

## РОЗВИТОК ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ. НЕОБХІДНІСТЬ, НЕДОЛІКИ ТА ПЕРЕВАГИ

Л. Л. Литвинський, О. А. Пуртов

*Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування, Київ, Україна*

Розглянуто питання розвитку ядерної енергетики України в довгостроковій (до 50 років) перспективі. Проаналізовано ключові вади та переваги порівняно з іншими традиційними та нетрадиційними джерелами енергії. Наведено довгостроковий прогноз витрат на виробництво електроенергії на АЕС з урахуванням проблем зняття з експлуатації діючих енергоблоків, поводження з радіоактивними відходами та відпрацьованим ядерним паливом і будівництва заміщуючих та додаткових потужностей.

### 1. Роль електроенергетики у забезпеченні безпеки держави

У резолюції Міжнародної конференції МАГАТЕ “Атомна енергетика в 21 сторіччі” (Париж, 21 - 22 березня 2005 р.) відзначено: охорона навколишнього середовища, включаючи мінімізацію ризиків глобальної зміни клімату, є пріоритетним завданням для урядів усіх країн; необхідна диверсифікованість джерел енергії для задоволення зростаючого попиту на неї.

У зв'язку з цим відзначається позитивна роль атомної енергетики: вона не забруднює атмосферу газами, що не приводить до глобальних змін клімату; АЕС – це перевірені технології, які при різних умовах забезпечують конкурентоспроможну ціну на електроенергію для споживачів, вони беруть участь у формуванні конкуренції в економіці; АЕС вносять вклад в енергетичну безпеку й стабільність цін на електроенергію шляхом зниження залежності від змін цін на традиційні види палива. З точки зору національної безпеки, розвиток електроенергетики в Україні має визначатись одночасно трьома аспектами:

економічною безпекою держави, що для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної продукції потребує мінімізації ресурсної складової її собівартості, зокрема й витрат на електроенергію;

енергетичною безпекою держави, що по відношенню до електроенергетики потребує самодостатнього рівня виробництва в масштабах країни та диверсифікації типу генерації, а в разі значної долі імпорту палива – диверсифікації його джерел;

екологічною безпекою, що по відношенню до об'єктів електроенергетики потребує при їх нормальній експлуатації не перевищення припустимих впливів на довкілля, співставних з прийнятими в загальносвітовій практиці, а також соціально прийняттого рівня ризику аварійних ситуацій та наявності організаційних, матеріально-технічних та фінансових ресурсів для подолання їх наслідків.

### 2. Потреби в електроенергії та баланс виробництва різними типами генерації

Відповідно до прогнозу розвитку економіки України в енергетичній стратегії України на період до 2030 р., схваленої Рішенням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145р, споживання електроенергії (з урахуванням заходів з енергозбереження) зростатиме від сьогоденного рівня ~150 млрд кВт · год/рік до ~420 млрд кВт · год/рік у 2030 р., що визначає перспективи розвитку електроенергетичної галузі. Ця оцінка не враховує можливе зростання потреби у водні, що є екологічно чистим паливом, альтернативним газу та продуктам нафтопереробки. За світовими прогнозами, розгортання виробництва водню у промислових масштабах може потребувати підвищення встановлених потужностей електроенергетики ще на декілька десятків відсотків.

Найближчими десятиліттями основним шляхом підтримання рівню виробництва електроенергії та його подальшого нарощування є використання традиційних типів генерації – теплової, ядерної та гідроенергетики. Альтернативні джерела – сонячна, вітрова, геотермальна енергетика тощо, – обмежені як за потенційним енергоресурсом, так і за економічними показниками, суттєво гіршими порівняно з традиційними. Загалом за світовими прогнозами доля альтернативних джерел у найближчі 20 - 30 років не перевищуватиме 10 %, не зважаючи на їх екологічну привабливість.

*Викиди CO<sub>2</sub> для повного паливного циклу різних джерел, gC<sub>eq</sub>/кВт · год*

Вугілля	265 - 357
Нафта	219 - 264
Природний газ	120 - 188
Сонячні фотоелементи	27 - 76

Гідроенергетика	6 - 65
Біомаси	3 - 13
Енергія вітру	3 - 13
Ядерна енергетика	2 - 6

Гідроенергетичний ресурс в Україні, як і в більшості рівнинних європейських країн, є практично вичерпанним. Ресурс “малої” гідроенергетики не перевищує декількох відсотків від сьогоденного рівня виробництва електроенергії в Україні й навіть його повне використання не впливатиме суттєво на задоволення потреб в електроенергії в масштабах країни.

Таким чином, основними типами генерації протягом наступних 30 років в Україні, як і в усьому світі, залишатимуться теплова та ядерна енергетика, сумарна доля яких з необхідністю становитиме в Україні 80 - 90 % від загального виробництва. Співставлення цих джерел за економічними показниками не потребує інших обґрунтувань, крім факту співставної їх долі в електроенергетиці більшості розвинених країн світу. При цьому теплова електроенергетика потребує менших капіталовкладень (у 2 - 3 рази) при більших поточних витратах на виробництво електроенергії (у 1,5 - 2 рази) порівняно з ядерною енергетикою.

Стратегічне планування балансу виробництва між цими типами генерації має визначатись не лише економічним, але й двома іншими аспектами безпеки. За енергетичним аспектом небажаним є дисбаланс на користь будь-якого типу генерації, що перевищує 50 % від загального обсягу виробництва. З екологічної точки зору, крім загального недоліку – значного рівня водоспоживання, обидва типи мають свої власні основні принципово невідворотні вади: теплова енергетика – суттєві викиди двоокису вуглецю та інших шкідливих речовин до атмосфери, ядерна енергетика – напрацювання радіоактивних відходів (РАВ). При цьому остання вада може бути скомпенсована надійною локалізацією РАВ, що за умов нормальної експлуатації об’єктів надає ядерній енергетиці суттєвої переваги порівняно з тепловою. У той же час до основних недоліків ядерної енергетики, хоча й принципово відворотних, належать суттєво більш вагомі наслідки потенційно можливих аварій порівняно з іншими типами генерації.

Таким чином, за сукупністю всіх аспектів безпеки доцільним балансом виробництва електроенергії між тепловою та ядерною енергетикою в Україні є збереження сьогоденного розподілу (40 – 45 % на кожний тип генерації) за умови безпечного поводження з РАВ, дотримання соціально прийнятного рівня ризику аварійних ситуацій на АЕС і наявності організаційних, матеріально-технічних та фінансових ресурсів для подолання їх наслідків.

Прогноз обсягів експлуатаційних РАВ, що утворюватимуться при такому рівні виробництва електроенергії на АЕС, показано на рис. 1. Майбутнє зняття з експлуатації діючих АЕС призведе до додаткового утворення РАВ у обсягах, співставлених з наведеними. Неврахування майбутніх витрат на захоронення РАВ є досі не вирішеною вкрай актуальною проблемою та однією з основних причин сьогоденного різкого дисбалансу тарифу для ядерної і теплової генерації.

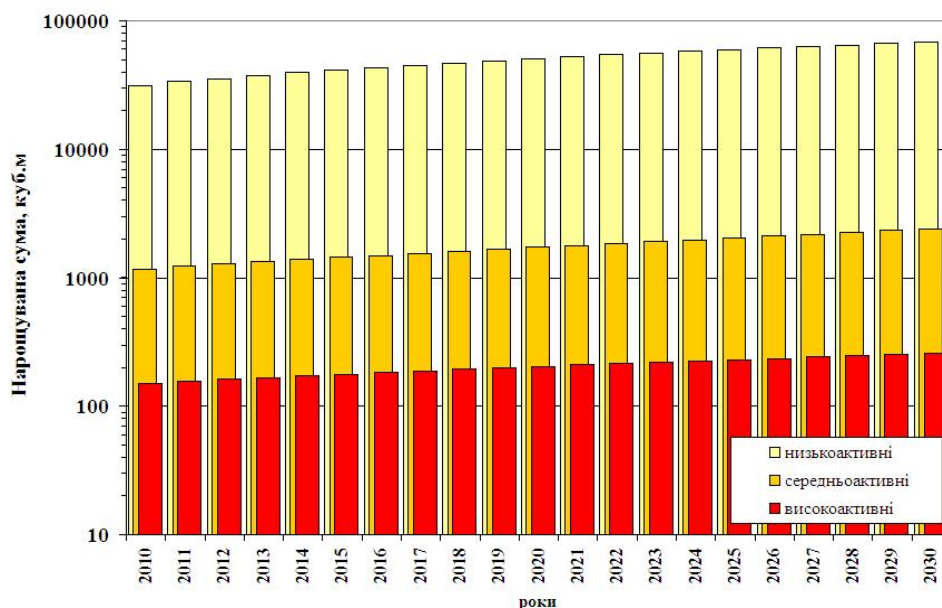


Рис. 1. Прогноз накопичення обсягів експлуатаційних РАВ до 2030 р.

### 3. Продовження експлуатації діючих АЕС

Рівень безпеки діючих АЕС України відповідає сучасним принципам безпеки та порівняний з рівнем для АЕС того ж покоління, які експлуатуються в країнах ЄС та інших країнах з розвинутою ядерною енергетикою. При цьому потенційна можливість підвищення рівня безпеки вітчизняних АЕС залишається суттєво невичерпаною.

Передбачений вихідними проектами термін експлуатації енергоблоків діючих АЕС був визначений у 70-х роках минулого століття, виходячи з суттєво консервативних припущень, і складає 30 років. Відповідно до вихідних проектів, починаючи з 2011 р. мають розпочатися заходи з їх зняття з експлуатації. У той же час світова практика вказує на можливість їх подальшої безпечної експлуатації. На сьогодні відсутня вичерпна вихідна інформація, необхідна для однозначного прогнозу, однак, виходячи з попередніх оцінок і світового досвіду експлуатації реакторних установок водо-водяного типу, очікуваний додатковий термін експлуатації може становити 10 і більше років.

Порівняно із спорудженням нових теплових та ядерних енергоблоків оцінені питомі витрати на продовження експлуатації діючих АЕС нижчі у 3 - 5 та 10 - 15 разів відповідно. Додатково перевагою такого рішення є запас часу на накопичення коштів на майбутнє зняття з експлуатації АЕС, заохоронення РАВ та інвестування в будівництво заміщуючих потужностей. Виходячи з цього, а також з урахуванням значного інвестиційного циклу спорудження нових об'єктів обох типів генерації (5 - 6 років для ТЕС та 10-12 років для АЕС) *продовження експлуатації діючих ядерних енергоблоків є на сьогодні практично безальтернативним для електроенергетики України.*

Протягом усієї історії розвитку ядерної енергетики спостерігається поступове зростання жорсткості вимог і норм з безпеки, захисту населення та навколишнього середовища. Однак з урахуванням наявного рівня безпеки діючих АЕС України та суттєво невичерпаної потенційної можливості його подальшого підвищення обов'язкова умова щодо дотримання цих вимог і норм не вбачається технічно недосяжною або такою, що зробить економічно недоцільною експлуатацію діючих АЕС за межами 30-річного терміну, передбаченого вихідними проектами.

Шляхами рішення основної задачі продовження ресурсу діючих АЕС, в рамках виконання Комплексної програми робіт щодо продовження терміну експлуатації діючих енергоблоків АЕС, схваленої Розпорядженням КМУ № 263р від 29 квітня 2004 р. є:

визначення залишкового ресурсу та управління старінням елементів, що не підлягають заміні або заміна яких занадто витратна;

виконання поточних робіт з модернізації і реконструкції з обов'язковим врахуванням майбутнього продовження терміну експлуатації діючих АЕС;

розробка, реалізація підходів і методів обґрунтування безпеки продовження ресурсу;

своєчасне виконання комплексу організаційних і технічних заходів, необхідних для одержання ліцензії на подальшу експлуатацію.

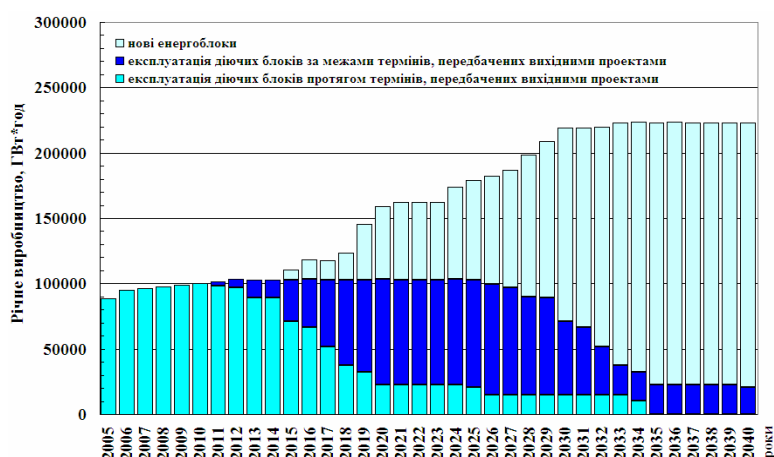


Рис. 2. Прогнозована динаміка виробництва електроенергії на АЕС при продовженні їх експлуатації додатково на 15 років (базовий сценарій розвитку ядерної енергетики).

Прогнозовану динаміку виробництва електроенергії на АЕС при продовженні їх експлуатації додатково на 15 років показано на рис. 2. Обов'язковою умовою реалізації цього сценарію є негайне прискорення відповідних заходів, зокрема визначення залишкового ресурсу та керування старінням елементів АЕС, заміна яких неможлива або вкрай витратна (корпус реактора, основні системи керування, захисту й контролю, трубопроводи й тепломеханічне обладнання 1-го контуру, парогенератори, кабельне господарство, будівельні та гідротехнічні споруди тощо).

#### 4. Перспективне будівництво в ядерній енергетиці

На планований період основною задачею є своєчасне спорудження нових потужностей на доповнення та заміну тим, що знімаються з експлуатації. Шляхами вирішення основної задачі є:

удосконалення можливостей електромереж для повноцінного відпуску електроенергії, яка виробляється на діючих та вироблятиметься на нових енергоблоках;

визначення перспективного типу (типів) реактора, який буде основою для проектування нових енергоблоків;

спорудження протягом планованого періоду до 2030 р. нових ядерних енергоблоків на заміну тим, що знімаються з експлуатації;

створення сприятливих засад для подальшого перспективного будівництва.

Завданням принципового характеру є включення та подальша участь вітчизняних організацій в реалізації міжнародних проектів з:

проектування перспективних реакторних установок для комерційних енергоблоків;

розробки установок ядерного синтезу;

розробки перспективного ядерного палива;

розробки фізико-математичних моделей, ядерно-фізичних та теплофізичних кодів, розрахунків з проблем міцності матеріалів та імовірнісного аналізу безпеки.

При будівництві нових енергоблоків на майданчику Хмельницької АЕС, де вже було виконано помітну частину будівельних робіт із спорудження енергоблоків № 3 і 4 з реакторною установкою (РУ) типу ВВЕР-1000, доцільним вбачається спорудження нових енергоблоків з РУ типу ВВЕР.

Динаміку спорудження нових ядерних енергоблоків для базового сценарію розвитку ядерно-енергетичного комплексу (ЯЕК) представлено на рис. 3, відповідну прогнозовану щорічну величину їх сумарної встановленої потужності наведено на рис. 4. Спорудження нових блоків на майданчиках діючих АЕС або на майданчиках прилеглих до них є найбільш виправданим з технічних, економічних і соціальних міркувань. Виходячи з можливостей існуючих майданчиків, будівництво перших двох із запланованих до спорудження нових ядерних енергоблоків потужністю 1000 МВт(е) передбачається на майданчику Хмельницької АЕС. При цьому в період 2006 - 2010 рр. необхідно забезпечити виконання робіт з обґрунтування та вибору 3 - 4 нових майданчиків для будівництва нових АЕС. Потужність наступних нових енергоблоків в усіх сценаріях прийнята переважно на рівні 1500 МВт (е).

У зв'язку із значною тривалістю процедур узгодження створення нових АЕС до 2030 р. необхідно виконати роботи з вибору майданчиків можливого розміщення майбутніх АЕС. Роботи з виявлення майданчиків можливого розміщення АЕС плануються до 2015 р. Після виявлення потенційних майданчиків мають бути проведені всі необхідні узгодження з місцевими органами влади та самоуправління з метою закріплення в установленому порядку цих майданчиків (пунктів) за енергетичним відомством України.

#### 5. Фінансове забезпечення розвитку

Фінансове забезпечення функціонування об'єктів ЯЕК України та його розвитку на аналізований період та подальшу перспективу планується за рахунок тарифу на електроенергію АЕС. Прогнозовану динаміку змін питомих поточних витрат на виробництво електроенергії АЕС України наведено на рис. 5. Оскільки поточні витрати виявляють суттєві річні зміни, для запобігання різким коливанням тарифу було виконано оцінку оптимізованих питомих витрат із здійсненням позик або прискорених відрахувань до фондів накопичення (ЗЕ – захоронення експлуатаційних РАВ, захоронення РАВ від відпрацьованого ядерного палива (ВЯП), захоронення РАВ від ЗЕ) протягом відповідних періодів дефіциту або профіциту. Результати цієї оцінки разом із щорічними обсягами запозичень наведено на рис. 5. Оцінка виконана з урахуванням витрат на обслуговування позик та доходів від тимчасового розміщення коштів на майбутнє ЗЕ та захоронення РАВ, виходячи із ставки 10 % річних. Зведена оцінка фінансових витрат виконана в цінах та за податковими ставками 2005 р., без урахування інфляційних коефіцієнтів.

Величина оптимізованих питомих витрат (з урахуванням податків та платежів до бюджету) коливається в межах 7,5 - 14,5 коп/кВт · год (1,5 - 2,8 центи/кВт · год)

Таке кредитування має відбуватись за державною підтримкою, зокрема шляхом сприяння залученню міжнародних інвестиційних інституцій, недержавних вітчизняних та закордонних інвесторів, а також шляхом кредитування за рахунок коштів Державного бюджету України.

У цілому оцінені величини витрат на виробництво електроенергії АЕС України безумовно гарантують конкурентоспроможність товарної продукції ядерної енергетики як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

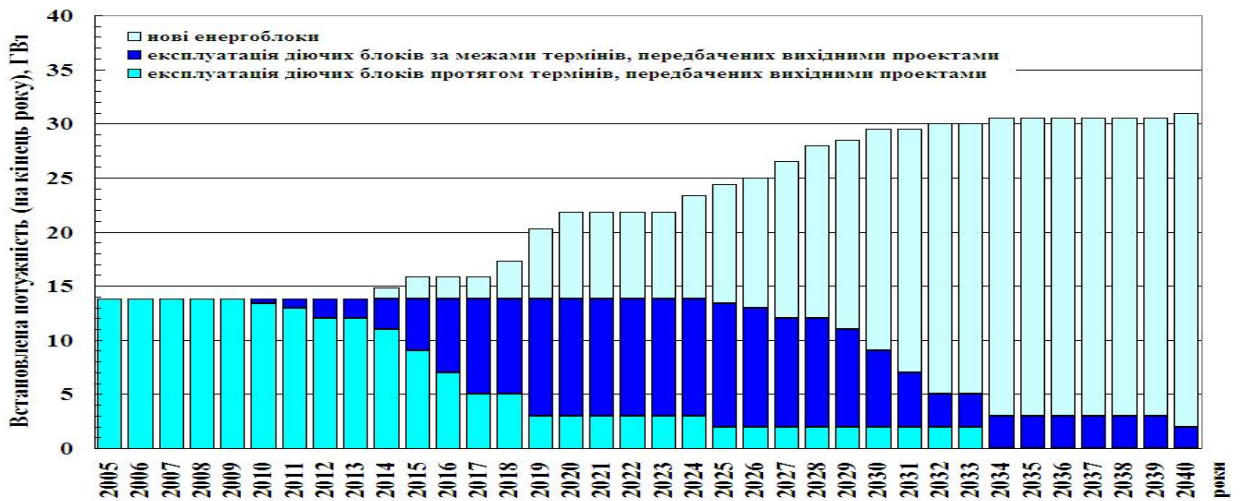


Рис. 4. Базовий сценарій. Установлена потужність АЕС України.

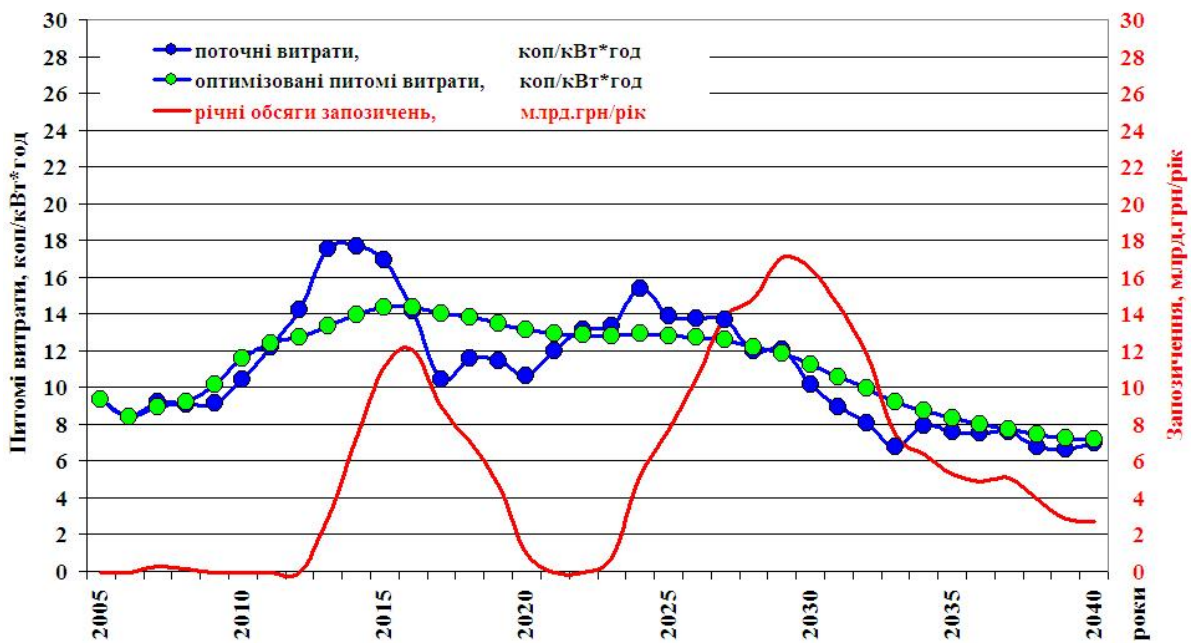


Рис. 5. Питомі поточні та оптимізовані витрати на виробництво електроенергії АЕС України (з урахуванням податків та платежів до бюджету) та річні обсяги запозичень.

## DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY IN UKRAINE. NEEDS, SHORTAGES AND ADVANTAGES

L. L. Litvinsky, O. A. Purtov

The issues of the nuclear energy development in Ukraine for a long term (for 50 years) perspective are considered. Fundamental drawbacks and advantages, compared to other traditional and non-traditional sources of energy are analyzed. Long term forecast for the energy production on electric stations with regards to the problems of operating energy units decommissioning, radioactive wastes handling, spent nuclear fuel and construction of substituting and additional capacities were given.

## **РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ. НЕОБХОДИМОСТЬ, НЕДОСТАТКИ И ПРЕИМУЩЕСТВА**

**Л. Л. Литвинский, О. А. Пуртов**

Рассмотрены вопросы развития ядерной энергетики Украины в долгосрочной (до 50 лет) перспективе. Проанализированы ключевые недостатки и преимущества сравнительно с другими традиционными и нетрадиционными источниками энергии. Приведен долгосрочный прогноз затрат на производство электроэнергии на АЭС с учетом проблем снятия с эксплуатации действующих энергоблоков, обращения с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом и строительства замещающих и дополнительных мощностей.