчуження та безумовного відселення людей. Проте для остаточного розв'язання цієї проблеми необхідне всебічне вивчення придатності обраних місць для постійного зберігання РАВ. Досвід інших країн свідчить, що вибір таких місць потребує тривалих попередніх досліджень і значних капіталовкладень. Сам процес будівництва геологічних сховищ триває кілька десятиліть.

Тим часом проблема надійного зберігання найнебезпечніших відходів є нагальною для України вже сьогодні, насамперед у зв'язку з необхідністю перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему. Вилучення та надійна ізоляція паливовмісних матеріалів з цього об'єкта дасть змогу зберегти значні кошти і створить нормальний соціально-психологічний клімат навколо всієї проблеми поводження з відходами від АЕС і ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ СУПРОВІД АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Розвиток і використання АЕ в країні неможливі без повноцінної науково-технічної підтримки, що передбачає існування комплексу наукових, проектно-конструкторських установ та промислових підприємств, які досліджують процеси у реакторах, оцінюють їх безпечність і надійність, ведуть дослідно-конструкторську розробку проектів реакторів, їх стендові випробування, займаються проблемами ЯПЦ, поводження з РАВ тощо.

У складі колишнього СРСР ядерна галузь України розвивалася, маючи потужну всесоюзну технічну і технологічну базу у вигляді багатьох десятків таких установ. Після його розпаду більшість закладів науково-технічного супроводу ядерної галузі залишилась у Росії. Україна, яка мала 14 ядерних реакторів і гостро відчувала наслідки Чорнобильської катастрофи, невідкладно потребувала створення своєї системи науково-технічної підтримки. Як стартові можна було використати два найбільші ядерні центри країни: Інститут ядерних досліджень НАН України і Харківський фізико-технічний інститут, розвиваючи в них втрачені науково-технічні напрями. Паралельно передбачалося підтримувати необхідні дослідження в інших організаціях та додатково створювати нові установи і підприємства відповідного профілю. На жаль, цього не сталося. Нині стан науково-технічної підтримки ядерно-енергетичного комплексу України не відповідає сучасним вимогам.

НАН України вже у перші роки незалежності нашої держави розробила програми науково-технічного забезпечення ядерної енергетики, проводила їх корекцію з Держкоматомом та відповідними міністерствами. Планувалось використати для галузі потенціал інститутів НАН України та інших відомств. Проте ці програми не були реалізовані. Спробу Мінпаливоенерго і НАЕК "Енергоатом" створити разом з іншими організаціями у 2000 р. програму науково-технічної підтримки ядерної галузі не доведено до кінця.

Водночас у країнах з високим рівнем ядерної електроенергетики цим проблемам приділяється підвищена увага. Скажімо, у США протягом останніх 10 років підприємства ядерної галузі витратили півмільярда доларів на підготовку спеціалістів з наладки устаткування атомних реакторів і забезпечення його надійного функціонування в нормальних та нештатних умовах (аварійні ситуації, землетрус тощо) та для здійснення заходів, здатних подовжити термін його служби [14]. На створення національного підземного сховища найбільш небезпечних РАВ тут уже витрачено 1 млрд. доларів і до введення його в дію, яке планується на 2010 р., ці витрати загалом сягнуть 15 млрд. доларів [15]. В Японії на потреби розвитку АЕ та застосування іонізуючого випромінювання в різних галузях щорічно виділяється 4 млрд. доларів [16].

Загальні витрати у світі на АЕ і будівництво нових реакторів до 2050 р., у разі реалізації варіанта її інтенсивного розвитку, оцінюються в межах 1,6—2,7 трильйона доларів [17]. На розробку проектів реакторів нового покоління щорічно у світі

виділяється понад 2 млрд. доларів.

Що ж до України, то тут, за даними Мінпаливоенерго, у 1999 р. на всі науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи в галузі атомної енергетики було виділено з держбюджету кошти, еквівалентні 0,1 млн. доларів. Планом на 2000 р. на ці потреби намічалось виділити 0,18 млн. доларів, але фактичне фінансування становило третину цієї суми.

Висновок тут однозначний: *не можна розвивати атомну енергетику без достатнього фінансування науково-технічного забезпечення ядерно-енергетичного комплексу. Відродження, збереження і розвиток науково-технічного потенціалу мають бути пріоритетом держави.*

ЕКОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ

Проблемі збереження чистоти довкілля останнім часом було присвячено кілька конференцій ООН. На одній з них, у Кіото (Японія), в 1997 р. прийнято протокол, в якому для промислово розвинених країн встановлено межу викидів парникових газів на рівні, що на 5 % менший за рівень 1990 р. Для виконання цих умов розроблено механізм зменшення забруднення атмосфери, який передбачає надання фінансової допомоги країнам, що розвиваються, у створенні незабруднюючих енергоджерел. Джерелом коштів для такої допомоги має бути плата розвинених країн за надлишки парникових газів, які викидаються ними в атмосферу [18].

У цьому контексті доцільно порівняти екологічний вплив на довкілля різних джерел енергії. Теплова електростанція (ТЕС) потужністю 1 ГВт, яка працює на вугіллі, викидає протягом року в атмосферу, за різними оцінками, від 10 до 120 тис. тонн окислів сірки, 2—20 тис. тонн окислів азоту, 700—1500 тонн попелу і виділяє 3—7 млн. тонн вуглекислого газу. Крім того, утворюється 300 тис. тонн золи, яка містить близько 400 тонн токсичних металів (арсен, кадмій, свинець, ртуть) [19]. Якщо врахувати сумарну потужність усіх ТЕС у світі (близько 2200 ГВт) [20], то можна одержати уявлення про обсяги забруднювачів, які щорічно викидаються в атмосферу.

До цього варто додати, що ТЕС, яка працює на вугіллі, виділяє в атмосферу набагато більше радіоактивних речовин, ніж АЕС тієї ж потужності. Це пов'язано з тим, що у вугіллі у вигляді включень містяться різні радіоактивні елементи (уран, радій, торій, полоній тощо) [21].

Численні оцінки наслідків довготривалого забруднення повітря показали, що з цієї причини у США щорічно у віці, значно нижчому за середньостатистичний, вмирає 70 тис. людей. Вважається, що причиною смерті третини з них (20 тис.) є вдихання викидів ТЕС (їхня загальна потужність у країні — 200 ГВт). Іншими словами, виробництво 1 ГВт-року електроенергії супроводжується 100 передчасними смертями.

Основну причину цього фахівці вбачають у захворюванні легенів. Їхні функції з віком послаблюються, а за наявності забруднювачів серйозно порушуються. За оцінками, глобальний вплив спалювання вугілля та нафти на здоров'я людини можна порівняти з наслідками аварії типу Чорнобильської, яка щорічно повторюється [22].

Не меншою небезпекою є виділення вуглекислого газу. Він належить до промислових викидів, які спричинюють розвиток парникового ефекту. Прогнози свідчать, що за подвоєння його вмісту в атмосфері порівняно з доіндустріальним рівнем температура на Землі до середини XXI століття може підвищитися на кілька градусів. Це викличе непередбачувані кліматичні зміни, зумовить необхідність величезних витрат на їх подолання (які обчислюватимуться багатьма десятками мільярдів доларів), призведе до голоду в багатьох регіонах світу¹. У табл. 4 [2] наведено величини викидів усіх парникових газів за умови використання різних джерел (в еквіваленті щодо викидів CO₂, які утворюються під час вироблення 1 кВт · год. електроенергії). З неї видно, що такі викиди супроводжують використання всіх джерел енергії, включаючи АЕС, ГЕС та інші відновлювані джерела². Але різниця в їх кількості очевидна і не потребує додаткових коментарів.

Таблиця 4. Викиди парникових газів в еквіваленті CO₂ для повного енергетичного ланцюга

Енергоджерело	Викиди г/кВт · год.
Вугілля	265—357
Нафта	219—264
Природний газ	120—188
Сонячні фотоелементи	27—76
Гідроенергетика	6—65
Біомаси	3—13
Енергія вітру	3—3
Атомна енергетика	2—6

У 1999 році на ТЕС було вироблено 143 ЕДж електроенергії, на ГЕС — 27,5 ЕДж, на АЕС — 23,1 ЕДж. Це відповідає щорічним викидам у 10—15 млрд. тонн парникових газів.

Головна небезпека в разі використання атомної енергії полягає у надходженні у довкілля радіонуклідів. Серед них є інертні гази (криптон, ксенон, радон), які розсіюються в атмосфері, та газові сполуки продуктів поділу урану (йод, цезій, стронцій, рутеній тощо), що можуть бути небезпечними для здоров'я. Але за нормальної роботи АЕС додаткова доза опромінення не перевищує флуктуацій природного фону. Про це, зокрема, свідчать регулярні повідомлення про рівень радіаційного фону поблизу АЕС в Україні, де він набагато нижчий за гранично допустимий, причому залишається таким протягом багатьох років, тобто будь-якого помітного впливу АЕС на довкілля не спостерігається.

Глобальний радіаційний внесок атомної енергетики, враховуючи всі етапи ЯПЦ, сьогодні становить близько 0,2 % від природного і не перевищуватиме 1 % навіть за її найінтенсивнішого розвитку в майбутньому. Щоправда, за останні 50 років рівень природного радіаційного фону зріс на 60—70 %, але це пов'язано з випробуваннями ядерної зброї в атмосфері, використанням нових будівельних матеріалів та добрив, проведенням масових медичних досліджень тощо.

Проблема впливу відходів на довкілля існує у будь-якій галузі промисловості. Якщо узагальнити наявні дані, то можна констатувати, що кількість відходів від АЕС у 300 тис. разів менша, ніж від ТЕС, яка працює на вугіллі, а обсяги відпрацьованого ядерного палива у 10 тисяч разів менші від кількості золи, що утворюється внаслідок спалювання вугілля.

Нарешті, доцільно порівняти соціальні наслідки використання різних енергоджерел. Вони визначаються кількістю смертельних випадків під час видобутку, обробки, транспортування і використання палива, при експлуатації енергоустановок (прямі наслідки), а також результатами повільної дії продуктів спалювання на здоров'я (віддалені наслідки). Відповідні дані наведено в табл. 5 [24].

Таблиця 5. Соціальні наслідки використання різних енергоджерел

Джерело енергії	Кількість смертельних випадків, пов'язаних з виробленням 1 ГВт · року електроенергії			
	серед працівників даної галузі		серед населення	
	негайні	віддалені	негайні	віддалені
Вугілля	0,16—3,2	0,02—1,1	0,1—1,0	2,0—6,0
Нафта	0,20—1,35	?	0,01—0,1	2,0—6,0
Природний газ	0,10—1,0	?	0,2	0,004—0,2
Атомна енергетика	0,07—0,5	0,07—0,37	0,001—0,01	0,005—0,2
Гідроелектростанції	0,5—4	?	0,2	0,004—0,2
Сонце, вітер	0,007—0,5	?	0,05—2,0	0,05—2,0

Отже, ризик, пов'язаний з експлуатацією АЕС, є мінімальним як для працівників галузі, так і для населення. Високий ризик для робітників у випадку використання вугілля зумовлений аваріями на шахтах, транспортуванням вугілля та екологічним впливом продуктів його спалювання. Останні два фактори виникають і під час роботи енергетичних установок, де використовуються нафта або газ, і стосуються всього населення. Що ж до гідротехніки, то тут ризик пов'язаний з процесом спорудження штучних водоймищ. А небезпека у разі використання енергії сонця та вітру зумовлена численними труднощами, що виникають при спорудженні відповідних установок та приготуванні матеріалів для них.

ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Ставлення громадськості до атомної енергетики було різним на різних етапах її розвитку. Спершу вона практично не зустрічала протидії з боку населення: вважалося, що АЕС відкриють шлях до "чистої" електроенергії, оскільки негативний екологічний вплив продуктів спалювання органічного палива був очевидним.

Проте поступово нагромаджувалися факти, що свідчили про погіршення радіаційних умов навколо АЕС, про недоліки в їх роботі та про аварії, які спочатку приховувалися. У свідомості багатьох людей атомна енергія асоціюється з ядерною зброєю, і ця обставина посилювала негативне ставлення до неї. Аварія на АЕС у Три-Майл-Айленді (США) у 1979 р. значно збільшила кількість противників АЕ, а катастрофа на ЧАЕС у 1986 р. викликала бурхливу реакцію в усьому світі. У різних регіонах відбувалися демонстрації з вимогами закрити всі АЕС, і деякі країни почали згортати ядерні програми.

Щоб зрозуміти зрушення у ставленні до АЕ, маємо враховувати психологічні чинники, які впливають на формування громадської думки: люди боляче реагують на поодинокі великі аварії, водночас численні дрібні аварії залишаються практично непоміченими. Наприклад, на транспорті гине набагато більше людей, але це не викликає протестів проти нього. Суспільство звикло до мало не щомісячних повідомлень про аварії на вугільних шахтах, на нафто- і газопроводах, під час транспортування нафти. А екологічний вплив ТЕС на довкілля взагалі не враховується, бо він безпосередньо не відчувається.

Велика надія покладається на зовні привабливу ідею використання енергії сонця і вітру. Однак серйозного аналізу наявних для цього технічних можливостей і вартості енергії, одержаної від вказаних джерел, досі немає.

Головні аргументи противників АЕ - можливість нових аварій, нерозв'язаність проблеми надійного захоронення високоактивних відходів, можливість одержання плутонію для військових цілей, загроза ядерного тероризму. Лідерами антиядерного руху стали "зелені". Організацію "Greenpeace" було створено для захисту чистоти довкілля. І справді, її представники виступили проти випробування ядерної зброї в атмосфері та проти явних випадків забруднення довкілля хімічними речовинами. Справедливим є і їхнє обурення низьким рівнем безпечності перших АЕС і тими аваріями, які там траплялися. Проте під певним соціальним тиском зусилля "зелених" поступово спрямувалися на боротьбу з атомною енергетикою взагалі.

Така протидія розвитку АЕ ґрунтується як на об'єктивних побоюваннях, пов'язаних з роботою АЕС, так і на суб'єктивних аргументах, котрі далеко не завжди формуються людьми неупередженими. Серед "зелених" є чимало учасників руху, щиро впевнених у правоті своїх уявлень про методи захисту чистоти довкілля, але тут мало спеціалістів, здатних адекватно оцінити перспективи використання того чи іншого джерела енергії, і тому їхні побоювання ґрунтуються, головним чином, на емоціях. Виступаючи проти АЕ, вони або не пропонують заміну їй, або називають джерела, які явно непридатні для використання у промислових масштабах (наприклад, сонце, вітер). Та, на жаль, суспільство охочіше сприймає сенсаційні повідомлення, ніж об'єктивні факти. Опоненти атомної енергетики висловлюють переважно острахи щодо неї, хоча набагато коректніше було б просто порівнювати її недоліки з вадами інших джерел енергії. Але вони уникають цього. Загалом коріння антиядерного руху — у хворобливому ставленні суспільства до потенційної небезпеки застосування нових технологій, яке активно використовується силами, котрим не вигідний розвиток атомної енергетики.

Парадокс руху "зелених" полягає у тому, що, усвідомлюючи небезпеку глобальних кліматичних змін, вони виступають проти найреальнішого шляху розв'язання цієї проблеми. Причому сама проблема дедалі більше політизується. Позитивне чи негативне ставлення до неї стало своєрідною "козирною картою", маніпулюючи якою можна досягти певних політичних переваг. Яскравий приклад цього — прийняття Верховною Радою України у 1991 р. мораторію на подальший розвиток атомної енергетики.

Інший приклад — рішення уряду Німеччини, який складається з коаліції соціал-демократичної партії та партії "зелених", про закриття всіх АЕС у країні до 2030 р. Реакцією на нього став опублікований "Меморандум 650 учених" Німеччини, в якому вказується, що це не продумана, кон'юнктура політика, котра приведе до значних економічних труднощів. При цьому підкреслюється, що без атомної енергетики неможливо захистити довкілля, зберігши економічно виправдані показники розвитку [25].

Об'єктивні наукові оцінки свідчать, що атомна енергетика — екологічно найчистіша серед існуючих промислових джерел енергії, і пов'язані з нею побоювання частини населення не мають під собою підстав.

Тривале приховування правди про чорнобильську катастрофу зумовило вкрай завищену оцінку населенням України реальної небезпеки АЕС і викликало природне за таких умов негативне ставлення значної частини громадськості до атомної енергетики. Велику роль тут відіграли політичні мотиви деяких партій та рухів, які намагалися у такий спосіб завоювати популярність серед населення. Скільки-небудь серйозного аналізу громадської думки щодо розвитку АЕ, на жаль, не проводилося. Проте показовими є результати соціологічного дослідження, метою якого було з'ясування ставлення мешканців м. Енергодар до Запорізької АЕС. Його здійснив у 1991 р. Південно-західний центр громадської інформації з питань атомної енергетики. В опитуванні взяли участь 912 осіб, які працювали на різних підприємствах м. Енергодар [26].

Більшість респондентів (66 %) висловила думку, що недостатня інформація про роботу АЕС формує негативне ставлення до них. Тільки 18 % схильні були довіряти повідомленням у засобах масової інформації про ситуацію на АЕС. 45 % опитуваних висловилися за продовження роботи АЕС, а головною причиною недовіри до АЕ називали низьку якість будівництва АЕС та недостатній рівень екологічної грамотності і сумлінності їхнього керівництва. На запитання "Чи занепокоєні ви станом довкілля?" 48 % респондентів відповіли, що занепокоєні "дуже сильно", 20 % — "досить слабо", 16 % — "дуже слабо", і 8 % опитуваних це зовсім не турбувало. Серед опитуваних 42 % підтримували рух "зелених" (в основному молодь).

Таким чином, через п'ять років після Чорнобильської аварії у значної частини населення ще збереглося негативне ставлення до АЕС як до ненадійного енергоджерела, що забруднює довкілля. Більшість недоліків експлуатації АЕС, що викликали занепокоєння громадськості, вже усунуто, але населення про це не поінформоване, хоча існують численні організації, які повинні цим займатися.

ПЕРСПЕКТИВИ

Для того, щоб атомна енергетика успішно розвивалася у майбутньому, слід розв'язати ще багато проблем. Передусім необхідно поступово замінити існуючі реактори на реактори нового покоління. Конструкція останніх передбачає застосування пасивних систем захисту, і це робить їх практично невразливими під час будь-яких великих аварій. Таким чином усувається головна причина, яка зумовлює протидію частини населення розвитку АЕ. Крім того, на нових реакторах забезпечується пасивний, незалежний від дії людей, контроль ядерних матеріалів, що містяться у них, і це унеможливує використання таких матеріалів для інших цілей, наприклад для створення ядерної зброї. Очікується, що після введення цих реакторів у дію почнеться друга хвиля розвитку атомної енергетики.

Важливо також прийняти глобальну стратегію щодо відходів. Наявні дані свідчать, що глибинне поховання високоактивних РАВ у стабільних геологічних формаціях є безпечним, технологічно здійсненним та екологічно обґрунтованим заходом. При цьому буде забезпечено їх надійну ізоляцію протягом багатьох тисячоліть. Нині громадськість здебільшого скептично ставиться до цієї ідеї, але реалізація першого проекту створення дослідно-промислової установки з ізоляції відходів у США,

яка має стати до ладу наприкінці першого десятиріччя XXI століття, розвіє цей скептицизм.

Щоб забезпечити стабільний енергетичний розвиток, необхідно об'єктивно оцінити роль АЕ у загальному виробництві енергії з урахуванням потреб у ній різних країн. Основним фактором тут є конкурентоспроможність АЕС порівняно з іншими енергоджерелами. Розробки новітніх реакторів свідчать про можливість істотного зниження їх вартості та скорочення строків будівництва. Ця тенденція розвиватиметься у майбутньому за рахунок появи високих технологій, які відкриють нові шляхи й методи використання АЕ.

Вагомою передумовою успіхів у цій справі стане створення міжнародної системи безпеки. МАГАТЕ працює над розробкою міжнародної конвенції безпеки, її стандартів і механізму їх дотримання. Частково ця конвенція вже втілена в угодах, які стосуються безпечності реакторів, поводження з ВЯП та РАВ, своєчасного повідомлення про аварії на реакторах і фізичного захисту ядерних матеріалів. Але потрібна конвенція, яка регламентуватиме показники безпеки при здійсненні всіх етапів ЯПЦ і приділятиме належну увагу високій культурі безпеки.

В результаті цих заходів зросте рівень громадської свідомості і населення матиме можливість об'єктивно судити про ризик та вигоди від застосування різних енергоджерел. Це допоможе людям неупереджено оцінювати роль АЕ як фактора, котрий не тільки забезпечує їм можливість задовольняти енергетичні потреби, а й відкриває широкі перспективи для використання ядерних методів у різних галузях науки, техніки, медицини, промисловості та сільського господарства.

1. *Nuclear Power Reactors in the World*. April 2000 edition. IAEA. — Vienna, 2000; *Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 1999*: IAEA, Vienna. — 2000. — P. 25.
2. *Hamilton B., Conzelmann G., Dui Thanh Bui*. Expanding the power base // *IAEA Bulletin*. — V. 42, №2 — P. 8.
3. *Basic safety principles for nuclear power plants* // *Safety Series. INSAG-3*. — IAEA, Vienna, Austria: 1998.
4. *Обзор ядерных технологий* — 2000. Издание МАГАТЭ. — Вена, Австрия, 2000.
5. *Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategies: Adjusting to New Realities*. — IAEA, Vienna, 1997.
6. *Third International Conference on Driven Transmutations Technologies*. — Praha, June, 1999.
7. *Billings R.E., Dayton E.* Prospects for commercial fusion power // *International Academy of Sciences*. — 1993. — P. 406.
8. *Паливно-енергетичний комплекс України: стан, проблеми та перспективи. Інформаційно-аналітична доповідь* // НТСЕУ та ІНЕД. — Київ, 2000.
9. *Grynick E., Chyrko L., Revka V. et al.* Influence of nickel on irradiation embrittlement of Ukrainian NPP vessel steel // *Proceedings of the IAEA Specialists Meeting*. IAEA. — Vienna, 1999. — P. 386—393.
10. *Options, Experience and Trends in Spent Nuclear Fuel Management*. Technical Reports Series No 378. IAEA. — Vienna, 1995.
11. *"Державна програма поводження з радіоактивними відходами"*, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 29 квітня 1996 р. № 480.
12. *Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 1999 році*. Державна адміністрація ядерного регулювання України. — Київ, 2000.
13. *Bonano E.J. et al.* The disposal of orphan wastes using the greater confinement disposal concept // *Waste management '91*. — 1991. — 14 P.
14. *Sliter A.* Role of training in maintaining equipment qualification // *JEEE Transactions on Nuclear Science*. — 1993. — V. 40. — № 4. — P. 1263.
15. *A mountain of trouble*. Nuclear waste has to go somewhere // *New-York Times Magazine*. — 19 Nov. 1990. — P. 37.
16. *FY97 nuclear-related budget total 493 billion yen (4,4 billion dollars)* // *Atoms in Japan*. — 1996. — V.40. — № 9. — P. 5.
17. *Financial requirements and manpower needs of nuclear power for the next 50 years* // *Nuclear Science and Technology*. — 1997. — V. 34. — № 2. — P. 222.
18. *Rogner H.H.* Kyoto's flexible mechanism and nuclear power: Rethinking the options // *IAEA Bulletin*. — 2000. — V. 42. — № 2.
19. *Bennett L.L., Woite G.* Cost and competitiveness of nuclear electricity // *Nuclear Power Option, Proceedings of an International*

Conference. Vienna. — IAEA, 1994. — P. 36.

20. *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2020*. IAEA. — Vienna, 2000.

21. *Kovac J., Novosel N. Impact of natural radioactivity from coal fired power plants // Radiation and Society: comprehending radiation risk. Proceedings of an International Conference.* — IAEA, Vienna, 1996. — V.2. — P.158.

22. *Wilson R. Some transboundary environmental issues of public concern // Electricity, Health and the Environment: Comparative assessment in support of decision making: Proceedings of an International Symposium.* — Vienna, 1995. — P. 387.

23. *Kaufman Y.J. et al. Fossil fuel and biomass burning effect on climate: heating or cooling? // Journal of Climate.* — 1991. — V. 4. — № 6. — P. 578.

24. *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates*. IAEA. — Vienna, 2000.

25. *Grawe J. Reassessment of nuclear power? The Memorandum by 650 scientists // Internationale Zeitschrift fuer Kernenergie.* — Apr. 2000. — V. 45. — № 4. — P. 214.

26. *Отчет о социологическом исследовании отношения жителей г. Энергодар к Запорожской АЭС, экологии региона и к перспективам развития АЭ // Юго-западный региональный центр общественной информации по вопросам АЭ, 1991.*

© *ВИШНЕВСЬКИЙ Іван Миколайович. Академік НАН України. Директор Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ).*

ДАВИДОВСЬКИЙ Володимир Володимирович. Кандидат фізико-математичних наук. Науковий співробітник того ж інституту.

ТРОФИМЕНКО Аркадій Павлович. Кандидат фізико-математичних наук. Старший науковий співробітник того ж інституту. 2001.

¹ [\[до тексту\]](#) Є дані про екологічну дію вуглекислого газу та окислів сірки. Хоча при спалюванні вугілля або нафти CO₂ виділяється у сотні разів більше, ніж SO₂, кожна молекула SO₂ у 500—1000 разів сильніше охолоджує атмосферу (внаслідок впливу аерозольних частинок на відбивну здатність хмар), ніж молекула CO₂ нагріває її в результаті парникового ефекту. Але тривалість дії першого фактора — 3—10 днів, другого — 7—10 років. Тому вважається, що нині ефект охолодження атмосфери переважає над її нагріванням, але поступово картина зміниться на протилежну [23].

² [\[до тексту\]](#) Викиди ядерного паливного циклу пов'язані з добуванням урану, його збагаченням, виготовленням ядерного палива та переробкою ВЯП. Технологічні процеси створення фотоелементів і панелей для сонячних батарей, конструкцій для вітрових двигунів також супроводжуються виділенням парникових газів. Для ГЕС основну роль у забрудненні довкілля відіграє парниковий газ метан, що утворюється на дні водосховищ у результаті розпаду органічних речовин.

[Попередня стаття](#)

[Зміст](#)

[Наступна стаття](#)