



ЦЕНТР РАЗУМКОВА

ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА У СВІТІ ТА УКРАЇНІ: ПОТОЧНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Київ – 2015

Автори Аналітичного огляду –
К.МАРКЕВИЧ, В.ОМЕЛЬЧЕНКО

Аналітичний огляд *“Ядерна енергетика у світі та Україні: поточний стан та перспективи розвитку”* підготовлено за сприяння Комітету Верховної Ради України з питань паливно-енергетичного комплексу, ядерної політики та ядерної безпеки.

Актуальність цієї роботи зумовлена надзвичайною важливістю забезпечення енергетичної безпеки України, тим більше, що атомна енергетика стала вирішальним фактором України в безкомпромісній боротьбі за енергетичну незалежність. В Аналітичному огляді на базі опрацьованих статистичних даних проаналізовані тенденції розвитку атомної промисловості у світі загалом та Україні зокрема.

Останніми роками, через аварію на японській АЕС “Фукусіма”, впевненість у доцільності використання атомної енергії у світі суттєво похитнулась. Однак, попри відмову ряду країн від подальшої експлуатації існуючих і будівництва нових АЕС, намітилися позитивні тенденції розвитку світової ядерної енергетики. Зокрема ряд країн Азії і Східної Європи, прагнучи досягти стійкого економічного зростання, енергетичної безпеки та скорочення викидів CO₂, у найближчому майбутньому відновлять розвиток ядерної енергетики у світі.

Сьогодні атомна енергетика України є базовою складовою в її енергозабезпеченні, виробляючи понад 50% електроенергії. Частка ядерної енергії в енергобалансі країни у відносно короткі терміни почала істотно збільшуватись, а національне ядерне законодавство – активно удосконалюватися відповідно до світових стандартів. Це стало важливим чинником надійного енергозабезпечення споживачів України в умовах дефіциту вугілля через фактичну окупацію РФ частини Донбасу. Однак перед Україною стоять ще багато проблем, вирішення яких потребуватиме значних інвестицій, удосконалення технологій, підвищення рівня кваліфікації спеціалістів тощо.

Дизайн і верстка:
О.ШАПТАЛА, Т.ОВСЯНИК

З М І С Т

ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА У СВІТІ ТА УКРАЇНІ: ПОТОЧНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА У СВІТІ	5
1.1. Загальний стан і перспективи розвитку	5
1.2. Географія розвитку ядерної енергетики	9
1.3. Ресурсне забезпечення розвитку ядерної енергетики у світі.....	13
1.4. Ціни на уран.....	15
РОЗДІЛ 2. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	19
2.1. 2.1. Видобуток і переробка уранової руди в Україні	19
2.2. Диверсифікація ядерного палива та технологій	20
2.3. Робота діючих АЕС та перспективи створення нових потужностей.....	21
ВИСНОВКИ	26

Перелік аббревіатур і скорочень, що вживаються в цьому виданні: АЕС – атомна електростанція; ВЯП – відпрацьоване ядерне паливо; ГВт – гігават, одиниця вимірювання потужності; ГЕС – гідроелектростанція; Держатомрегулювання – Державна інспекція ядерного регулювання України; ЗАЕС – Запорізька АЕС; ЗГФУ – збіднений гексафторид урану; ЗУП – збагачений урановий продукт; МАГАТЕ – Міжнародне агентство з ядерної безпеки (*International Atomic Energy Agency*); метод ПВ – метод підземного вилуговування; Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) – *International Energy Agency (IEA)*; НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи; РАЕС – Рівненська АЕС; ТВЗ – тепловиділяюча збірка; ТЕС – теплова електростанція; ТЕЦ – теплоелектроцентрально; ХАЕС – Хмельницька АЕС; ЦСВЯП – Централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива; ЮУАЕС – Южно-Українська АЕС; U_3O_8 – оксид урану (закись-окись урану); *World Nuclear Association* – Всесвітня ядерна організація.

На початку третього тисячоліття, поряд зі швидким розвитком відновлювальних джерел енергії, у міжнародному енергетичному співтоваристві після деякої стагнації (що була викликана аварією на Чорнобильській АЕС) заговорили про всесвітнє відродження ядерної галузі. І саме в цей момент, напередодні 25 річниці чорнобильської катастрофи, в Японії атомна енергетика стикнулася з випробуванням, яке черговий раз порушило питання доцільності розвитку цієї галузі.

Проте, незважаючи на триваючі дискусії стосовно ризиків експлуатації об'єктів “мирного атома”, **останніми роками розвиток світової ядерної енергетики характеризується позитивними тенденціями.** Про що зокрема свідчать активне будівництво нових і модернізація вже діючих реакторів у багатьох країнах.

На атомну енергетику сьогодні припадає 11,5% світового виробництва електроенергії і, за прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), її частка буде неухильно зростати.

Плани широкомасштабного розвитку ядерної енергетики (особливо в окремих регіонах світу) зумовлені рядом причин:

- зростаючий попит на енергоресурси¹ через постійне збільшення чисельності населення на земній кулі та швидку індустріалізацію виробництва;
- загострення конкуренції за доступ до сировинних ринків;
- вичерпність запасів традиційних енергоносіїв та неминуче зростання цін на них, а також політична нестабільність у країнах-експортерах нафти та газу;
- необхідність захисту довкілля у частині викидів парникових газів, що спричиняють “глобальне потепління”;
- бажання створити незалежні від зовнішніх факторів ресурси енергозабезпечення.

Однак, існують об'єктивні чинники, що суттєво гальмують розвиток галузі. Насамперед, до них належать великі аварії на АЕС, що формують негативну громадську думку та сприяють прийняттю відповідних політичних рішень в ядерній сфері. Крім того, існує необхідність вирішення проблем безпечності ядерної енергетики як з точки зору її впливу на людину та довкілля, так і проблем поводження з відпрацьованим ядерним паливом.

¹ У МЕА зазначають, що попит на енергію в світі зростає у 2030р. приблизно на 50% порівняно з 2010р.

1. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА У СВІТІ

1.1. ЗАГАЛЬНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Становлення ядерної енергетики обумовлено соціально-економічними потребами окремо взятої країни, що виникають у певний період часу¹. Розвиток цієї галузі можна умовно поділити на чотири етапи.

Перший етап розвитку світової ядерної енергетики (1950-1960рр.) пов'язаний з початком введення в експлуатацію перших АЕС у СРСР (1954р.), Великій Британії (1956р.) та США (1957р.) і характеризується структурними змінами у світовому енергетичному балансі (перехід від вугілля до нафти), актуалізацією проблеми швидкого та ефективного транспортування енергоресурсів. Зазначені обставини сформували загальносвітову потребу в додаткових джерелах енергії, у т.ч. ядерної, та стали стимулом до будівництва нових АЕС і збільшення потужності вже існуючих реакторів.

Другий етап (1970-ті роки) пов'язаний із загостренням політичних конфліктів в арабських країнах², подальшим обмеженням поставок нафти та зростанням цін на цей вид палива. Ці події дали поштовх до формування за допомогою АЕС власних енергетичних баз окремих країн.

Третій етап (1980-1990рр.) характеризується уповільненням темпів будівництва об'єктів атомної енергетики у зв'язку з великими аваріями на АЕС у США (1979р.) та в СРСР (1986р.)³. Саме в цей час набула актуальності необхідність вирішення назрілої проблеми безпеки реакторів першого покоління, а також питання утилізації накопичених ядерних відходів.

Під час четвертого етапу (з початку 2000-х років і до тепер) ядерна енергетика знаходиться на етапі підйому, багато в чому обумовленого масштабним будівництвом АЕС в країнах Азійсько-Тихоокеанського регіону. У світі відзначається прискорене закриття застарілих АЕС, посилюються вимоги до державного та міжнародного регулювання безпеки об'єктів галузі. Однак аварія на АЕС "Фукусіма" в Японії (2011р.) додала певних коректив, що негативно вплинули на прогнозовані темпи розвитку галузі.

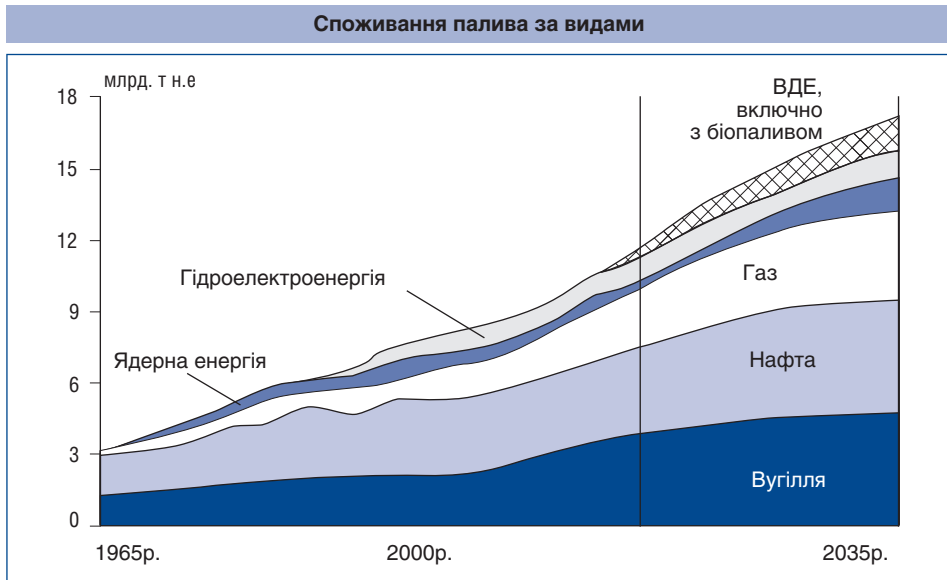
Безперечно, викопні види палива (нафта, природний газ і вугілля) як і раніше задовольнятимуть більшу частину світових потреб, адже жодне інше джерело енергії не зможе зрівнятися з ними в доступності, економічності

¹ Зокрема розвиток ядерної енергетики в таких країнах як США, СРСР, Велика Британія у період Другої світової війни був зумовлений військово-політичними цілями. Інші ж країни (ті, що розвиваються) намагалися забезпечити необхідний рівень енергетичної безпеки.

² Зокрема йдеться про: Війну на виснаження (1967-1970рр.) – кровопролитні війни між арабами та ізраїльтянами; Війну Судного дня (1973р.) – збройний конфлікт між Ізраїлем, з одного боку, та Єгиптом і Сирією, з іншого; агресію проти Лівану (1978р.) – збройний конфлікт між Ізраїлем, з одного боку, та Ліваном і Сирією, з іншого.

³ Йдеться про аварії на АЕС *Three Mile Island* (Пенсильванія, США), що сталася 28 березня 1979р. та Чорнобильській АЕС (Україна) 26 квітня 1986р.

та масштабах виробництва. Проте серед невикопних видів палива саме частка ядерної енергії у глобальному споживанні енергії хоча й повільно, але зростатиме – з 4,5% у 2014р. до 5,2% у 2035р. (діаграма “Споживання палива за видами”).



Сьогодні стрімко зростає кількість запитів до Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ), особливо від країн, що розвиваються, з приводу надання їм “технічних умов” на створення енергетичних систем, де ядерній енергетиці відводиться важливе місце⁴.

За даними *World Nuclear Association*, станом на 1 грудня 2015р., у світі експлуатувалося 439 атомних реакторів, 64 перебували у стадії будівництва, 159 плануються до будівництва і 329 знаходяться на стадії пропозицій до будівництва (таблиця “Діючі та споруджувані ядерні реактори в країнах світу”). Із загального числа реакторів, що знаходяться в експлуатації, 81,5% – реактори з легководним сповільнювачем і теплоносієм, 11,2% – реактори з важководним сповільнювачем і теплоносієм, 3,4% – легководні реактори з графітовим сповільнювачем і 3,4% – газоохолоджувальні реактори. Дві установки – швидкі реактори з рідкометалевим теплоносієм.

Пік пусків АЕС у світі припав на період II половина 1960-х - початок 1980-х років. Середній вік реакторів, що діють у світі, становить 28,5 років. А найстаріший із них, який розташований у Швейцарії, працює вже 45 років.

⁴ У 2014р. було розпочато будівництво трьох об'єктів: енергоблоку №2 Білоруської АЕС у Білорусі, “Барака-3” в ОАЕ і CAREM-25 в Аргентині.

Діючі та споруджувані ядерні реактори в країнах світу⁵

Країна	Генерація ядерної енергії, %	Діючі реактори		Реактор, що будується		Реактори, що планується побудувати		Реактори, що пропонуються побудувати	
		Од.	ГВт	Од.	ГВт	Од.	ГВт	Од.	ГВт
Країни Азії									
Китай	2,4	30	26,849	21	23,483	43	49,990	136	153,000
Індія	3,5	21	5,302	6	4,300	22	21,300	35	40,000
Південна Корея	30,4	24	21,677	4	5,600	8	11,600	0	0
Японія	0	43	40,480	3	3,036	9	12,947	3	4,145
Країни СНД									
Вірменія	30,7	1	0,376	0	0	1	1,050	0	0
Росія	18,6	34	25,264	9	7,968	25	27,755	23	22,800
Україна	49,4	15	13,107	0	0	2	1,900	11	12,000
Країни Північної Америки									
Канада	16,8	19	13,553	0	0	2	1,500	3	3,800
США	19,5	99	98,990	5	6,218	5	6,263	17	26,000
Країни Європи									
Бельгія	47,5	7	5,943	0	0	0	0	0	0
Болгарія	31,8	2	1,926	0	0	1	0,950	0	0
Велика Британія	17,2	16	9,373	0	0	4	6,680	9	11,220
Іспанія	20,4	7	7,002	0	0	0	0	0	0
Німеччина	15,8	8	10,728	0	0	0	0	0	0
Румунія	18,5	2	1,310	0	0	2	1,440	1	0,655
Словаччина	56,8	4	1,816	2	0,942	0	0	1	1,200
Словенія	37,2	1	0,696	0	0	0	0	1	1,000
Угорщина	53,6	4	1,889	0	0	2	2,400	0	0
Фінляндія	34,6	4	2,741	1	1,700	1	1,200	1	1,500
Франція	76,9	58	63,130	1	1,750	0	0	1	1,750
Чехія	35,8	6	3,904	0	0	2	2,400	1	1,200
Швеція	41,5	9	8,849	0	0	0	0	0	0
Швейцарія	37,9	5	3,333	0	0	0	0	3	4,000
Інші		20	14,010	12	12,800	30	30,640	83	89,750
Загалом		439	382,248	64	67,797	159	180,015	329	374,020

⁵ Складено за даними *World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements*. – World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements>.



Сьогодні з усіх діючих реакторів АЕС у світі майже половина експлуатуються у понадпроектний термін. Водночас стосовно 112 енергоблоків, згідно з даними МАГАТЕ, планується продовжити термін експлуатації. Як показує світовий досвід, продовження проектних термінів експлуатації енергоблоків зумовлене економічною доцільністю⁶ та забезпеченням необхідного рівня безпеки.

За даними *World Nuclear Association*, станом на 1 грудня 2015р., перше місце з виробництва ядерної енергії у світі посідають США (близько 100 ГВт), Франція (понад 60 ГВт), Японія (дещо більше 40 ГВт) та Китай (понад 26 ГВт). Одночасно, у структурі загального виробництва електроенергії на ядерну енергетику в ряді країн припадала чимала частка: у Франції – 76,9%, Словаччині – 56,8%, Угорщині – 53,6%, Україні – 49,4%, Бельгії – 47,5%, Швеції – 41,5%.

Передбачається, що у 2050р. ядерний потенціал складе близько 1 200 ГВт, забезпечуючи 24% світового електропостачання⁷. **Зростання ядерної енергетики можливе завдяки прискореному переходу на стандартні реактори III та IV поколінь, а також на реактори на швидких нейтронах (врізка “Реактори нового покоління”). Це дозволить вирішити проблеми як забезпечення країн урановою рудою, так і відпрацьованого ядерного палива⁸, підвищити економічні показники роботи та безпеку АЕС.**

Варто зауважити, що в усьому світі на АЕС постійно проводяться роботи з підвищення безпеки, які враховують уроки аварії на АЕС “Фукусіма”; а також охоплюють підвищення ефективності глибокоешелонованого захисту; зміцнення потенціалу аварійної готовності та реагування; підтримання та активізацію роботи з нарощування потенціалу; захист населення і довкілля від іонізуючих випромінювань. **Базовим елементом зі зміцнення інфраструктури ядерної безпеки, що проводиться державами та іншими відповідними організаціями⁹, є План дій МАГАТЕ з ядерної безпеки.**

⁶ Так, у США власники двох АЕС збираються подати заявку в Комісію з ядерного регулювання (NRC) США, яка б означала можливість продовження терміну експлуатації до 80 років. Регулятор Японії (NISA) розглядає можливість продовжити до 50 років термін експлуатації блока “МІНАМА-2”. А регулятори Бельгії погодили продовження до 50 років експлуатації блоків Ne№ 1-2 АЕС Doel.

⁷ Світовий обсяг відпрацьованого палива, що знаходиться на зберіганні продовжує зростати. У 2014р. з усіх АЕС відпрацьованого палива було скинуто близько 10 тис. т важкого металу (ВМ), у результаті чого сумарний обсяг його склав приблизно 380 500 т.

⁸ Technology Roadmap: Nuclear Energy – <https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6962-nuclear-roadmap.pdf>.

⁹ Зокрема, Всесвітня ядерна асоціація (*World Nuclear Association*), Міжнародна ядерна агенція (*International Energy Agency*), Європейська організація з ядерних досліджень (*European Organization for Nuclear Research*), Агенція з ядерної енергії (*Nuclear Energy Agency*) та інші.

РЕАКТОРИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Всі існуючі у світі ядерні реактори та реактори, що на цей час перебувають у стадії розробки, можна віднести до одного з чотирьох класів:

- *Реактори I покоління* – промислові реактори, розроблені у 1950-1960-х роках на базі військових реакторів. Ці реактори поступово виводяться з експлуатації.
- *Реактори II покоління* – цей клас реакторів сьогодні складають основу реакторного парку переважної більшості країн, які розвивають ядерну енергетику.
- *Реактори III покоління* – деякі реактори цього класу вже почали працювати на промисловій основі, але досвіду з їх використання ще замало.
- *Реактори IV покоління* – їх промислове використання очікується почати через 20-30 років.

Реактори III покоління характеризуються:

- зниженням капітальних витрат і скороченням терміну спорудження;
- більшим коефіцієнтом використання потужності та довшим терміном служби (типовий термін складає 60 років);

- простішою і надійнішою конструкцією, легкою в обслуговуванні та менш вразливою до експлуатаційних проблем;
- зниженою імовірністю аварій з розплавленням активної зони;
- мінімальним впливом на довкілля;
- більшим ступенем вигорання палива для зменшення об'єму відходів і потреби в паливі;
- використанням поглиначів, що згоряють для подовження терміну служби паливних елементів.

Реактори IV покоління будуть економічно ефективнішими, більш безпечнішими, вироблятимуть менше довгоживучих радіоактивних відходів та забезпечать вимоги до нерозповсюдження ядерних технологій і матеріалів. Дослідження та розробка реакторів IV покоління проводяться в рамках програми *Generation IV International Forum*, в якій беруть участь Аргентина, Бразилія, Велика Британія, Канада, Південна Корея, ПАР, США, Франція, Швейцарія, Японія і Євроатом, а також у рамках ініційованого МАГАТЕ Міжнародного проекту розробки інноваційних ядерних реакторів і паливних циклів (*INPRO*), членом якого, крім багатьох країн, є й Україна.

1.2. ГЕОГРАФІЯ РОЗВИТКУ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Сьогодні АЕС є у більш ніж 30 країнах світу, ще 30 країн планують у найближчому майбутньому побудувати нові АЕС. **Найбільшу кількість АЕС планується побудувати в країнах Азії, зокрема Китаї та Індії.**

Китай розглядає ядерну енергетику як важливу частину своєї довгострокової стратегії, прагнучи досягти стійкого економічного розвитку і скорочення викидів CO₂. Більшість існуючих енергоблоків Китаю побудовані на базі ядерних технологій з Франції, Канади, Росії та США¹⁰. Завдяки своєму досвіду у сфері безпечної та надійної експлуатації АЕС і випробуванням нових конструкцій реакторів III покоління Китай може посісти місце глобального гравця на ринку ядерних технологій.

Примітно, що **Китай активно інвестує в будівництво АЕС у світі.** Так, країна вкладе \$9 млрд. у будівництво АЕС (*Hinkley Point*) у **Великій Британії**, також китайська компанія *China National Nuclear Corp.* інвестує

¹⁰ У 2014р. Китай і США підписали угоду, згідно з якою американська компанія *Westinghouse Electric Co* побудує в Китаї чотири реактора III покоління за проектом *Westinghouse's AP-1000*.

\$14 млрд. у будівництво 4-го і 5-го енергоблоків АЕС в Аргентині. А 22 липня 2015р. Пекін і Тегеран уклали договір на будівництво двох АЕС на південному узбережжі Ірану. Враховуючи успіх Пекіна на іранському ринку, Китай може наздогнати Росію, ставши її головним конкурентом на близькосхідних ринках.

Схожа ситуація спостерігається в **Індії**, де частку ядерної енергетики до 2030р. планується збільшити у понад 7 разів – приблизно до 40 ГВт, і довести питому вагу ядерної генерації в енергобалансі країни до 25%.

Важливим є досвід **Росії**, на території якої у найближчому майбутньому планується побудувати 25 нових реакторів. Країна завершує розробку ядерного реактора IV покоління – реактор “Брест”¹¹. Всі реактори (33 енергоблоки), які сьогодні працюють у країні – звичайні реактори т.зв. відкритого (розімкнутого) паливного циклу, в результаті чого накопичуються радіоактивні відходи. Повністю ж вирішити цю проблему може **реактор нового типу, що діє по закритому (замкненому) циклу**.

Окремої уваги заслуговує розвиток атомної енергетики в **країнах ЄС**. Фактично, ядерна енергія, не дивлячись на катастрофу на японській АЕС “Фукусіма”, розглядається як екологічне джерело енергії поряд з ВДЕ. **Важливість ядерної енергетики відбивається у рішеннях на загальноєвропейському рівні, прийнятих у зв’язку з необхідністю скорочення до 2020р. викидів парникових газів на 20%**¹². Сьогодні ядерна енергетика представлена найбільше в Болгарії, Фінляндії, Чехії, Словенії, Швеції, Бельгії, Угорщини, Словаччині та Франції. У зазначених країнах частка виробництва електроенергії на АЕС становить 32-77%.

Серед країн-членів ЄС Франція вважається найбільшою ядерною державою, оскільки посідає друге місце у світі після США за кількістю діючих реакторів. Країна, незважаючи на наслідки катастрофи в Японії, продовжує як кількісно, так і якісно нарощувати ядерний енергетичний потенціал. Перша АЕС у Франції була побудована в 1956р., але лише після нафтового “шоку” 1970-х років¹³ її атомна енергетика поступово посіла провідне місце¹⁴. А спеціальний закон, прийнятий 13 липня 2005р., закріпив за ядерною енергетикою статус головного джерела енергії.

¹¹ Роботи над цим проектом почалися ще наприкінці 1980-х років. Їх веде розробник ядерних установок для підводних човнів НДІ *Енерготехніка*. Перший дослідний зразок реактора IV покоління “Брест-300” отримає потужність 300 МВт, серійні “Брест” будуть на 700-1 200 МВт.

¹² Europe 2020: Europe’s growth strategy – http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/europe_2020_explained.pdf.

¹³ 17 жовтня 1973р. розпочалася нафтова криза (також відома під назвою “нафтове ембарго”), коли арабські країни-члени ОПЕК, а також Єгипет і Сирія заявили, що не будуть постачати нафту країнам (насамперед США і країнам Західної Європи). Ці заходи підтримали Ізраїль під час Війни Судного дня (6-26 жовтня 1973р.) упродовж конфлікту з Сирією та Єгиптом. Наступним кроком стало зниження обсягів видобутку нафти країнами-членами ОПЕК, що спровокувало підвищення ціни на нафту із \$3 до \$12 за барель. Ця акція створила політичний тиск на світове співтовариство з метою зменшення підтримки Ізраїлю західними країнами.

¹⁴ Сьогодні в країні діє спеціальний Інститут радіозахисту та ядерної безпеки, який займається питаннями вивчення та експертизи ядерних ризиків і радіологічних наслідків. Створене у 2006р. Агентство з ядерної безпеки є незалежною адміністративною установою, покликаною забезпечити “прозорість” і безпеку атомної енергетики, захист персоналу та довкілля. У Франції діє також Національне агентство з використання радіоактивних відходів, яке з 1991р. забезпечує контроль за ядерними відходами на території країни і з 2004р. щорічно публікує їх географічний інвентарний перелік.

Зважаючи на завершення терміну експлуатації більшості АЕС у 2020р., в країні поступово оновлюється обладнання та активно реалізується програма побудови реакторів нового покоління, що відповідають вимогам економічної конкуренції, охорони довкілля та підвищеної безпеки.

Країною ж, що кардинально змінила вектор розвитку ядерної енергетики серед розвинутих країн ЄС, є **Німеччина**. 14 березня 2011р. Канцлер А.Меркель оголосила про перегляд стандартів безпеки для німецьких АЕС, і цю дату можна вважати початком радикальних змін у розвитку ядерної енергетики Німеччини. Тоді ж була створена Етична комісія розсіяної безпечного енергопостачання (*Ethics Commission for a Safe Energy Supply*), яка рекомендувала здійснити відхід країни від ядерної енергетики до 2021р. і зупинку реакторів¹⁵ (врізка “*Реакція країн Європи на аварію на АЕС “Фукусіма”*”).

РЕАКЦІЯ КРАЇН ЄВРОПИ НА АВАРІЮ НА АЕС “ФУКУСІМА”

Катастрофа на японській АЕС у березні 2011р. викликала широкий резонанс у всьому світі, зокрема:

- > у **Німеччині**, де лише за півроку до аварії було прийнято рішення про подовження терміну служби АЕС, в екстреному порядку зупинили сім реакторів, що були введені в експлуатацію до 1980-х років, а в червні 2011р. було вирішено не подовжувати термін експлуатації всіх АЕС країни;
- > уряд **Італії** у березні 2011р. оголосив рішення про запровадження річного мораторію на будівництво АЕС, а в червні на референдумі переважною більшістю голосів було заблоковано пропозицію уряду про відродження атомної енергетики;
- > уряд **Швейцарії** наприкінці травня 2011р. оголосив рішення про виведення з експлуатації до 2034р. усіх діючих АЕС і не будувати нових;
- > правляча коаліція у **Бельгії** восени 2011р. заявила про намір повернутися до плану зупинки атомних реакторів з 2015р.

Однак не всі європейські країни відреагували настільки рішуче. У більшості країн були проведені позапланові перевірки та експертизи діючих енергоблоків. Практично повсюди їх результати були задовільними. Восени того ж року уряд **Чехії** оголосив про намір підвищити до 2025р. частку електроенергії, яку виробляють АЕС, з 33% до 50%. Про продовження своїх програм розвитку АЕС заявили також уряди Великої Британії та Фінляндії.

За оцінками експертів МАГАТЕ, різниця у вартості електроенергії, яка могла б бути вироблена німецькими АЕС до кінця їх

нормативного терміну служби, і такої само кількості її з альтернативних джерел становить понад €45 млрд.¹⁶

Відкритим залишається питання, хто має нести ці витрати? Практика доводить, що головними платниками будуть споживачі електроенергії – бізнес і населення. Якщо держава компенсуватиме збитки енергетичним концернам, то постраждають платники податків. Якщо ж основні витрати ляжуть на енергоконцерни, то вони будуть компенсувати свої збитки за рахунок підвищення тарифів. Уберегти від сплеску цін на електроенергію в ідеалі мала б конкуренція на енергетичному ринку. Але це можливо лише за наявності вільних потужностей, що дозволять покрити дефіцит ресурсів, що виникає.

І тут виникає питання наявності у країни альтернативних генеруючих потужностей, достатніх для швидкого заміщення зупинених атомних реакторів. За відсутності таких виникає дефіцит потужностей, які можуть бути заповнені в першу чергу за рахунок імпорту електроенергії. Тим більше, компенсувати весь обсяг електроенергії, одержуваної на АЕС, електроенергією з ВДЕ неможливо. Тут виникають екологічні ризики (наприклад, за збільшення потужностей ТЕС).

Країна, яка бажає вийти з атомної енергетики, має знайти ефективне рішення таких складних і витратних проблем, як заміщення генеруючих потужностей, утримання внутрішніх цін на електроенергію і стримування зростання емісії парникових газів. Тому відмовитися від атомної енергетики можуть дозволити собі лише найбільш економічно благополучні країни.

¹⁵ Передбачалося відімкнути: “Графенрайфельд” – у 2015р., “Гунд-реммінген В” – у 2017р., “Філіппсбург 2” – у 2019р., “Гронде”, “Гундреммінген С” і “Брокдорф” – 2021р. Три останні, найпізніше побудовані АЕС “Ізар 2”, “Емсланд” і “Неккарвестхайм 2” мають бути відключені наприкінці 2022р.

¹⁶ Kerpler J.H. *The economic costs of the Nuclear Phase-Out in Germany.* – NEA News, 2012, Vol.30.1, pp.8-14.

Протилежною є ситуація у **країнах Східної Європи**. Згідно з наявними прогнозами, такі країни, як Польща, Румунія, Чехія, Словаччина, Болгарія, Словенія та Литва за певних обставин здатні стати локомотивами “атомного ренесансу” в ЄС, а **будівництво нових АЕС дозволить вирішити відразу кілька найважливіших завдань: отримати відносно недорогої електроенергію у значних обсягах, досягти встановлених екологічних нормативів та забезпечити енергетичну безпеку.**

У травні 2014р. Європейська Комісія прийняла нову Стратегію енергетичної безпеки, рекомендації якої стосувалися переважно забезпечення енергетичної безпеки. І в напрямі розвитку ядерної енергетики **ключовими елементами Стратегії ЄС стали:**

- підтримка досліджень і розробок у межах Рамкової програми ЄС “Горизонт 2020”, включно з питанням поводження з ядерними відходами;
- створення ядерно-енергетичного форуму за участю представників усіх відповідних соціально зацікавлених груп для здійснення діалогу стосовно можливостей і ризиків, пов’язаних з ядерною енергетикою;
- дослідження реакторів IV покоління, які використовують менше ресурсів і виробляють менше відходів. Подальші розробки у сфері керованого термоядерного синтезу (врізка “Про запуск найбільшого термоядерного реактора”).

ПРО ЗАПУСК НАЙБІЛЬШОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

10 грудня 2015р. німецькі вчені з Інституту плазми Макса Планка провели успішний запуск найбільшого (термоядерного реактора) стелларатора¹⁷ W7-X. Протягом 1/10 секунди вдалося домогтися стійкої термоядерної реакції і виробити більше енергії, ніж було витрачено. **W7-X не створений для виробництва енергії.** Знання, отримані з його допомогою, дають можливість побудувати стелларатори наступного покоління з довшою тривалістю термоядерної реакції.

Термоядерний синтез є набагато безпечнішим та не має ядерних відходів, порівняно з ядерним розпадом, на принципі якого зараз працюють усі АЕС. Але невирішеним питанням на сьогодні залишається підтримка термоядерної реакції з температурою плазми в установці близько 100 млн. градусів та утримання плазми.

У грудні 2015р. в Парижі під час **XXI конференції країн-учасниць Рамкової конвенції ООН про зміну клімату** атомну енергетику було:

- визнано як низьковуглецеву технологію виробництва електроенергії (*to recognise nuclear energy as a low carbon energy option*);
- включено поряд з іншими низьковуглецевими технологіями до схем фінансування діяльності із запобігання змінам клімату.

¹⁷ **Стелларатор** – один з типів термоядерних реакторів. Він складається з надпотужних електромагнітів, які утримують високотемпературну плазму.

1.3. РЕСУРСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗВИТКУ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У СВІТІ

Виробництво ядерного палива являє собою непростий, багатоступеневий та тривалий процес, який складається з наступних основних стадій: видобуток уранової руди, конверсія, ізотопне збагачення, фабрикація.

Видобуток уранової руди. Згідно з даними *World Nuclear Association*, основні запаси урану (97%) зосереджено у 16 країнах світу, з них в Австралії – 1 706,1 тис.т, Казахстані – 679,3 тис.т і Росії – 505,9 тис.т. Запаси зазначених трьох країн становлять 50% світових (таблиця “Розвідані запаси урану у світі”).

За інформацією Ядерного енергетичного агентства ОЕСР (*Nuclear Energy Agency OECD*), наявних ресурсів урану у світі за нинішнього рівня споживання вистачить на 700 років, якщо використовувати відкритий ядерний паливний цикл і реактори на теплових нейтронах; на 21 тис. років – якщо використовувати замкнений ядерний паливний цикл з реакторами на швидких нейтронах¹⁹.

Усі 439 реакторів, що наразі працюють у світі, щорічно споживають близько 65 тис. т урану. Відомості, надані *World Nuclear Association*, свідчать, що світовий річний видобуток урану кожен наступний рік зростає, і в останні кілька років у середньому становив приблизно 58 тис. т (близько 87% поточних світових потреб). Решта цієї сировини поповнюється за рахунок складських запасів (конверсійний уран), відпрацьованого палива та імпорту. Провідними видобувниками урану сьогодні є Казахстан, Австралія та Канада (таблиця “Видобуток урану у світі”, с.14).

Розвідані запаси урану у світі (2013р.) ¹⁸		
Країна	тонн	Частка у світовому запасі, %
Австралія	1 706,100	28,9
Казахстан	679,300	11,5
Росія	505,900	8,6
Канада	493,900	8,4
Нігер	404,900	6,9
Намібія	382,800	6,5
ПАР	338,100	5,7
Бразилія	276,100	4,7
США	207,400	3,5
Китай	199,100	3,4
Монголія	141,500	2,4
Україна	117,700	2,0
Узбекистан	91,300	1,5
Ботсвана	68,800	1,2
Танзанія	58,500	1,0
Йорданія	40,000	0,7
Інші країни	191,500	3,2
Загалом у світі	5 902,900	100

¹⁸ World Uranium Mining Production. – <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production>.

¹⁹ Ядерна енергетика в Україні. – Національна безпека і оборона, 2008, №3, 60 с.

Видобуток урану у світі, т²⁰

Країна	2007р.	2008р.	2009р.	2010р.	2011р.	2012р.	2013р.	2014р.
Казахстан	6 637	8 521	14 020	17 803	19 451	21 317	22 451	23 127
Канада	9 476	9 000	10 173	9 783	9 145	8 999	9 331	9 134
Австралія	8 611	8 430	7 982	5 900	5 983	6 991	6 350	5 001
Нігер	3 153	3 032	3 243	4 198	4 351	4 667	4 518	4 057
Намібія	2 879	4 366	4 626	4 496	3 258	4 495	4 323	3 255
Росія	3 413	3 521	3 564	3 562	2 993	2 872	3 135	2 990
Узбекистан	2 320	2 338	2 429	2 400	2 500	2 400	2 400	2 400
США	1 654	1 430	1 453	1 660	1 537	1 596	1 792	1 919
Китай	712	769	750	827	885	1 500	1 500	1 500
Україна	846	800	840	850	890	960	922	926
Інші країни	1 581	1 646	1 693	2 192	2 501	2 598	2 648	1 909
Світ	41 282	43 764	50 772	53 671	53 493	58 394	59 370	56 217
Задоволення світового попиту, %	64	68	78	78	85	86	92	85

У Казахстані уран добувають переважно методом ПВ (підземного вилуговування). Наразі **Казахстан не має жодної АЕС на своїй території, але країна може стати гравцем на ринку продажу ядерного палива – “паливних касет”**, без яких жоден атомний реактор не вироблятиме ні електричної, ні теплової енергії.

Понад половини видобутку урану припадає на державні компанії. Відповідно до даних *World Nuclear Association*, у 2014р. на 11 компаній припало 88% світового видобутку урану, зокрема: на казахську компанію *KazAtomProm* (25%), канадську *Cameco* (16%), російську *ARMZ-Uranium One* (12%), французьку *AREVA* (12%), австралійську *BHP Billiton* (6%), китайську *CNNC&CGN* (5%), британські компанії *Paladin* та *Rio-Tinto* (по 4%) та узбецьку *Navoi* (4%).

Конверсія. Конверсія є технологічним процесом, що передбачає перетворення закису-окису урану на гексафторид природного урану (UF_6) для очистки від домішок та подальшого його використання на стадії збагачення. На сьогодні основними потужностями з конверсії урану володіють такі держави: Росія (32% світових потужностей з конверсії урану), США та Франція (по 20%), Канада (18%), Велика Британія (9%).

Ізотопне збагачення урану. Збагачення урану є найбільш секретною, вартісною (з урахуванням конверсії) і складною частиною ядерного циклу. Лише невелике коло країн мають технологію та устаткування для розділення уранових ізотопів. Для проведення процесу збагачення, природний

²⁰ World Uranium Mining Production, 22 May, 2015 – World Nuclear Association.

уран переходить у форму гексафториду. У результаті збагачення урану за ізотопом U-235 утворюються збагачений урановий продукт (ЗУП) і збіднений гексафторид урану (ЗГФУ). ЗУП передається споживачеві, а ЗГФУ направляється на зберігання з подальшою переробкою.

Найбільші потужності з виробництва зосереджені в Росії (47% ринку послуг зі збагачення), США (11%), Франції (21%). Також промислові потужності мають Китай, Нідерланди, Німеччина та Велика Британія (сумарно 17%).

Фабрикація. Фабрикація ядерного палива (фабрикація ТВЗ) – технологічний процес, що передбачає отримання у якості кінцевого продукту ТВЗ та охоплює такі етапи, як перетворення збагаченого гексафториду урану UF_6 у порошок двоокису урану UO_2 , пресування паливних таблеток та їх спікання у керамічне паливо, спорядження твелів, виготовлення конструкційних елементів ТВЗ та безпосередньо збирання (фабрикацію) ТВЗ.

Виробництво ядерного палива здійснюється досить обмеженою кількістю виробників – *Westinghouse* (США), *General Electric* (США), *AREVA* (Франція), *Mitsubishi Nuclear Fuel (MNF)* (Японія), *Nuclear Fuel Industries (NFI)* (Японія), *Global Nuclear Fuel (GNF)* (Японія) та *ТВЭЛ* (РФ) – які володіють необхідними технологіями, мають достатні інвестиційні ресурси для здійснення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) та досвідчений технічний персонал.

Поводження з відпрацьованим паливом. Для поводження з відпрацьованим паливом ядерних реакторів використовуються дві стратегії. **Відпрацьоване паливо зберігається і згодом переробляється з метою отримання матеріалу** (урану і плутонію), придатного до використання під час виготовлення нового палива, **або воно зберігається у глибинному геологічному сховищі в очікуванні поховання.** Станом на грудень 2014р., у світі налічувалося 467 сховищ і 154 пункти захоронення відходів. Такі країни як Індія, Китай, Росія, Велика Британія і Франція переробляють відпрацьоване паливо, тоді як Фінляндія та Швеція віддають перевагу похованню відпрацьованого палива²¹.

1.4. ЦІНИ НА УРАН

Світова ціна на уранову руду з середини 1970-х років залишається відносно низькою. Водночас, загалом для цін на уран характерною є значна волатильність. Однак, **головними факторами, які можуть впливати на зміни цін на уран є:**

> **різниця між видобутком і споживанням.**

Сьогодні у світі потреби в сировині для виробництва ядерного палива перевершують видобуток урану. Різниця покривається складськими запасами вторинної сировини, виснаження якої за збільшення світового попиту може призвести до різкого дефіциту урану і як наслідок – до стрибка цін;

²¹ Обзор ядерных технологий: 2015. – International Atomic Energy Agency, https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC59/GC59InfDocuments/Russian/gc59inf-2_rus.pdf.

➤ **обмеженість запасів сировини.**

Враховуючи зростання потреб у сировині низки країн, які мають намір будувати реактори, можна зробити висновок, що у найближче століття світові запаси урану будуть на межі виснаження, що позначиться і на його ціні;

➤ **будівництво нових АЕС.**

Масове будівництво нових АЕС збільшує споживання уранового палива;

➤ **закритість уранового ринку.**

Структура уранового ринку є дуже специфічною. Якщо більшість металів мають біржові ціни, то 90% урану продається за довгостроковими контрактами між постачальниками і споживачами²². Лише 5-8% урану, що споживається на АЕС, продаються на т.зв. спотовому ринку;

➤ **зміна курсу долара США.**

Ринкова ціна на уран розраховується як відношення кількості доларів США за один американський фунт $U_3O_8^{23}$. Відповідно, зміна курсу долара США призведе до зміни ціни на світовому ринку урану;

➤ **нерівномірність розподілу.**

Фактор нерівномірного розподілу уранової руди відіграє значну роль у ціноутворенні. Наявність регіонів з різною щільністю залягання уранових руд призводить до формування певного попиту і пропозиції на ринку урану. Виявлення нових родовищ і виснаження старих призводить до зміни ситуації на ринку, що, своєю чергою, позначається на динаміці руху цін.

➤ **перехід на нові технології.**

Перехід на новий паливний цикл, що дозволяє використовувати відпрацьоване паливо без додаткової хімічної переробки, може різко змінити динаміку розвитку цін на уран. Однак масове застосування таких технологій можливе не раніше 2020р., а повна реструктуризація сучасної системи ядерної енергетики спричинить колосальні матеріальні витрати;

➤ **форс-мажорні обставини.**

Одним з яскравих прикладів впливу форс-мажорних обставин на урановий ринок є аварія 22 жовтня 2006р., яка спричинила затоплення канадського рудника *Cigar Lake*²⁴. Це призвело до різкого падіння виробу урану та різкого стрибка цін.

²² Урановий ринок є досить специфічним: понад 90% цього сектору контролюється кількома великими уранодобувними компаніями. Прямий продаж урану перебуває під суворим контролем міжнародних організацій. Через свою закритість урановий ринок є надзвичайно стабільним, а відтак – перспективним об'єктом для інвестицій.

²³ Американський фунт – одиниця вимірювання маси, що дорівнює 0,453592 кг.

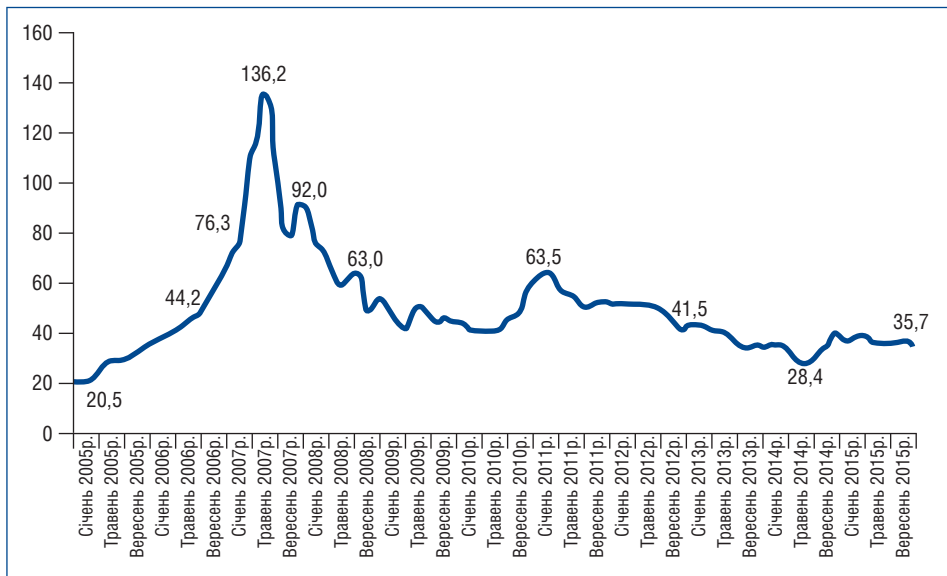
²⁴ Людський фактор став причиною аварії на канадському руднику. Зокрема, інженери компанії *Samesco* не змогли герметично закрити одну з великих шахтних перегородок, і почалося надходження води до шахти зі швидкістю 1 500 м³ на годину.

З середини 1990-х років ціна за фунт U_3O_8 становила приблизно \$10. Від початку 2000-х років ціна поступово зростала і на кінець 2004р. підвищилася до \$20 за фунт уранового концентрату. Упродовж 2005р. ціна за спотовими контрактами зростає з \$20 до \$35. У 2006р. зростання продовжилося і у III кварталі був перевищений рівень у \$45, а у IV – \$60. Далі відбулося зростання з \$75 до більш ніж \$135 за американський фунт (діаграма “Ціни на U_3O_8 за спотовими контрактами”).

Стрімке зростання цін з середини 2006р. відбивало стурбованість споживачів стосовно браку сировини. За даними *Ux Consulting*, відбулося значне скорочення видобутку на багатьох родовищах: канадському McLean Lake (*Areva* і *Cameco*) і Rabbit Lake (*Cameco*), намібійському Roessing-Mine (*Rio Tinto*), австралійських Olympic Dam (*BHP Biliton*) і Ranger (*Energy Resources of Australia*). **Зниження запасів урану за активізації попиту посилили побоювання щодо браку палива в середньостроковій перспективі і призвели до вибухового зростання спотових цін на природний уран.**

На цей момент на ринку урану спостерігається цінове затишшя, але, враховуючи розвиток ринку в середньостроковій перспективі, найбільші світові виробники вже розпочали реалізацію цілого ряду проектів щодо збільшення видобутку. І від успіху реалізації цих проектів залежатиме динаміка цін на уран у найближчому майбутньому.

Ціни на U_3O_8 за спотовими контрактами, \$/lb²⁵



²⁵ Джерело: Uranium Price. – Сайт Cameco, <https://www.cameco.com/invest/markets/uranium-price>.

Проаналізувавши загальні тенденції розвитку світової ядерної енергетики можна зробити наступні висновки:

- **масштабні плани з будівництва об'єктів ядерної енергетики** (переважно в Китаї, Індії, Південній Кореї та Росії) свідчать про розширення її присутності у світовій енергетиці у прогнозованому майбутньому;
- не зважаючи на певні екологічні ризики, пов'язані з безпекою **ядерної галузі**, вона змогла зайняти відповідну конкурентну позицію в енергетичному секторі, у більшості випадків завдяки відносно позитивним технічним та екологічним показникам;
- **ціна на ядерну енергію меншою мірою залежить від зовнішніх факторів** порівняно з вуглеводневими джерелами;
- **розвиток ядерної енергетики у світі стимулюється можливістю подвійного використання ядерних матеріалів** (для вироблення енергії та зброї масового ураження);
- **ядерна енергія є низьковуглецевою та ефективною з точки зору витрат.**

Однак, попри очевидні об'єктивні вигоди від використання та розвитку ядерної енергетики загалом, залишаються й проблеми, зокрема захоронення відходів (особливо високоактивних і радіоактивних), які ускладнюють подальший розвиток цієї сфери. Сьогодні існують шляхи вирішення цих проблем, однак у більшості країн поки що не досягнуто консенсусу з цього питання.

Отже, невизначеність керівництва ряду країн стосовно розвитку ядерної енергетики, обмежена подача інформації для громадськості стосовно плю-

сів і мінусів використання ядерної енергії, а також побоювання неможливості відвернення наслідків можливих аварій на АЕС зумовлюють спотворене сприйняття суспільствами ядерної енергетики загалом та АЕС зокрема, а відтак – гальмує розвиток сфери ядерної енергетики.



2. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

2.1. ВИДОБУТОК І ПЕРЕРОБКА УРАНОВОЇ РУДИ В УКРАЇНІ

За розвіданими запасами урану Україна посідає перше місце в Європі та 10 – у світі, однак видобуток уранової сировини становить лише 40% вітчизняних потреб (800-960 т на рік), необхідних для виробництва палива для АЕС.

Українські поклади урану сконцентровані у Дніпропетровській і Кіровоградській областях. **З 1945р. і по нині уран тут добували на 11 родовищах**, які сьогодні мають різний статус. Чотири найстаріших (Первомайське, Жовторіченське, Девладово та Братське) вичерпалися у 1940-1970-х роках. Ще три (Сафонівське, Северинське та Квітневе) або законсервовані, або не розробляються через брак коштів. **Активно нині розробляються Мічуринське, Ватутінське, Центральне та Новоконстантинівське родовища поблизу Кіровограда.** Українські родовища мають низку особливостей, які забезпечують конкурентну здатність виробленого уранового концентрату:

- великі розміри уранових покладів, що дозволяє застосовувати високопродуктивні системи видобутку;
- висока міцність вміщуючих порід, що дозволяє проходити гірничі виробки без кріплення та проходити очисні блоки великих обсягів;
- невеликі водні притоки до гірничих виробок;
- досить прості заходи радіаційного захисту завдяки невеликому вмісту урану в рудах.

Метод ПВ¹, який застосовують в Україні, визнаний МАГАТЕ як самий екологічно чистий та безпечний спосіб розробки родовищ. Цей метод відрізняється від традиційних способів високим рівнем ресурсозбереження та економічністю, дозволяє знизити рівень забруднення довкілля. Після видобування таким способом не залишається відвалів і покинутих шахт.

На сьогодні повний цикл робіт з видобутку та переробки уранових руд здійснює лише одне підприємство – ДП “СхідГЗК”, до складу якого належать дві діючі шахти – Смолінська та Інгульська, які за своїм енергетичним еквівалентом дорівнюють 60 вугільним шахтам. Смолінська шахта розробляє Ватутінське родовище, Інгульська – Мічуринське та Центральне.

¹ Очікується, що в середньостроковій перспективі частка виробництва урану методом ПВ, який як і раніше залишатиметься домінуючим методом, продовжуватиме зростати. **За даними World Nuclear Association, у 2013р. частка видобутку методом ПВ у світовому виробництві складала приблизно 46%.**

Щорічні потреби українських АЕС у концентраті урану складають близько 2 400 т, тоді як його виробництво ДП “СхідГЗК” на 2015р. заплановано в обсязі 1 200 т. Сьогодні Україна зокрема збагачує свій урановий концентрат на потужностях *Международного центра по обогащению урана* (м.Ангарськ Іркутської області, РФ).

Одночасно Україна веде переговори з Казахстаном і Австралією про закупівлю концентрату природного урану. Також влітку 2015р. *AREVA* (Франція), запропонувавши найменшу ціну, виграла конкурс на поставку збагаченого уранового продукту, який використовуватиметься для виробництва паливних збірок *Westinghouse*.

2.2. ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ЯДЕРНОГО ПАЛИВА ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Атомна галузь у період після 2011р.² залишалася залежною від російського монополіста як постачальника базових реакторних технологій. Сьогодні проблема диверсифікації та максимальної локалізації в ядерних технологіях зрушила з мертвої точки: **НАЕК “Енергоатом” згортає співробітництво з російськими контрагентами за багатьма напрямками – від виготовлення комплектуючих для автоматизованих систем керування технологічним процесом до будівництва в Україні власного Централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП).**

Вважається, що атомна енергетика стала шансом України в боротьбі з енергетичною залежністю від Росії. Але в атомній енергетиці Україна практично повністю залежить від сусідньої країни – сьогодні українські АЕС на 98% працюють на російському паливі. Переробкою та зберіганням ВЯП з українських АЕС також займається Росія, за що Україна платить близько \$200 млн. щорічно.

У зв’язку з цим упродовж 2014-2015рр. Україна почала кардинально змінювати вектор розвитку енергетичного сектору, знижуючи тим самим залежність від РФ, у т.ч. й в ядерній енергетиці:

- 30 грудня 2014р. було підписано контракт з американською *Westinghouse* про поставки ядерного палива на українські реактори, що стало кроком на шляху до диверсифікації поставок ядерного палива та відповідає національним інтересам України. Успішне завершення дослідно-промислової експлуатації дозволить Україні отримати альтернативного постачальника та потіснити російську компанію “ТВЭЛ”;
- 26 січня 2015р. у Брюсселі ДП “НАЕК “Енергоатом” і *Holtec International* (США) підписали додаткову угоду до контракту на будівництво в Україні ЦСВЯП³. Безпечно зберігаючи ВЯП, можна створити

² Саме в цей час була згорнута програма співпраці з *Westinghouse* (США) з постачання ядерного палива. Крім того, не відбулося будівництво стратегічного об’єкта з виробництва ядерного палива для реакторів типу ВВЕР-1000, створеного спільно з російською компанією на основі технології, запропонованої ВАТ “ТВЭЛ”. За російською стороною було закріплено монопольне право на ключові елементи ядерно-паливного циклу, у т.ч. виробництво паливних таблеток.

³ Спорудження власного сховища призведе до значної економії коштів, сприятиме створенню робочих місць та соціальному розвитку території, а також полегшить відновлення господарської діяльності частини цієї зони. ЦСВЯП сьогодні експлуатуються в Іспанії, Швеції та Фінляндії.

стратегічний запас палива для майбутнього інноваційного розвитку ядерної енергетики в Україні. ЦСВЯП виконуватиме функцію вне-реакторного сховища відпрацьованого палива реакторів РБМК-1000 і ВВЕР-440 Южно-Української, Рівненської та Хмельницької АЕС. Цей об'єкт буде побудований у зоні відчуження Чорнобильської АЕС і сприятиме екологічній реабілітації зони відчуження і відновленню господарської діяльності на деяких територіях у межах цієї зони. Введення в експлуатацію сховища планується у 2017р.

2.3. РОБОТА ДІЮЧИХ АЕС ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ НОВИХ ПОТУЖНОСТЕЙ

Україна належить до кола держав, що мають потужну ядерну енергетику. За підсумками 10 місяців 2015р., частка ядерної електроенергії у загальному виробництві електроенергії склала 57%.

Всього ж в Україні експлуатують 15 енергоблоків загальною потужністю 13,835 ГВт на чотирьох АЕС: 6 – на Запорізькій, 4 – на Рівненській, 3 – на Южно-Українській та 2 – на Хмельницькій. 12 із них введено в експлуатацію кілька десятиліть тому, ще за часів СРСР. Відповідно, їх проектні (30-річні) експлуатаційні терміни добігли кінця або близькі до закінчення⁴. Відповідно до цього, 8 грудня 2015р. колегія Держатомрегулювання ухвалила рішення подовжити на 10 років термін експлуатації окремих енергоблоків (таблиця “Подовження експлуатації енергоблоків українських АЕС”, с.22).

Крім сценарію пролонгації, іншими варіантами поводження з енергоблоками є:

- **демонтаж** (негайне вивільнення території);
- **безпечне зберігання** (відкладений демонтаж);
- **саркофаг**.

Однак закриття енергоблоків можливе лише за умови одночасного створення адекватних за обсягами генеруючих потужностей.

Можливими є два варіанти:

1. Будівництво нових АЕС.
2. Створення заміщувальних енергогенеруючих потужностей: теплових, гідроенергетичних, нетрадиційних (вітрова, сонячна енергія та ін.).

Сама ж пролонгація відбувається наступним чином: виконується оцінювання технічного стану обладнання, трубопроводів, будівель і споруд. Це необхідно для забезпечення безпечної експлуатації в понадпроектний період. Після чого застарілі елементи системи замінюються новими, більш безпечними і продуктивними.

⁴ Не дивлячись на довгий строк експлуатації вітчизняних АЕС, за експертними оцінками МАГАТЕ, досягнутий сьогодні рівень безпеки українських АЕС відповідає рівню безпеки того ж покоління АЕС, що експлуатуються в країнах ЄС та інших країнах з розвинутою ядерною енергетикою.

Подовження експлуатації енергоблоків українських АЕС⁵

Назва АЕС	№ енерго-блока	Електрична потужність, МВт	Тип	Дата введення в експлуатацію	Проектна дата закінчення терміну експлуатації	Діяльність НАЕК з подовження експлуатації
Запорізька	1	1000	В-320	10.12.1984р.	23.12.2015р.	Триває
	2	1000	В-320	22.07.1985р.	19.02.2016р.	Триває
	3	1000	В-320	10.12.1986р.	05.03.2017р.	Розпочато
	4	1000	В-320	18.12.1987р.	04.04.2018р.	Розпочато
	5	1000	В-320	14.08.1989р.	27.05.2020р.	Заплановано
	6	1000	В-320	19.10.1995р.	21.10.2026р.	Заплановано
Южно-Українська	1	1000	В-302	31.12.1982р.	02.12.2013р.	Термін експлуатації продовжено до 02.12.2023р.
	2	1000	В-338	09.01.1985р.	12.05.2015р.	Триває
	3	1000	В-320	20.09.1989р.	10.02.2020р.	Заплановано
Рівненська	1	420	В-213	22.12.1980р.	22.12.2010р.	Термін експлуатації продовжено до 22.12.2030р.
	2	415	В-213	22.12.1981р.	22.12.2011р.	Термін експлуатації продовжено до 22.12.2031р.
	3	1000	В-320	21.12.1986р.	11.12.2017р.	Розпочато
	4	1000	В-320	10.10.2004р.	07.06.2035р.	Не визначено
Хмельницька	1	1000	В-320	22.12.1987р.	13.12.2018р.	Розпочато
	2	1000	В-320	07.08.2004р.	07.09.2035р.	Не визначено

⁵ Атомна пролонгація: скільки ще прослужать українські реактори. – Сайт Forbes.ua, <http://forbes.net.ua/ua/nation/1407605-atomna-prolongaciya-skilki-shche-prosluzhat-ukrayinski-reaktori>.

Важливим кроком розвитку атомної енергетики України залишається **добудова енергоблоків №3,4 ХАЕС**, готовність яких оцінюється у 75% (№3) і 25% (№4). Враховуючи неможливість подальшого співробітництва з РФ за цим проектом⁶, єдиним альтернативним виробником відповідного обладнання залишається компанія *ŠKODA JS a.s.*⁷ **Вартість побудови двох енергоблоків оцінюється у €3,7 млрд., включно з першим завантаженням палива на €296 млн.** Передбачається, що побудова двох блоків ХАЕС здійснюватиметься за власний кошт ДП НАЕК “Енергоатом” і за кошти, які може виділити чеська *ŠKODA* у вигляді кредиту.

Хоча є й інший варіант – проект “Енергетичний міст Україна – ЄС”⁸. Суть його полягає в тому, що блок №2 ХАЕС виводиться з української енергосистеми й під’єднується до європейської двома лініями 750 кВт кожна з виходом у польський Жешув.

Якщо ж Україна зволікатиме з побудовою Хмельницької АЕС, на європейському ринку електроенергії її може випередити Білоруська АЕС (по проекту “Енергетичний міст Україна – Європейський Союз” по лінії ХАЕС – Жешув (Польща)), будівництву якої зараз веде російський “*Росатом*”.

Перспективи побудови реакторів нового покоління в Україні

Сьогодні всі енергоблоки на українських АЕС обладнані реакторами типу ВВЕР російського виробництва. **В Україні після 2030р. на стадію комерційної реалізації можуть вийти реактори IV покоління, які базуватимуться на еволюційних проектах або будуть побудовані на принципово нових технологіях – швидких нейтронах, що працюватимуть на суміші уранового та плутонієвого палива.**

Виходячи з позицій енергетичної безпеки, вважається доцільним диверсифікувати поставки реакторів для українських АЕС за рахунок **використання як альтернативного варіанта, наприклад, європейського реактора PWR, американського AP-1000 або канадського CANDU** (врізка “*Реактори нового покоління*”, с.24). Для цього Україні необхідно брати участь у міжнародних проектах (насамперед з ЄС, наприклад, з Францією (головний ініціатор), Японією, Чехією, Угорщиною та Словаччиною) з розробки типових енергоблоків реакторів на швидких нейтронах.

⁶ Міжурядову угоду про співробітництво у будівництві енергоблоків №3, 4 ХАЕС було підписано між Україною і РФ 9 червня 2010р. Однак, за п’ять років жодних практичних дій з боку сторін так і не відбулося. КМУ 8 липня 2015р. звернувся до ВРУ з проханням невідкладно денонсувати Угоду з Росією з побудови блоків ХАЕС.

⁷ *ŠKODA JS a.s.* – багаторічний партнер французької *AREVA*, прямого конкурента “*Росатома*” на світовому ринку послуг зі спорудження нових енергоблоків АЕС.

⁸ 17 березня 2015р. між НАЕК “Енергоатом” та польською компанією *Polenergia International* підписано Меморандум щодо реалізації проекту “Енергетичний міст Україна – Європейський Союз”. Проектом передбачено введення в експлуатацію повітряної лінії 750 кВт Хмельницька АЕС (ХАЕС)-Жешув (Польща) та залучення інвестицій у побудову енергоблоків №3 і №4 ХАЕС. Загальний термін реалізації проекту – до 2021р.

РЕАКТОРИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

ТЕХНОЛОГІЇ PWR. До цих реакторів відносяться: *European Pressurized water Reactor (EPR)* – реактор, розроблений компанією *AREVA* на основі французької та німецької найновішої конструкції II покоління, а також *APWR (Mitsubishi)*, *AP-1000 (Westinghouse)*, корейські *KSNP* та *APR-1400 (KEPCO)*, китайський *NP-1000 (China National Nuclear Corporation)*.

Перевагами реакторів цього типу відносно інших є:

- > близькість технологій до технологій ВВЕР, що дозволяє використовувати досвід експлуатації, підготовлені кадри, науково-технічний та частково виробничий потенціал, які є в Україні;
- > високий ступінь безпеки, який є результатом досвіду експлуатації багатьох ядерних реакторів цього типу II покоління досить довгий період часу;
- > майданчики для будівництва можуть бути вибрані на території вже існуючих АЕС;
- > можливість адаптації ядерного палива, в разі побудови заводу з виробництва ядерного палива в Україні по технології ВВЕР.

Головними недоліками є:

- використання тепловими ядерними реакторами урану-235, запасів якого у світі вистачить лише на 50 років;
- накопичення ядерних відходів, проблему захоронення яких перекладається на майбутні покоління.

Реактори цього типу будуються у США, Китаї, Великій Британії та інших країнах.

ВАЖКОВОДНІ РЕАКТОРИ. Основним представником реакторів цього типу є канадські реактори *ACR-700* – розвиток конструкції *CANDU (Atomic Energy of Canada Limited)*.

Перевагами реакторів цього типу є:

- > використання природного урану без його попереднього збагачення;
- > значна питома потужність;
- > глибоке вигорання ядерного палива за мінімальної його витрати;
- > низька паливна складова вартості електроенергії;
- > такі реактори без істотних переробок проекту можуть, у принципі, “спалювати” відпрацьоване ядерне паливо реакторів PWR/ВВЕР, яке містить 0,9% урану-235 і 0,6% плутонію, тим самим збільшуючи об’єм доступних енергоносіїв, зменшуючи кількість ВЯП PWR/ВВЕР, підвищуючи ефективність використання ядерного палива.

Головними недоліками є:

- позитивний коефіцієнт реактивності (за заявами канадських розробників в останніх розробках ядерних реакторів цей недолік було усунуто);
- використання в якості охолоджувача важкої води, яка суттєво збільшує вартість проекту та є токсичною;
- відсутність в Україні досвіду експлуатації таких ядерних реакторів, відповідних кадрів і допоміжних виробництв.

Реактори цього типу є в Канаді, Індії, Китаї, Аргентині, Румунії, Пакистані.

РЕАКТОРИ З ГАЗОВИМ ТЕПЛОНОСІЄМ.

Видами цих реакторів є: (1) високотемпературні реактори з газоподібним теплоносієм *PBMR*, *HTGR* та (2) надвисокотемпературний реактор *VHTR*. Кілька країн (зокрема, Росія, США, Франція, Японія) крім *PBMR* беруть участь у розробці модульного газотурбінного гелієвого реактора *GT-MHR* малого розміру. **Ці реактори поки що не здобули широкого розповсюдження, тому їх впровадження в Україні може розглядатися в більш далекій перспективі, коли будуть підтверджені їх технологічні та економічні переваги.**

Огляд розвитку ядерної галузі України дає змогу зробити висновок, що для забезпечення її стабільного функціонування доцільно:

- ▶ збільшити частку АЕС в енергобалансі шляхом розширення пропускної спроможності ЛЕП для видачі потужності АЕС і реконструкції відкритих розподільчих споруд 750кВт РАЕС, ХАЕС та ЗАЕС;
- ▶ відновити передбачений Законом України “Про впорядкування питань, пов’язаних із забезпеченням ядерної безпеки” механізм акумулювання коштів фінансового резерву для підготовки до майбутнього зняття з експлуатації атомних енергоблоків;
- ▶ продовжити терміни виконання Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків АЕС на період з 2017-2022рр.

Базовими завданнями атомної енергетики України є:

- ▶ Завершення програми дослідно-промислової експлуатації ядерного палива відповідно до Виконавчої угоди між Урядом України та Урядом США щодо реалізації Проекту кваліфікації ядерного палива для України від 5 червня 2000р. та контракту між ДП “НАЕК “Енергоатом” та компанією *Westinghouse*.
- ▶ Постачання та промислова експлуатація ядерного палива компанії *Westinghouse* для щорічного перевантаження трьох енергоблоків ВВЕР-1000 (тобто 15 партій палива).
- ▶ Подовження терміну експлуатації енергоблоків №2 ЮУАЕС та №№1,2,3 ЗАЕС, №3 РАЕС та №1 ХАЕС з 2018р., №3 ЮУАЕС з II половини 2019р., №4 ЗАЕС з 2018р., №5 ЗАЕС з II половини 2019р., №6 ЗАЕС з II половини 2026р., ХАЕС №2, РАЕС №4 після 2030р.
- ▶ Спорудження енергоблоків на неросійській технологічній базі на майданчиках діючих АЕС і нових майданчиках.
- ▶ Проведення незалежного аудиту ядерного сектору (прозора публічна процедура встановлення тарифу, публікація інформації про проведені тендери, виконання робіт тощо).

1. Не дивлячись на аварію на АЕС «Фукусіма» у 2011р., ядерна енергетика продовжує залишатися одним з перспективних напрямів. Порівняно з традиційними джерелами енергії ядерна енергетика:

- має більш **високу продуктивність** (зокрема ядерне паливо)¹;
- **не створює парниковий ефект**, оскільки вважається найчистішим за екологічними стандартами способом генерування енергії. Щорічно АЕС в Європі дозволяють уникнути емісії 700 млн. т CO₂²;
- можливість **повторного використання палива (після регенерації)**. Розщеплений (уран-235) може бути використаний знову (на відміну від золи і шлаків органічного палива).

2. Ядерна енергетика за економічною ефективністю залишатиметься у довгостроковому періоді конкурентоспроможною порівняно з іншими видами генерації, тому цей фактор доцільно брати до уваги під час формування довгострокових програм розвитку енергетичної галузі.

Для України, яка значною мірою задовольняє свої потреби за рахунок імпорту енергоносіїв, маючи при цьому поклади уранових руд, проєктні та наукові організації, 30-річний досвід експлуатації АЕС на своїй території, необхідним є **запровадження масштабної програми використання ядерної енергії**. Сьогодні атомна енергетика є базовою складовою в енергозабезпеченні країни, виробляючи понад 50% вітчизняної електроенергії.

3. Враховуючи стрімке зростання цін на світових ринках на уран, зменшення темпів видобутку урану через вичерпність розвіданих родовищ урану у світі, **не варто продовжувати вивезення ВЯП з українських АЕС до Росії, оскільки безпечно зберігаючи ВЯП, можна створити стратегічний запас палива для майбутнього інноваційного розвитку ядерної енергетики в Україні**.

4. **Україна повинна вивчити питання щодо побудови нових атомних енергоблоків неросійського виробництва**, з метою уникнення монопольної залежності від РФ у сфері атомної енергетики. Також під час підготовки, будівництва та подальшої експлуатації нових ядерних потужностей необхідно максимально задіяти вітчизняний науково-технічний і промисловий потенціал, для чого вже сьогодні потрібно підтримати наукові і проєктні розробки, покращити матеріально-технічну базу для проведення досліджень і випробувань, активізувати участь українських фахівців і профільних організацій в реалізації міжнародних проєктів з перспективного розвитку ядерної енергетики.

5. Україні доцільно гнучкіше використовувати ринкові переваги із закупівлі послуг окремих елементів ядерного паливного циклу (гексофторид урану, збагачення гексофториду урану, фабрикація паливних елементів і збірок).

¹ 1 кг урану, збагачений до 4%, за повного згоряння виділяє енергію, еквівалентну спалюванню приблизно 100 т високоякісного кам'яного вугілля або 60 т нафти.

² Згідно з даними Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2013рр., ТЕС і ТЕЦ України у 2013р. було вироблено 95,5 млрд. кВт-год. При цьому викиди парникових газів склали 113,9 млн. т CO₂, що становить 30% загального обсягу викидів парникових газів в Україні у 2013р. АЕС України у 2013р. було вироблено 83,42 млрд. кВт-год. Якщо б цей обсяг виробили ТЕС та ТЕЦ, то викиди парникових газів в електроенергетиці збільшилися б на 99,5 млн. т CO₂ та сумарно склали б 213,42 млн. т. Таким чином, загальний обсяг викидів парникових газів в електроенергетиці України збільшився б на 46%.