

ДО КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

І. М. Вишневський, В. В. Давидовський

Наведено дані про атомну енергетику (АЕ) світу та України. Враховуючи світові тенденції та потреби в енергії, прогнозується подальше використання АЕ в Україні. Відзначається й аналізується стан та можливі шляхи вирішення проблем АЕ: подовження строку експлуатації діючих реакторів, виробництво ядерного палива, поводження з відпрацьованим ядерним паливом, радіоактивними відходами, зняття атомної електростанції з експлуатації, вибір типу реактора майбутньої АЕ. Підкреслено необхідність розвитку науково-технічного супроводу АЕ. Зроблено висновок, що проблеми АЕ повинні бути серед пріоритетів держави і в Україні є достатньо промислових, технологічних та наукових підстав для безпечного використання АЕ.

Атомна енергетика (АЕ) відіграє істотну роль у задоволенні світових потреб в енергії. У 1999 р. у 31 країні світу діяло 436 ядерних реакторів загальною потужністю 350 ГВт. У табл. 1 наведено дані відносно ядерних енергоблоків світу за 1999 р.

Таблиця 1. Дані про ядерні енергоблоки країн світу в 1999 р. (за даними МАГАТЕ й власників АЕС; в дужках – за станом на 31.12.99) [1]

Країна	Діють			У стадії будівництва			Виробництво електроенергії, ТВт · год	Доля ядерної енергії від загальної, %
	Кількість блоків	Потужність бруто, МВт	Потужність нетто, МВт	Кількість блоків	Потужність бруто, МВт	Потужність нетто, МВт		
Аргентина	2	1015	935	1	745	692	6,6	9
Вірменія ¹	1	440	420	(1)	(440)	(420)	2,1	36
Бельгія	7	5807	5527	-	-	-	46,6	58
Бразилія	1	657	626	1	1309	1245	4,0	1
Болгарія	6	3760	3538	-	-	-	14,6	47
Китай	3	2268	2168	7	5560	5246	14,1	1
Німеччина ²	19	22209	21122	(1)	(1302)	(1219)	160,4	31
Фінляндія	4	2670	2550	-	-	-	22,1	Т зз
Франція	59	65952	63193	-	-	-	375,0	75
Великобританія	35	14200	13048	-	-	-	92,0	29
Індія	12	2740	2554	2	470	440	11,5	3
Іран	-	-	-	2	2600	2292	-	-
Японія	53	45362	43495	4	4350	4229	307,0	36
Канада ³	14	10625	10008	(8)	(5784)	(5452)	70,5	13
Казахстан	1	150	-	-	-	-	немає даних	немає даних
Південна Корея	16	13715	12979	4	4000	3800	97,9	43
Литва	2	2600	2370	-	-	-	9,9	73
Мексика	2	1380	1318	-	-	-	9,6	5
Нідерланди	1	480	452	-	-	-	3,4	4
Пакистан	1	137	125	1	300	280	0,7	1
Румунія	1	700	630	1	700	630	4,8	11
Росія	29	21242	19860	4	3800	3581	111,0	14
Швеція	12(11)	10429	10010	-	-	-	70,1	47
Швейцарія	5	3314	3162	-	-	-	23,6	36
Словаччина	6	2640	2448	2	880	810	13,0	47
Словенія	1	664	632	-	-	-	4,5	36
Іспанія	9	7751	7473	-	-	-	56,5	31
Південна	2	1930	1844	-	-	-	13,5	7
Тайвань	6	5144	4884	2	2700	2560	36,9	25
Чехія	4	1782	1670	2	1962	1824	13,4	21

Україна	14	12818	12115	4	4000	3800	67,4	44
Угорщина	4	1850	1736	-	-	-	14,1	38
США	104	101557	97336	-	-	-	720,5	19
Всього	436(434)	367988	350228	37	33376	31429	2397,3	

¹ Після землетрусу блок № 2 знову введено в експлуатацію в 1995 р.; заплановано повторний пуск блока № 1.

² АЕС «Мюльгейм-Карліх» згідно з судовим рішенням зупинено в 1988 р. Зараз вона знаходиться в стані «сухої консервації».

³ Відповідно до нової реструктуризації електроенергетики країни зупинено й законсервовано 4 блоки АЕС «Брюс» і 4 блоки АЕС «Пікерінг»; передбачено повторне введення в експлуатацію блоків після їх модернізації.

Вклад атомних електростанцій (АЕС) у світове виробництво електроенергії складає біля 17 %.

Потужність АЕС України становить 12115 МВт і за цим показником вона посідає восьме місце в світі за такими країнами: США, Франція, Японія, Німеччина, Росія, Великобританія та Південна Корея.

Вклад виробництва електроенергії на АЕС у загальній структурі електроенергетики в Україні складав в різні роки до 40 – 50 %. На рис. 1 показано долю АЕС в електроенергетиці різних країн за 1999 р. [2].

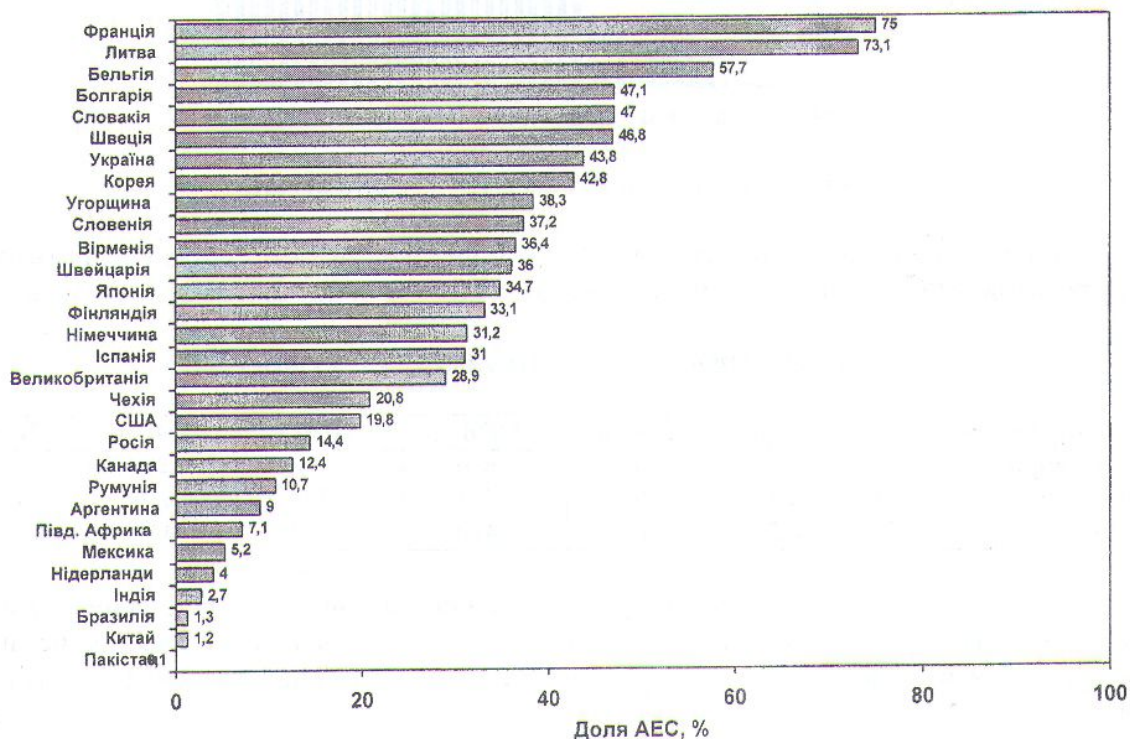


Рис. 1. Вклад виробництва електроенергії на АЕС у загальній структурі енергетики (станом на грудень 1999 р.).

Важливо відзначити, що АЕ має уже досвід біля 10000 реакторороків (рис. 2), використання якого достатньо для забезпечення в майбутньому безаварійної експлуатації реакторів нового покоління підвищеної безпеки.

Основним фактором, що визначає майбутній розвиток енергетичної бази, є потреба в енергії. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства вона зростатиме до 2010 р. на 1,8 – 2,2 % за рік. Щорічні потреби в електроенергії за цей же час збільшаться на 5,2 – 5,5 %

для країн, що розвиваються, і на 1,1 – 2,2 % для економічно розвинених країн. Прогнози зростання АЕ враховують її сприйняття громадськістю та дію зовнішніх факторів, що можуть вплинути на її подальший розвиток.

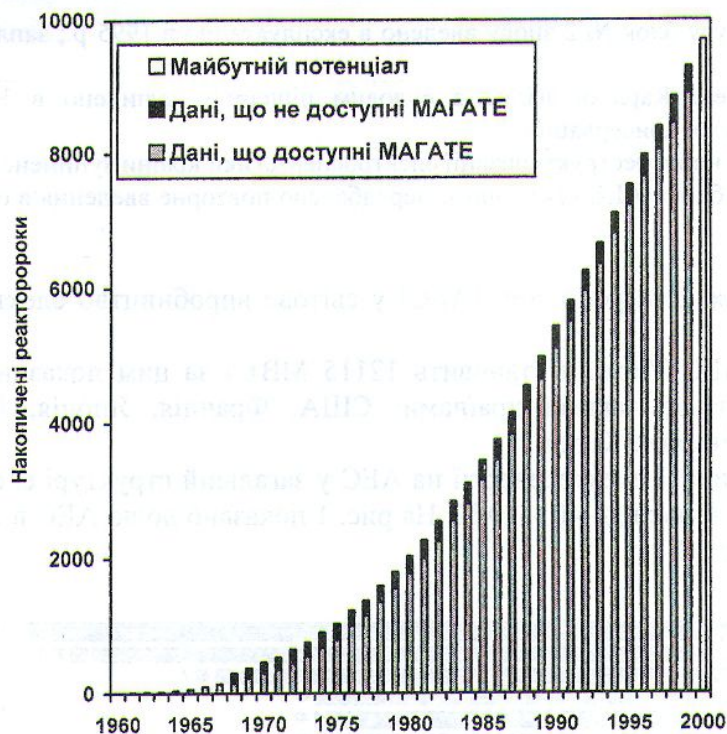


Рис. 2. Досвід експлуатації ядерних реакторів [5].

Міжнародне енергетичне агентство Організації економічного співробітництва й розвитку розробили три варіанти розвитку потужності АЕ у світі на АЕС до 2050 р. (табл. 2) [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
середній	368	467	541	745	930	1132
мінімальний	362	400	428	470	460	333

У варіанті інтенсивного розвитку, який відповідає високому загальному економічному зростанню, враховується, що економічні показники та екологічні характеристики АЕ зможуть змінити ставлення до неї громадськістю та орієнтацію існуючих енергетичних програм.

Варіант мінімального розвитку засновано на припущенні, що в більшості країн нові реактори не будуватимуться (“ядерна пауза”) і тільки в окремих країнах ядерні програми набудуть розвитку. При цьому більшість діючих реакторів поступово буде знято з експлуатації і тільки частина з них замінюватиметься на нові.

Проте навіть у цьому варіанті АЕ відіграватиме істотну роль у паливно-енергетичному балансі світу.

Аналіз потреб у виробництві електроенергії і способів досягнення їх покриття свідчать про *доцільність і необхідність в Україні* і в майбутньому опиратись на АЕ. Це відповідає світовій тенденції, про що було сказано вище. Проте ця енергетика повинна бути

безпечною. Для досягнення цього, у першу чергу, при експлуатації реактора повинні виконуватись необхідні регламентні роботи й здійснюватись на належному рівні стандарти культури ядерної безпеки. Це, по суті, очевидна й тривіальна умова, і ми не будемо обговорювати шляхи її виконання.

Зупинимось на деяких стратегічних проблемах сучасної АЕ України. Після закриття Чорнобильської АЕС в Україні експлуатують 13 ядерних блоків (табл. 3). Деякі з них (блоки № 1, 2 Рівненської АЕС, блок № 1 Південно-Української АЕС) уже відпрацювали біля 20 років і до проектного строку їх експлуатації залишилось всього 10 років. Враховуючи велику інерційність будівництва нових ядерних реакторів (10 – 12 років), уже зараз необхідно визначитись щодо реакторів, якими будуть компенсувати втрати потужності блоків, що будуть виводитись з експлуатації. Це повинні бути реактори нового покоління підвищеної безпеки.

Таблиця 3. Загальна інформація про АЕС України

Назва АЕС	Тип реактора	Рік введення в експлуатацію
1. Запорізька АЕС		
блок № 1	ВВЕР-1000	1985
блок № 2	ВВЕР-1000	1986
блок № 3	ВВЕР-1000	1987
блок № 4	ВВЕР-1000	1988
блок № 5	ВВЕР-1000	1989
блок № 6	ВВЕР-1000	1996
2. Південно-Українська АЕС		
блок № 1	ВВЕР-1000	1983
блок № 2	ВВЕР-1000	1985
блок № 3	ВВЕР-1000	1989
3. Рівненська АЕС		
блок № 1	ВВЕР-440	1981
блок № 2	ВВЕР-440	1982
блок № 3	ВВЕР-1000	1987
блок № 4	ВВЕР-1000	*
4. Хмельницька АЕС		
блок № 1	ВВЕР-1000	1988
блок № 2	ВВЕР-1000	*
блок № 3	ВВЕР-1000	?
блок № 4	ВВЕР-1000	?

* У стадії будівництва.

Найбільш критичним елементом ядерного реактора, що визначає термін експлуатації, є металевий корпус, строк придатності якого оцінюється ступенем його окрихчування під дією нейтронів та γ -випромінювання. У розвинутих країнах встановлюється практика, коли для оцінки стану корпусу використовують не проектні прогнози, а результати експериментальних досліджень. Таким способом було доведено, що термін експлуатації корпусу може бути подовжено на 10 – 20 років над проектним строком. Дуже привабливо було б для України, якби корпуси наших реакторів мали таку властивість.

На жаль, є інформація про те, що деякі із них містять підвищений (відносно проектних значень) вміст нікелю, що зумовлює прискорення процесу окрихчування [4]. Тому виникає навіть питання можливості експлуатації цих реакторів протягом проектного строку. Ця серйозна ситуація вимагає додаткового дослідження ефектів окрихчування і розроблення технічних заходів їх нейтралізації.

На часі необхідно терміново провести дослідження стану крихкості реакторів вітчизняних АЕС і розробити програму подовження строку їх служби.

Нагальною потребою для України є введення в експлуатацію блока № 2 Хмельницької АЕС та блока № 4 Рівненської АЕС. Як відомо, їх добудова за міжнародні кредити та гранти ставилась як умова закриття Чорнобильської АЕС. Проте вона зупинена 15 грудня 2000 р., а нові блоки не введено і схоже на те, що добудувувати реактори Україна змушена буде самотужки. При введенні в експлуатацію нових реакторів у цілому загальний рівень безпеки АЕ України підвищиться, бо нові реактори краще відповідають умовам ядерної безпеки.

Для нормального функціонування й розвитку АЕ її необхідно ритмічно і в повному обсязі забезпечувати *ядерним паливом*. Ця проблема є вже давно актуальною для нашої держави й організація виробництва ядерного палива розглядалась в Кабінеті Міністрів України, Комісії при Президентові України з питань ядерної політики й знайшла своє відображення у відповідному Указі Президента України в 1994 р. На основі цього Указу було розроблено "Комплексну програму створення ядерного паливного циклу в Україні", але до цього часу втілення в життя вона не знайшла.

Тим часом в Україні є непогані передумови для організації виробництва національного ядерного палива, а саме:

- родовища й виробничі потужності з видобутку й збагачення уранової руди;
- виробничі потужності з переробки уранового концентрату;
- родовища й виробничі потужності з видобутку цирконієвих руд і виробництва цирконієвого концентрату;
- дослідне виробництво цирконієвих сплавів;
- дослідно-промислова база для виготовлення необхідних комплектуючих виробів;
- наявність організацій, здатних забезпечити належну науково-технічну, технологічну й проектну підтримку.

У загальній структурі організації виробництва ядерного палива в Україні на даний час є проблематичним лише здійснення ізотопного збагачення урану. Схематично структуру можливого ядерно-паливного циклу (ЯПЦ) представлено на рис. 3.

Реалізація цієї схеми посильна й вигідна Україні.

При використанні АЕ необхідно вирішувати проблему *відпрацьованого ядерного палива*.

У поточний час в Україні реалізовано відкритий ЯПЦ. Свіже ядерне паливо поставляється з Росії. Відпрацьоване ядерне паливо (ВЯП) з реакторів після попередньої витримки в приреакторних басейнах витримки відправляється на проміжне зберігання й наступну переробку в Росію. За останні роки виникають ускладнення з ВЯП, зокрема постійно зростає вартість його вивозу та переробки. У зв'язку з цим на АЕС України виникають проблеми з вичерпання місткості приреакторних басейнів витримки. Враховуючи це, вживаються додаткові заходи. Одним із них є встановлення стелажів ущільненого зберігання ВЯП у приреакторних басейнах витримки.

Програмою поводження з ВЯП передбачається також будівництво сховищ ВЯП сухого типу на майданчиках кожної АЕС та наступне створення централізованого сховища ВЯП.

Створення їх значною мірою розв'яже проблему тимчасової витримки ВЯП.

Не менш важливою для країни, що має АЕС, є проблема *переробки та утилізації радіоактивних відходів (РАВ)*. У процесі експлуатації АЕС утворюються рідкі та тверді РАВ, що зберігаються деякий час при станції.

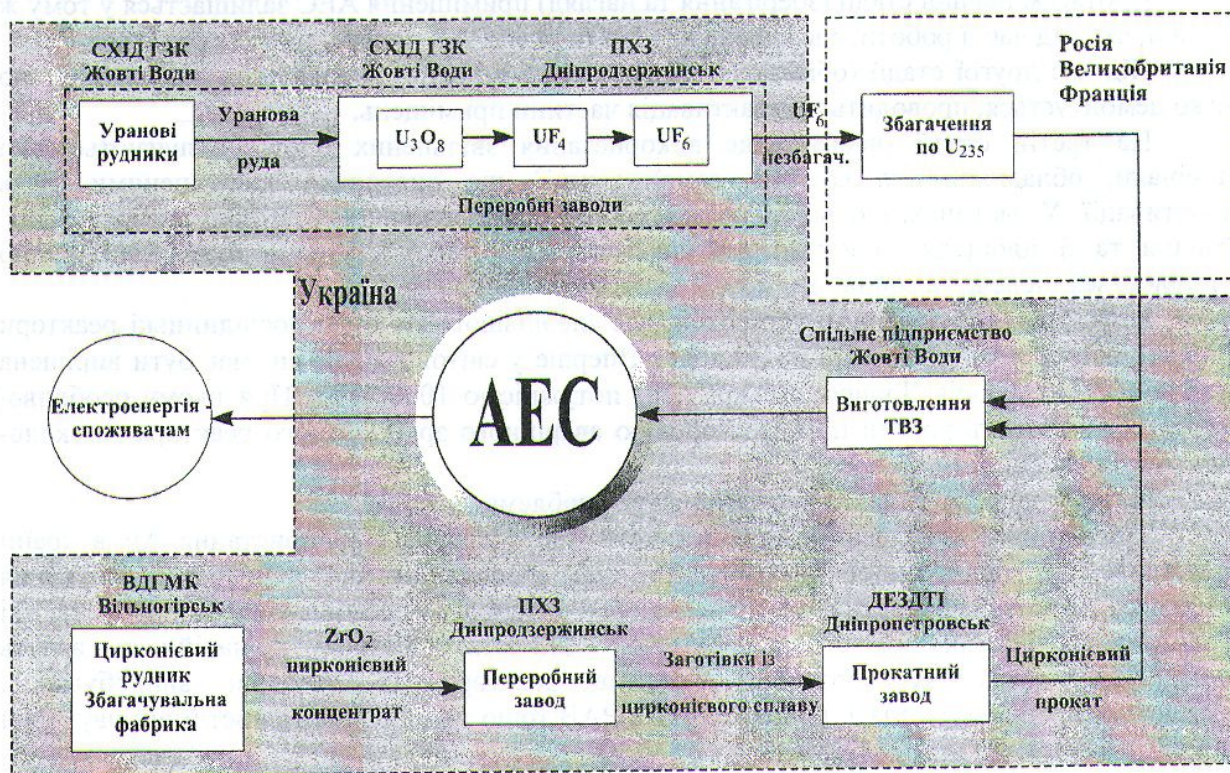


Рис. 3. Схема ЯПЦ України.

Річне збільшення об'ємів РАВ у сховищах на АЕС України, у середньому, становить 4 – 6 % для твердих і 11 – 13 % для рідких РАВ від проектних об'ємів сховищ. При зберіганні таких темпів заповнення об'ємів сховищ у найближчі роки може виникнути проблема експлуатації енергоблоків.

Враховуючи це, у рамках зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС планується будівництво заводу по переробці рідких РАВ, установки по вилученню твердих відходів, заводу по переробці твердих відходів та сховища короткоживучих РАВ.

Крім цього, згідно з Комплексною програмою для вирішення питань безпечного поводження з РАВ зони відчуження ведеться будівництво комплексу “Вектор”, першу чергу якого передбачається ввести в дію у 2002 р.

Проте наведене вище стосується поводження з РАВ на порівняно короткий термін.

Найскладнішим і поки що невирішеним питанням є поводження з довгоживучими та високоактивними відходами. Державною програмою відповідно до законодавства передбачається, що такі відходи мають бути розміщені у стабільних геологічних формаціях для постійного зберігання. Одним з можливих місць для розташування геологічних сховищ є зона відчуження й безумовного відселення. Але для остаточного вирішення цієї проблеми потрібно якнайшвидше провести різнобічні дослідження, оскільки процес створення геологічних сховищ займе десятки років, а проблема з РАВ існує вже сьогодні.

У довгострокових програмах використання АЕ експлуатуюча організація повинна планувати і вирішувати питання *зняття АЕС з експлуатації*.

Зняття з експлуатації (ЗЕ) ядерного реактора включає проведення комплексу робіт по його зупинці, тимчасовій витримці або консервації, наступному монтажу обладнання та конструкцій, захороненню радіаційнозбуднених компонент. При цьому має бути

забезпечена достатня безпека для персоналу реактора, населення та збереження чистоти довкілля.

Як правило, процес ЗЕ розподіляється на три стадії.

Протягом першої стадії (зберігання та нагляд) приміщення АЕС залишається у тому ж вигляді, як і під час її роботи, але ядерне паливо та рідкі РАВ попередньо вилучаються.

Під час другої стадії (обмежене звільнення приміщень) видаляється обладнання, що легко демонтується, проводиться дезактивація частини приміщень.

На третій стадії (необмежене використання звільнених площ) вилучаються всі матеріали, обладнання та частини самої станції, що виявилися забрудненими після дезактивації. У частинах, що залишаються, забруднення знижується до допустимого рівня. Станція та її площадка придатні для необмеженого використання з будь-якою метою (утворюється "зелена галявина").

Існує досвід ЗЕ ядерних установок, але здебільшого це були дослідницькі реактори або енергетичні реактори малої потужності. Вперше у світовій практиці має бути вирішена проблема ЗЕ реакторів Чорнобильської АЕС потужністю 1000 МВт. При цьому особливої програми вимагають роботи по перетворенню аварійного зруйнованого реактора в екологічно безпечну систему.

Загалом це дуже складна капіталомістка проблема.

З особливим наголосом слід відзначити, що розвиток і використання АЕ в країні неможливе без повноцінної *науково-технічної підтримки*, що передбачає існування комплексу наукових, проектно-конструкторських установ та промислових підприємств, які проводять дослідження процесів у реакторах, оцінюють їх безпеку та надійність, ведуть дослідно-конструкторську розробку проектів реактора, їх стендові випробування, займаються проблемами ЯПЦ, поводженням з РАВ тощо та здійснюють постійний науковий і технічний супровід усіх робіт з АЕ.

У складі колишнього СРСР ядерна галузь України розвивалась, маючи потужну всесоюзну технічну й технологічну базу у вигляді багатьох десятків таких установ. Після розпаду СРСР 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 найбільших ядерних центри країни: Інститут ядерних досліджень НАН України та Харківський фізико-технічний інститут, доповнюючи й розвиваючи в них втрачені науково-технічні напрямки, підтримуючи необхідні дослідження в інших існуючих організаціях та додатково створюючи відповідні установи та підприємства. На жаль, так не сталося. Зараз стан науково-технічної підтримки ядерно-енергетичного комплексу України не відповідає сучасним вимогам.

НАН України вже з перших років незалежності України розробила програми науково-технічного забезпечення ядерної енергетики, проводила корекцію цих програм з Держкоматомом та відповідними міністерствами. Планувалось використання для галузі потенціалу інститутів НАН України та інших відомств. Проте ні ці розробки, ні доповнення й уточнення до них у наступні роки не було реалізовано. Спробу Мінпаливноенерго і НАЕК "Енергоатом" створити разом з іншими організаціями в 2000 р. програму науково-технічної підтримки ядерної галузі не доведено до кінця.

У кінці 2000 р. за дорученням Кабінету Міністрів України заплановано підготовку "Концепції розвитку ядерної енергетики до 2030 р.". Важливо в рамках цієї концепції передбачити державну програму науково-технічного супроводу ядерної галузі. Щоб програма запрацювала необхідно обов'язково передбачити дійовий механізм відповідного фінансового забезпечення. Все це має бути відпрацьовано в стислі строки.

На закінчення слід відзначити, що АЕ охоплює ціле коло задач, що включає не тільки власне виробництво електроенергії, але і вимагає врахування інших проблем, які супроводжують ядерну галузь.

У вирішенні їх важливу роль повинно відіграти виконання недавно виданого Розпорядження Президента України "Про розроблення енергетичної стратегії України на період до 2030 року та подальшу перспективу".

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ядерная энергетика мира в 1999 году // Атомная техника за рубежом.* – 2000, № 8. – С. 30 - 31.
2. *Nuclear Power Reactors in the World: IAEA, Vienna.* – 2000. – P. 77.
3. *Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategies: Adjusting to New Realities // Proc. of a Symposium, IAEA, Vienna.* – 1997. – P. 14 – 31.
4. *Grynik E., Chyrko L., Revka V. et al. Influence of nickel on irradiation embrittlement of Ukrainian NPP vessel steel // Proc. of the IAEA Specialists Meeting. IAEA, Vienna.* – 1999. – P. 386 – 393.
5. *Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 1999: IAEA, Vienna.* – 2000. – P. 25.

К КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ

И. Н. Вишнеvский, В. В. Давидовский

Приведены данные об атомной энергетике (АЭ) мира и Украины. Учитывая мировые тенденции и потребности в энергии, прогнозируется дальнейшее использование АЭ в Украине. Отмечается и анализируется состояние и возможные пути решения проблем АЭ: продление срока эксплуатации действующих реакторов, производство ядерного топлива, обращение с отработанным ядерным топливом, радиоактивными отходами, снятие АЭС с эксплуатации, выбор типа реактора будущей АЭ. Подчеркивается необходимость развития научно-технического сопровождения АЭ. Делается вывод, что проблемы АЭ должны быть среди приоритетов государства и в Украине имеется достаточно промышленных, технологических и научных оснований для безопасного использования АЭ.

TO THE DEVELOPMENT CONCEPTION OF NUCLEAR ENERGETICS OF UKRAINE

I. M. Vyshnevsky, V. V. Davidovsky

Nuclear energy (NE) data in the world and in Ukraine are presented. Taking into account the world tendencies and demand in energy, further utilization of NE in Ukraine is predicted. The state and possible solutions of such problems in NE as prolongation of operation period of working nuclear reactors, nuclear fuel production, handling with waste nuclear fuel, radioactive waste, decommissioning of NPP operation, selection of the reactor type for future NE are pointed and analyzed. The development of scientific and technical support of NE is underlined. General conclusion is that the NE problems must be one of the state priorities and Ukraine has sufficient industrial, technological and scientific grounds for safe utilization of NE.