

В. І. Борисенко, А. В. Носовський

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна

Щодо будівництва нових ядерних енергоблоків в Україні

Ключові слова:

ядерна енергетика,
сучасні реакторні технології,
експлуатація у понадпроектний
термін,
встановлена потужність АЕС,
виробництво електроенергії

Ядерна енергетика є важливим фактором забезпечення енергетичної незалежності України. Однак станом на 2022 р. 80% усього парку енергоблоків АЕС України (12 з 15) вже експлуатуються більше 30 років. У світі цей показник становить 68%. Два енергоблока з реакторами типу ВВЕР-440 експлуатуються вже більше 40 років, а до 2028 р. кількість реакторів в Україні, що експлуатуються більше 40 років, збільшиться до 10. Тому є очевидними необхідність і важливість впровадження програми будівництва нових ядерних енергоблоків для забезпечення енергетичної незалежності України. У статті розглянуто важливі характеристики сучасної реакторної установки AP1000, яка ліцензована у США, Канаді та деяких інших країнах. Представлена інформація щодо переваг проекту AP1000 перед іншими сучасними реакторними установками EPR-1750, APR-1400, ВВЕР-1200, а також питання, на які необхідно звернути особливу увагу під час виконання відповідних етапів робіт з обґрунтування і впровадження технології AP1000 в ядерній енергетиці України.

За останні декілька десятиліть позиції ядерної енергетики у світовому енергетичному балансі значно знизилися. Причинами стали аварії на АЕС Three Mile Island у США, Чорнобильської АЕС в Україні та АЕС Fukushima-Daiichi в Японії. Так, якщо в 1970-х рр. у світі щорічно починалося будівництво до чотирьох десятків ядерних енергоблоків, а в експлуатацію вводилося більш двох десятків енергоблоків, то на сьогодні у світі щорічно вводяться в експлуатацію декілька одиниць ядерних реакторів. Станом на 01.01.2022 р. у процесі будівництва перебувають усього 52 енергоблоки, частина з яких будуються вже більше 30 років.

На АЕС України станом на 01.01.2022 р. експлуатуються 15 енергоблоків з водо-водяними енергетичними реакторами (ВВЕР): 13 — з ВВЕР-1000 і 2 — з ВВЕР-440. Частка АЕС у загальному виробництві електроенергії в Україні з 2015 р. становить більше 50%. Тому є очевидним, що ядерна енергетика в Україні відіграє важливу роль у забезпеченні її енергетичної незалежності. Зусилля науково-технічної спільноти України мають бути спрямовані

на підтримку безпечної експлуатації ядерних енергоблоків АЕС, а також обґрунтування вибору сучасної реакторної технології для енергетики України.

На рис. 1 наведено інформацію про вік експлуатації енергоблоків на АЕС України станом на 01.01.2022 р.: 12 з 15 енергоблоків (80%) уже відпрацювали 30-річний проектний термін експлуатації, їхня експлуатація відбувається у понадпроектні терміни. Для порівняння, у світі станом на 01.01.2022 р. з 442 енергоблоків, які перебувають у стані експлуатації, 300 (68%) перетнули 30-річний термін експлуатації [1].

Таким чином, можна констатувати, що для підтримки рівня встановленої потужності енергоблоків на АЕС України, з урахуванням обмеженого терміну їхньої експлуатації у понадпроектні терміни, необхідна програма будівництва нових ядерних енергоблоків в Україні.

Сьогодні останніми є побудовані в 2004 р. ядерні енергоблоки № 2 на Хмельницькій АЕС та № 4 на Рівненській АЕС. Національна атомна енергогенеруюча компанія (НАЕК) «Енергоатом» планувала добудувати енергоблоки № 3 та 4 Хмельницької АЕС,

© В. І. Борисенко, А. В. Носовський, 2022

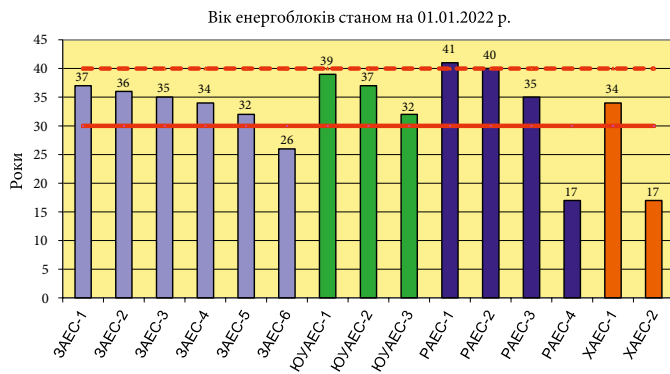


Рис. 1. Вік енергоблоків АЕС України станом на 01.01.2022 р.

зведення яких за проектом реакторної установки ВВЕР-1000/В-320 почалося, відповідно, в 1986 і 1987 рр., проте в 1990 р. було зупинене мораторієм на будівництво АЕС [2].

У 2006 р. було проведено обстеження та оцінка стану будівельних конструкцій недобудованих енергоблоків на предмет можливості їхньої добудови. Результатом цього в 2010 р. стало підписання та ратифікація Верховною Радою України угоди між Україною та Російською Федерацією щодо будівництва енергоблоків № 3 та 4 Хмельницької АЕС з реакторною установкою ВВЕР-1000/В-392Б, яку запропонувала російська компанія «Атомстройекспорт». Рішення про початок будівництва було закріплено Законом України «Про розміщення, проектування та будівництво енергоблоків № 3, 4 Хмельницької АЕС» [3], який був ухвалений у 2012 р. Проте через події, пов'язані зі збройним конфліктом на Донбасі, втратив свою чинність через три роки внаслідок денонсації угоди між Україною та Росією.

Наступним кроком у зрушенні питання стало коригування та доопрацювання техніко-економічного обґрунтування вищезгаданого будівництва в частині зміни постачальника реакторної установки, яким було визначено чеську компанію Skoda JS. У 2019 р. були знову розпочаті роботи з обстеження наявних будівельних конструкцій енергоблоків № 3 та 4 Хмельницької АЕС для підтвердження можливості забезпечення вимог до проектною довговічності та надійності експлуатації існуючих будівельних конструкцій, враховуючи проведення комплексу ремонтно-відновлювальних робіт.

Однак керівництво Міністерства Енергетики України у 2019 р. без належного наукового обґрунтування оприлюднило концепцію, згідно з якою в 2060 р. частка АЕС у виробництві електроенергії має становити 25 %,

а джерел відновлювальної енергетики — 75 %. Про добудову енергоблоків Хмельницької АЕС у той же час забули і почали говорити про АЕС з малими модульними реакторами (ММР).

Погляди деяких фахівців стосовно розв'язання енергетичних проблем України на основі «перспективних» технологій ММР не мають належного техніко-економічного і наукового обґрунтування, а також не підтверджуються необхідною апробованою практикою, оскільки у світі такі реактори ще лише розробляються. Сьогодні можна тільки констатувати, що застосування для виробництва електроенергії технологій ММР буде дорожчим порівняно з використанням традиційної, апробованої технології експлуатації енергоблоків потужністю 500–1 000 МВт.

Технологія ММР широко обговорюється у науково-технічних публікаціях як один із шляхів можливого перспективного розвитку ядерної енергетики. Але появу першого енергоблока, побудованого за цією технологією, можна очікувати через 5–6 років, а результати референтного досвіду з експлуатації першого блоку ММР будуть доступні ще через 5–6 років.

Уже в серпні 2020 р. керівництво НАЕК «Енергоатом» зробило нову заяву щодо повернення до проекту добудови енергоблоків Хмельницької АЕС. Подальший розвиток ядерного енергетичного сектору на період до 2035 р. передбачає збільшення виробництва електроенергії на АЕС України. Для досягнення такої мети важливим завданням поряд з забезпеченням експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектні строки є дослідження з обґрунтування оптимального вибору перспективних ядерних установок для заміщення енергоблоків, які виводяться з експлуатації. Враховуючи наявні у світі та в Україні тенденції на ринку постачання електроенергії, одним із шляхів є оновлення парку наявних в Україні енергоблоків з ВВЕР на перспективні, більш економічні та безпечні проекти реакторних установок нового покоління.

В Енергетичній стратегії України на період до 2035 р. «Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність» серед основних заходів для реалізації стратегічних цілей у сфері генерування електроенергії передбачені [4]:

реалізація програм щодо покращення ефективності використання потужностей державних підприємств, зокрема підвищення коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП) АЕС;

вибір реакторних технологій для будівництва нових ядерних енергоблоків на заміщення потужностей АЕС, які будуть виводитися з експлуатації після 2030 р.

Проте після пуску в 2004 р. двох енергетичних реакторів на Хмельницькій і Рівненській АЕС в Україні не здійснювалося будівництво таких реакторів, що призвело до практичної втрати спроможності спорудження нових енергоблоків атомних електростанцій. Враховуючи високу вартість нового будівництва, а отже й високу собівартість електроенергії під час роботи в амортизаційний період (15–20 років), ядерна енергетика в Україні без державної підтримки втрачає свої позиції. Наслідком цього стане вимушене, для «балансування» енергосистеми країни, збільшення на ринку частки теплових електростанцій на викопному паливі. Це, відповідно, зумовить як збільшення обсягу шкідливих викидів у атмосферу, так і зростання вартості електроенергії.

Тому оптимальним на майбутнє з позицій як екологічної, так і економічної політики України є поступове заміщення енергоблоків, які вичерпали «проектний ресурс», на сучасні нові енергоблоки з підвищеним рівнем безпеки. Це дозволить підтримувати частку АЕС в енергобалансі України на рівні 40÷50 %, а також сприятиме виконанню її зобов'язань щодо зростання застосування в енергетиці частки низьковуглецевих технологій.

Проте Україна протягом багатьох років так і не може визначитись із перспективами будівництва нових ядерних установок, які в майбутньому будуватимуться замість енергоблоків, що знімаються з експлуатації. З деякою періодичністю як перспективні реактори розглядають канадські реактори CANDU з важководним теплоносієм, російські ВВЕР, корейські та китайські проекти, а також ММР. Тому в Україні існує актуальна проблема з обранням перспективної реакторної технології з якісно вищими показниками безпеки.

Для обґрунтування вибору типу реакторної установки необхідно розробити наукові і техніко-економічні основи оптимального вибору перспективних ядерних установок для України. Оптимізація вибору має виконуватися за різними показниками, серед яких питання безпеки, техніко-економічні показники, вимоги до конструкційних та інших матеріалів, включаючи технологічні матеріали, будівельні конструкції та ін.

І головне при цьому, щоб обов'язково були максимально враховані можливості виробництва обладнання підприємствами України. На підприємствах України вже давно потрібно розміщувати замовлення щодо виготовлення номенклатури обладнання для АЕС, а не закуповувати його за величезними цінами в Російській Федерації (наприклад, як це робиться

із закупівлею запчастин для дизель-генераторів). Со-ромно за країну, яка володіє високотехнологічними підприємствами, будує космічні ракети, літаки та не може зробити запчастини для дизелів, які проектувалися у 60-х роках минулого століття.

Нарешті у 2021 р. під час візиту Президента України Володимира Зеленського до Сполучених Штатів Америки підписано меморандум з американською компанією Westinghouse Electric про співпрацю, який передбачає спільне з НАЕК «Енергоатом» будівництво та розміщення в Україні АЕС з реакторами AP1000. Компанія Westinghouse братиме участь у добудові четвертого енергоблока Хмельницької АЕС за технологією AP1000 та ще чотирьох енергоблоків інших атомних електростанцій України [5]. Сторони домовилися про застосування американської технології AP1000, що є єдиною з технологій реакторів покоління III+, ліцензованою Комісією з ядерного регулювання США, а також у кількох країнах Європи та Азії.

На міжнародній конференції «Атомні можливості для розвитку країни» 22.11.2021 р. НАЕК «Енергоатом» і компанія Westinghouse підписали дві угоди щодо будівництва двох нових енергоблоків на майданчику Хмельницької АЕС [6]. Одна з угод передбачає закупівлю послуг компанії Westinghouse з проектування енергоблоків, друга угода — закупівлю тренажера й обладнання з тривалим терміном виробництва.

Станом на 2022 р. серед проектів реакторних установок, які належать до покоління III+, реакторна установка AP1000 компанії Westinghouse є найбільш привабливою для енергетики України за багатьма аспектами:

1. Реактор AP1000 ліцензовано в США, Канаді та деяких інших країнах.

2. Чотири енергоблоки з реактором AP1000 більше чотирьох років експлуатуються на двох АЕС у Китаї (Sanmen-1, 2, Haiyang-1, 2) [1].

3. У США на АЕС Vogtle ведеться будівництво двох енергоблоків з реакторами AP1000. Фізичний пуск на першому енергоблоці заплановано на 2022 р.

4. Реактор AP1000 має електричну потужність 1150 МВт, яка є найменшою серед інших реакторів нового покоління: EPR-1750, APR-1400, ВВЕР-1200. Таким чином, потужність AP1000 складає майже 10 % від сумарної потужності всіх джерел електропостачання в нічний мінімум літнього електроспоживання в Україні, а відповідно й вимоги до «гарячого» резерву є більш сприятливими.

5. Економічні показники експлуатації AP1000 в Китаї є дуже привабливими. Так, наприклад,

Таблиця 1. Виробництво електроенергії на AP1000 в Китаї (у млрд кВт · г)

Рік	Енергоблок			
	Sanmen-1	Sanmen-2	Hayang-1	Hayang-2
2019	8987	906	9457	9935
2020	8758	8786	8762	9066

у табл. 1 наведено дані щодо виробництва електроенергії на енергоблоках з AP1000 АЕС Китаю. Як бачимо, КВВП лежить у діапазоні 90–99 %, що є одними з найкращих показників серед АЕС світу [1].

Станом на 2022 р. реактор AP1000 є найбільш апробованим серед інших проектів реакторів третього покоління у тому числі й тому, що в проекті широко використовуються як існуючі технології, так і пасивні системи безпеки.

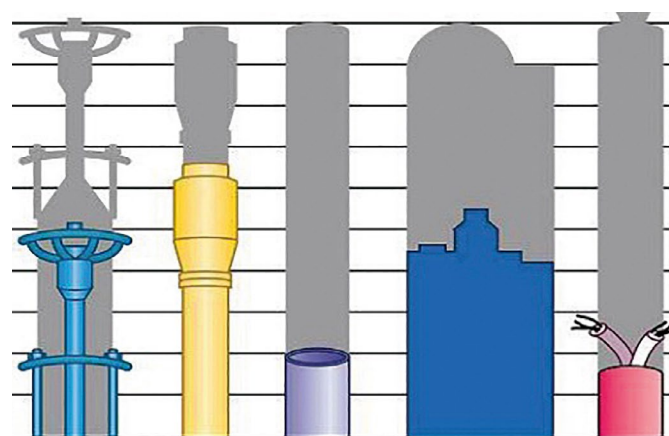
У конструкції також зменшено кількість компонентів, у тому числі труб, кабелів, електроарматури. У порівнянні з попередніми проектами компанії Westinghouse в проекті AP1000 зменшено деякі показники (рис. 2) [7].

Економічні показники інших проектів з реакторами нового покоління є не такими привабливими. Наприклад, КВВП працюючих енергоблоків з EPR-1750, APR-1400, ВВЕР-1200 лежить у діапазоні 70–90 %, що є нижчим, ніж для AP1000 (табл. 2) [1].

Є й інші показники, за якими енергоблоки з AP1000 на першому етапі експлуатації виглядають більш привабливими. Наприклад, на двох з чотирьох енергоблоків з ВВЕР-1200 були проблеми з електрогенераторами, на EPR-1750 проблеми з герметичністю твелів.

Однак і в AP1000 також є проблемні питання.

1. Відомо про проблеми з головними циркуляційними насосами AP1000 як на етапі попередніх випробувань, під час яких було виявлено пошкодження різних елементів ГЦН, так і під час вже промислової



на 50 % менше клапанів, пов'язаних із системами безпеки	на 35 % менше насосів	на 80 % менше тру- бопроводів, пов'язаних із системами безпеки	на 45 % менший будівель- ний об'єм	на 85 % менше керу- ючих кабелів
--	-----------------------------	---	---	--

Рис. 2. Порівняльний аналіз деяких показників AP1000 з попередніми проектами компанії Westinghouse

експлуатації на Sanmen-2. У 2019 р. на Sanmen-2 відмовив один з ГЦН, для заміни якого пішов майже цілий рік (див. табл. 1).

2. На перших шести енергоблоках, які вже практично побудовані (чотири в Китаї, два в США) реальні строки будівництва значно перевищують проекти. Так, наприклад, середні строки будівництва енергоблоків з AP1000 в Китаї складають 8–9 років, у порівнянні з проектними 4 роками. У США енергоблоки з AP1000 на АЕС також будуються вже більше 8 років [1].

3. Питання щодо вартості будівництва AP1000 також не є вирішеним. Станом на кінець 2021 р. загальна вартість будівництва двох енергоблоків з AP1000 на АЕС Vogtle складає вже більше 20 млрд доларів.

4. Логістичне питання щодо доставки на майданчик АЕС великогабаритних конструкцій і облад-

Таблиця 2. Виробництво електроенергії на сучасних ядерних енергоблоках (у млрд кВт · г)

Рік	EPR-1750		APR-1400	ВВЕР-1200			
	TAISHAN-1	TAISHAN-2	BARAKAH-1	НВАЕС-2-1	НВАЕС-2-2	ЛАЕС-2-1	ЛАЕС-2-2
2017				5620			
2018	3056			7747		2345	
2019	11953	5356		7186	3557	7137	
2020	9170	12455	1562	7602	7603	7531	660

нання. Відомо, що діаметр корпусу реактора AP1000 в районі патрубків складає ~5 м, а діаметр парогенератора ~6 м. Тому традиційна схема доставки обладнання залізницею є неможливою, і для майданчиків Хмельницької, Рівненської та Южноукраїнської АЕС необхідно вирішувати проблему доставки вантажів автотранспортом на великі відстані (більше 100 км).

На жаль, на сьогодні енергоблоки з AP1000 в інших країнах на майданчиках АЕС не будуються. У 2016 р. на рівні керівництва США й Індії було зроблено заяву про наміри будівництва 6 енергоблоків з AP1000 в Індії у штаті Андхра Прадеш, однак до практичних кроків досі так і не перейшли. Також наміри Польщі побудувати 6 реакторів американського виробництва, про які було заявлено в 2020 р., також поки що залишаються намірами. І в самих США було видано 14 ліцензій на будівництво AP1000: по два енергоблока на АЕС Bellefonte, Levy Country, V. C. Summer, Vogtle, W. S. Lee, Turkey Point, Harris [5]. Як відомо, будівництво ведеться тільки на АЕС Vogtle, а на АЕС V. C. Summer будівництво зупинено у 2018 р. Таким чином, за останні 8 років, починаючи з 2013 р., нове будівництво енергоблоків з AP1000 не починалося. Великобританія у 2018 р. обрала технологію EPR-1750 для будівництва заміщуючих потужностей на АЕС Hinkley Point [1].

Таким чином, підсумовуючи наведену інформацію, можна погодитися з визначенням як пріоритетної реакторної технології легководяних реакторів великої потужності технології AP1000 для подальшого врахування під час формування стратегії розвитку ядерної енергетики України. Але цей вибір був отриманий на основі експертних оцінок відповідно до використаного методу багатокритеріального аналізу безпеки, а до експертних оцінок завжди є багато питань. Науковці Інституту проблем безпеки АЕС НАН України мають досвід не тільки у використанні методу багатокритеріального аналізу, а й у практичних роботах з розробки пристроїв для реакторів AP1000, які розробляли для китайських АЕС, а також використання нових видів бетонних сумішей для біологічного захисту. Вважаємо, що досвід наукових установ НАН України буде прийнятий до відома під час будівництва нових ядерних енергоблоків.

У січні 2021 р. НАЕК «Енергоатом» видав окреме доручення щодо підготовки пропозицій стосовно реалізації проекту «Створення українського енергоблока АЕС» із зазначенням першочергових завдань з підготовки до спорудження нових енергоблоків АЕС із максимальною локалізацією виробництва

в Україні. Шкода, що це доручення запізнилося років на 20, тому що за цей час Україна позбулася будівельників, монтажників, налагоджувальників обладнання та інших фахівців зі спорудження АЕС, які покинули країну в пошуках кращої долі.

Ми всі розуміємо важливість інноваційних технологій для підтримки й розвитку ядерної енергетики. Використання ядерної енергії має розвиток тільки завдяки науково-технічному прогресу. Прикро про це говорити, але в Україні нічого не робиться, щоб підняти інноваційну діяльність у ядерній галузі на відповідний рівень. Поки що «інноваційна діяльність», на жаль, зводиться до закупівлі за кордоном існуючих і не завжди прогресивних технологій і обладнання. У результаті ми бачимо знищення національних наукових шкіл, занепад наукових інституцій тощо.

Згадуючи досвід Китаю, набутий під час спорудження чотирьох енергоблоків з AP1000, є доцільним використання такого досвіду і в Україні. Наприклад, середній рівень локалізації під час будівництва в Китаї цих енергоблоків склав ~55 %. При цьому на першому з чотирьох енергоблоків Sanmen-1 рівень локалізації склав ~25 %, а на четвертому Haiyang-2 — вже ~70 % [8]. Також необхідно відзначити й відому неузгодженість між американськими і китайськими партнерами по проекту під час внесення змін у проектну документацію, а загалом тільки за період з 2009 до 2013 рр. у проект енергоблока Sanmen-1 було внесено 18 000 змін [9].

Висновки

Вибір технології AP1000 як пріоритетної реакторної технології легководяних реакторів великої потужності для подальшого врахування в рамках формування стратегії розвитку ядерної енергетики України є прийнятним, але цей вибір необхідно підтвердити з боку експлуатуючої організації з урахуванням необхідних процедур узгодження відповідного ТЕО та інших заходів відповідно до діючого законодавства України.

Під час обґрунтування рішення щодо вибору AP1000 необхідно звернути увагу на вже відомі проблемні питання щодо впровадження технології Westinghouse, а також досвід КНР.

Національній академії наук України під час формування тематики фундаментальних і прикладних наукових досліджень варто передбачати пріоритетні програми і завдання, спрямовані на вирішення питань, пов'язаних із розвитком ядерної

енергетики, а також забезпечити подальше виконання прикладних досліджень з розробки наукової та техніко-економічної основи оптимального вибору перспективних ядерних установок для України. Оптимізація вибору має виконуватися за різними показниками, серед яких питання безпеки, техніко-економічні показники, вимоги до конструкційних матеріалів, включаючи технологічні матеріали й будівельні конструкції. Також під час проведення оптимізації необхідно максимально враховувати можливості виробництва обладнання підприємствами України.

Вважаємо доцільним рекомендувати ДП НАЕК «Енергоатом» залучати інститути НАН України до робіт, пов'язаних із науково-технічним обґрунтуванням вибору перспективних ядерних установок в Україні, а також пов'язаних з реалізацією проекту «Створення українського енергоблока АЕС» та програми будівництва нових ядерних енергоблоків.

Список використаної літератури

1. The Database on Nuclear Power Reactors // Power Reactor Information System (PRIS); IAEA : official website. — Available at: <https://pris.iaea.org/pris>.
2. Постанова Верховної Ради Української РСР «Про мораторій на будівництво нових атомних електростанцій на території Української РСР» від 02.08.1990 № 134-XII. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/134-12>.
3. Закон України «Про розміщення, проектування та будівництво енергоблоків № 3 і 4 Хмельницької атомної електричної станції» від 06.09.2012 р. № 5217-VI // Відомості Верховної Ради. — 2013. — № 42. — ст. 583.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р]. — 66 с.
5. Енергоатом та Westinghouse підписали Меморандум про будівництво нових енергоблоків в Україні // Енергоатом : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: https://www.energoatom.com.ua/ua/press_centra-19/novini_kompanii-20/p/energoatom_ta_westinghouse_pidpisali_memorandum_pro_budivnictvo_novih_energoblokov_v_ukraini-47993.
6. Енергоатом і американська компанія Westinghouse підписали угоди про будівництво в Україні нових атомних енергоблоків // Енергоатом : офіційний веб-сайт. — Режим доступу: https://www.energoatom.com.ua/ua/press_centra-19/novini_kompanii-20/p/energoatom_i_amerikanska_kompaniya_westinghouse_pidpisali_ugodi_pro_budivnictvo_v_ukraini_novih_atomnih_energoblokov-48509.
7. Gaio P. Westinghouse. AP1000: The PWR Revisited / P. Gaio // Opportunities and Challenges for Water Cooled Reactors in the 21st Century: Proceedings of an International Conference (Vienna, Austria, 27–30 October, 2009).
8. China Nuclear News Weekly Roundup — 07/30–08/03 // NicobarGroup : official website. — Available at: <http://www.nicobargroup.com/news-views-1/?offset=1534152278098>.
9. AP-1000 в Китае — уроки и новые вопросы // atominfo.ru. — Режим доступу: <http://atominfo.ru/newsh/o0557.htm>.

V. I. Borysenko, A. V. Nosovskyi

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants,
NAS of Ukraine, 12, Lysogirska st., Kyiv, 03028, Ukraine*

On the Construction of New Nuclear Power Units in Ukraine

The article provides information on the pace of construction and commissioning of nuclear power units at nuclear power plants in the world over the past 60 years. Nuclear energy is the most important factor in ensuring the energy independence of Ukraine. As of 2022, 80% of the entire fleet of Ukrainian nuclear power units (12 out of 15) have already been in operation for more than 30 years. In the world, this figure is 68%. Two power units with VVER-440 reactors have been in operation for more than 40 years, and by 2028 the number of power units at Ukrainian NPPs, that have been in operation for more than 40 years, will increase to 10. Therefore, the need and importance of introducing a program for the construction of new nuclear power units to ensure energy independence of Ukraine are obvious. The article discusses the most important characteristics of the modern AP1000 reactor unit, which is licensed in the USA, Canada and some other countries. Information is presented on the advantages of the AP1000 project over other modern reactor plants EPR-1750, APR-1400, VVER-1200, as well as issues that need to be paid special attention, when performing the relevant stages of work on the justification and implementation of the AP1000 technology in the nuclear power industry of Ukraine. For example, the installed capacity utilization factor of operating power units with EPR-1750, APR-1400, VVER-1200 is lower than for AP1000. When

justifying the decision to choose AP1000, it is necessary to pay attention to the already known problematic issues of implementing Westinghouse technology. It is recommended to involve the institutes of the National Academy of Sciences of Ukraine in the work, related to the scientific and technical substantiation of the choice of promising nuclear installations for Ukrainian NPPs.

Keywords: nuclear power, modern reactor technologies, operation beyond design time, NPP installed capacity, electricity generation.

References

1. *The Database on Nuclear Power Reactors. Power Reactor Information System (PRIS)*. IAEA: official website. Available at: <https://pris.iaea.org/pris>.
2. Resolution of the Verkhovna Rada of the Ukrainian SSR “On the moratorium on the construction of new nuclear power plants in the Ukrainian SSR” dated 02.08.1990, no. 134-XII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/134-12>. (in Ukr.)
3. Law of Ukraine “On the location, design and construction of power units no. 3 and 4 of the Khmelnytskyi Nuclear Power Plant” dated 06.09.2012, no. 5217-VI. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy* [Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine], 2013, no. 42, art. 583. (in Ukr.)
4. *Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035 “Security, energy efficiency, competitiveness”*. Approved by the Order of the Cabinet of Ministers dated 18.08.2017 no. 605-p, 66 p. (in Ukr.)
5. *Memorandum on construction of new power units in Ukraine signed between Energoatom and Westinghouse*. Energoatom: official website. Available at: https://www.energoatom.com.ua/en/press_center-19/company-20/p/memorandum_on_construction_of_new_power_units_in_ukraine_signed_between_energoatom_and_westinghouse-47993. (in Ukr.)
6. *Agreements signed between Energoatom and Westinghouse for constructing new nuclear power units in Ukraine*. Energoatom: official website. Available at: https://www.energoatom.com.ua/en/press_center-19/company-20/p/agreements_signed_between_energoatom_and_westinghouse_for_constructing_new_nuclear_power_units_in_ukraine-48509. (in Ukr.)
7. Gaio P. (2009). Westinghouse. AP1000: The PWR Revisited. Proceedings of an *International Conference “Opportunities and Challenges for Water Cooled Reactors in the 21st Century”* (Vienna, Austria, 27–30 October, 2009).
8. *China Nuclear News Weekly Roundup — 07/30–08/03*. NicobarGroup: official website. Available at: <http://www.nicobargroup.com/news-views-1/?offset=1534152278098>.
9. *AP-1000 in China — lessons and new questions*. *atominfo.ru*. Available at: <http://atominfo.ru/newsh/o0557.htm>.

Надійшла 29.12.2021

Received 29.12.2021