

- Пинчук Л.Б. Ч. 2. — К.: АН УССР, 1989. — С. 245–252.
49. Матер. Міжнар. наук.-практ. конф. «Нові підходи до організації і проведення лікування, реабілітації та рекреації в умовах курорту» / Пухова Г.Г., Мойсєєва Н.П., Гела А.А. та ін. — Трускавець, 1995. — С. 21–27.
50. Химия и технол. воды / Шестопалов В.М., Мойсєєва Н.П., Дружина Н.А. и др. — 2001. — 23. — № 6. — С. 639–649.
51. Чорнобиль: Зона відчуження / Дружина М.О., Бурлака А.П., Мойсєєва Н.П. та ін. — К.: Наук. думка, 2001. — С. 521–525.
52. Проблеми мінеральних вод / Бурлака А.П., Мойсєєв А.Ю., Мойсєєва Н.П. та ін. / К.: Карбон ЛТД, 2002. — С. 79–83.
53. Пухова Г.Г., Мойсєєв А.Ю., Мойсєєва Н.П. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2003. — № 3. — С. 44–46.
54. Проблеми мінеральних вод / Шестопалов В.М., Негода Г.М., Набока М.В., Овчинникова Н.Б. — К.: Карбон ЛТД, 2002. — С. 13–32.
55. Коломийчук С.Г., Величко Л.В., Богданова А.В. // Укр. журн. гематології та трансфузіології. — 2002. — № 5. — С. 27–88.
56. Дружина М.О., Бурлака А.П., Сидорик С.П. // Эксперим. онкология. — 2001. — 23. — № 3. — С. 181–182.
57. Radiat. Environ. Biophys / Mosse I., Kostrova L., Subbot S. et al. — 2000. — N 39. — P. 47–52.

М. Дружина, А. Мойсєєв, А. Липська,  
Ю. Гриневич

#### РАДІАЦІЙНІ УРАЖЕННЯ І РАДІОПРОТЕКТОРИ

##### Резюме

У ретроспективному огляді показано, що класичні вимоги до радіопротекторів, які базуються на їх ефективності за умов опромінення летальними дозами, непридатні для пом'якшення негативного впливу низьких доз радіації. Постчорнобильська ситуація підтвердила це положення. На основі практичних розробок сформульовано вимоги до модифікаторів метаболізму за тривалого низькоінтенсивного опромінення.

М. Druzhyna, A. Moiseyev, A. Lyps'ka,  
Yu. Grynevych

#### RADIATION AFFECTION AND RADIOPROTECTORS

##### Summary

The article retrospectively presents that classical requirements to radioprotectors that are based on efficiency under the condition of lethal dose irradiation are not adapted to negative influence mitigation and small radiation doses. Post-Chornobyl situation has proved this statement. The requirements to metabolism modifiers are formulated under the condition of low-intensity irradiation based on practical developments.

Ю. КРУПКА

## ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА: АРГУМЕНТИ PRO I CONTRA

*Вибух на Чорнобильській АЕС мав, як відомо, негативні наслідки не тільки для населення республік колишнього СРСР, а й залишив радіоактивний слід на території інших країн Європи і світу. 1986 року в центрі уваги були події на ЧАЕС і в зоні відчуження, за лаштунками трагедії залишилися прихованими чимало фактів стосовно інших регіонів, частка яких й дотепер мало відома широкому загалу. Їх аналіз спонукає до роздумів про доцільність розбудови ядерної енергетики взагалі. Однак, окрім потенційних загроз, вона має й очевидні переваги.*

© КРУПКА Юрій Миколайович. Кандидат юридичних наук. Головний консультант Інституту законодавства Верховної Ради України (Київ). 2005.

Радіоактивні хмари, що утворилися внаслідок вибуху на четвертому блоці ЧАЕС, «накрили» Європу і навіть досягли Північної Америки та Японії. Протягом перших двох днів вони рухалися у північно-західному напрямку, до Фінляндії та Швеції, потім повернули на південний захід, перетинаючи Польщу, Чехословаччину і Південну Німеччину. Впродовж наступних днів радіоактивні частинки, зачепивши Нідерланди, «попрямували» з вітром на південь — до Австрії і Північної Італії, а також на захід — до Великої Британії. Ситуація ускладнювалася тим, що під час руху радіоактивних хмар у деяких регіонах випали дощі, які збільшили фоновий рівень радіації від 10 до 100 разів.

Радіоактивні опади завдали істотної шкоди країнам Європи. Найбільше постраждали навколишнє природне середовище (повітря, ґрунт, вода, фауна і флора) та сільське господарство. Наприклад, споживання коровами забрудненої трави призвело до того, що у їхньому молоці радіоактивність перевищила гранично допустимі норми. 26 травня 1998 р. Європейське співтовариство визначило граничний рівень радіоактивного забруднення для молока — 125 бекерелів на літр. У деяких районах Великої Британії рівень йоду-131 досяг 400 бекерелів на літр молока, а в Італії — 2000. Значних збитків було завдано фермерам, рибалкам, збирачам грибів, ягід — внаслідок введення обмежень або заборони на продаж їхньої продукції. Щоправда, громадянам Заходу ці та інші втрати компенсувала держава. Так, уряд Німеччини виплатив потерпілим 500 млн марок. Відчутного удару було завдано і міжнародній торгівлі харчовими продуктами. Навіть у січні 1988 року 17 фунтів французьких грибів тримали у карантині в Токійському аеропорту, оскільки службовці виявили їх радіоактивне забруднення (636 бекерелів на кілограм), тоді як гранично допустимий рівень радіоактивності, встанов-

лений міністерством охорони здоров'я Японії, дорівнював 375 бекерелів.

Щодо «ціни» Чорнобильської катастрофи, то тільки прямі збитки від неї вимірюються 15 мільярдами доларів США, а з урахуванням усіх витрат на ліквідацію наслідків аварії — 117–120 млрд доларів [1]. Для порівняння: витрати, пов'язані з аварією на АЕС «Трі Майл Айленд» (США, 1979 р.), становили близько 1 млрд доларів.

Усі ці факти спонукають до критичного сприйняття перспектив подальшого розвитку ядерної енергетики. Проте перш ніж давати однозначні оцінки, доцільно розглянути основні характеристики ядерної енергетики і пов'язані з нею фактори екологічного ризику. Причому, гадаємо, варто акцентувати увагу на стані ядерно-енергетичного комплексу України, якому притаманні як загальні характеристики і тенденції розвитку світової ядерної енергетики, так і національні особливості, зумовлені сучасними суспільно-економічними трансформаціями, що відбуваються у нашій країні.

Україна володіє потужним ядерно-енергетичним потенціалом: за узагальненими кількісними показниками, вона входить до першої десятки ядерних держав. Наша країна посідає сьоме місце у світі за сумарною потужністю ядерних енергоблоків (11835 МВт) (дані за 2003 р.), восьме — за їх кількістю (15) та виробництвом на них електроенергії. Окрім АЕС, в Україні працюють два дослідницькі ядерні реактори, підприємства з видобутку і переробки уранової руди. Близько 3,3 тисячі вітчизняних установ та організацій використовують джерела іонізуючого випромінювання [2].

Однак за показниками ядерної та екологічної безпеки наша ядерна енергетика істотно поступається аналогічним галузям провідних країн світу. Такий дисонанс між кількісними і якісними показниками пояснюється тим, що ядерна енергетика в Ук-

раїні не має належного фінансового, матеріально-технічного, правового та іншого необхідного забезпечення. Це, зрештою, пов'язано з негативними процесами, які відбуваються на макрорівні розвитку українського суспільства.

Слід зауважити, що проблеми, з якими стикається ядерна галузь, виникли не сьогодні, значною мірою вони успадковані ще від колишнього СРСР. Українські АЕС, будучи частиною загальносоюзного ядерно-енергетичного комплексу, містили всі його вади, до яких згодом додалися прикрі наслідки розриву науково-технічних, технологічних та інших зв'язків між ядерними підприємствами України та Росії. Справа в тому, що Україна не має повного ядерно-паливного циклу (підприємства з виготовлення і переробки відпрацьованого ядерного палива розташовані в Російській Федерації). Це створює не тільки певні економіко-технічні проблеми, а й ускладнює забезпечення належної ядерної та екологічної безпеки. Так, за даними Мінекобезпеки України у 1994 р. на вітчизняних АЕС було накопичено понад 18 тис. касет відпрацьованого ядерного палива.

Ще один фактор, який загострює проблему «атомна електростанція та екологія». У колишньому СРСР комплексний аналіз ядерної та екологічної безпеки у процесі проектування, будівництва й експлуатації АЕС за прийнятою у світі методологією не проводився. За відсутності спеціальних законів правове регулювання діяльності у сфері використання ядерної енергії здійснювалося правовими актами галузевих відомств, які ігнорували норми екологічної безпеки. Наслідком цього, зокрема, було порушення екологічних вимог щодо вибору місця для спорудження багатьох вітчизняних АЕС. Так, Південно-Українську, Хмельницьку і Рівненську атомні електростанції розміщено в зонах дефіциту водних ресурсів. Окрім того, не було враховано наявність карстових пустот під майданчи-

ком для Рівненської АЕС і карстових явищ по всій зоні її розміщення, що ставить під сумнів подальше безпечне функціонування цієї станції. Питомі матеріальні витрати на Рівненську АЕС через необхідність постійно дбати про зміцнення фундаментів під її спорудами зросли на 40% [3].

Усі українські ядерні блоки проектувалися у 60–70-х роках минулого століття і тому не відповідають повною мірою сучасним нормам ядерної безпеки. Основними причинами ризику на реакторах типу ВВЕР є їх невідповідність стандартам: матеріалів і конструкцій, зокрема конструкції корпусу реактора (підвищена крихкість); оболонки (гормозона); системи аварійного охолодження. На думку фахівців, доведення функціонуючих атомних станцій до вимог техніки безпеки цивілізованого світу коштуватиме значно дорожче, ніж спорудження нових АЕС [4].

У зв'язку з цим постають гострі питання щодо «ціни» (зокрема екологічної), яку платить суспільство за використання ядерної енергії.

Ядерно-паливний енергетичний комплекс являє собою надзвичайно складну за техніко-економічними характеристиками сув'язь виробничих об'єктів і процесів. Уся послідовність повторюваних технологічних процесів у цьому комплексі, починаючи від видобутку палива і закінчуючи видаленням відходів після виробництва енергії, є паливним циклом. Відомі такі види впливу ядерного паливного циклу (ЯПЦ) на навколишнє природне середовище:

- ♦ витрати природних ресурсів (земельних ділянок, води, різного роду матеріалів тощо);
- ♦ тепловий вплив;
- ♦ хімічний вплив;
- ♦ радіоактивне забруднення.

До 70% енергії, яка виділяється у реакторі АЕС, надходить у навколишнє середовище, спричиняючи теплове навантаження на біосферу. Характер впливу теплових ви-

кидів АЕС у довкілля істотно залежить від обраної системи охолодження відпрацьованої пари АЕС. Існує кілька різних систем охолодження:

- прямоточне охолодження, де конденсація відбувається за рахунок охолодження конденсатора водою з річки (озера, моря) або спеціально споруджених басейнів;
- охолодження з використанням випарувальних градирень;
- повітряне охолодження теплоносія, що циркулює по замкненому контуру, за допомогою якого конденсується пара;
- комбіноване охолодження.

Найбільш економічною є система прямоточного охолодження. Але при цьому витрачається багато води, яка після нагрівання скидається у водне середовище (озера, річки, моря тощо). Останнє посилює небезпеку погіршення екологічної ситуації у водному басейні в зонах розміщення АЕС. Наприклад, відомо, що підвищення температури води сприяє збільшенню концентрації токсичних і радіоактивних речовин у тканинах риб.

Застосування системи охолодження з використанням градирень супроводжується викидами в атмосферу великої кількості пари, що восени і весною може спричинити частіші опади, тумани і більшу хмарність. А це, у свою чергу, може вплинути на підвищення захворюваності населення, яке мешкає поблизу АЕС, а також погіршити екологічний стан біоценозів.

Функціонування підприємств ЯПЦ супроводжується утворенням відходів (газоподібних, рідких і твердих), які зумовлюють хімічне та радіоактивне забруднення навколишнього природного середовища, радіаційне опромінення населення.

За умов дотримання необхідних вимог ядерної безпеки експлуатація АЕС зумовлює відносно незначні індивідуальні дози опромінення населення, що набагато менше від природного фону іонізуючих випро-

мінювань. Серйозна загроза навколишньому середовищу і здоров'ю людей може виникнути у разі аварії на АЕС. Чорнобильська катастрофа показала, що у випадку оплавлення активної зони ядерного реактора і виходу хмари летких продуктів ділення за межі території АЕС виникає надто велика небезпека для населення і біосфери загалом.

З огляду на наведені факти постає запитання про доцільність використання ядерної енергії і розвитку цієї галузі енергетики. Шукаючи відповідь на нього, треба враховувати всі складні чинники. Сьогодні ядерна енергетика посідає чільне місце у паливно-енергетичному комплексі (ПЕК) України. Про її значення яскраво свідчить те, що із 25 мільйонів кіловат-годин, які виробляються в країні щодоби взимку, половина припадає на атомні електростанції. З погляду пріоритетів у розвитку ПЕК України є підстави стверджувати, що нині без ядерної енергетики неможливо подолати зростаючі труднощі в енергозабезпеченні економіки країни і розв'язанні наболілих екологічних проблем.

Аналогічна ситуація склалася і в світовій енергетиці. Аналіз тенденцій її розвитку свідчить, що широкомасштабне використання ядерної енергії в XXI столітті — явище неминуче, попри низку аварій на АЕС (наприклад, Уіндскейл у Великій Британії, жовтень 1957 р.; «Трі Майл Айленд» у США, Токаї у Японії, жовтень 1999 р.; ЧАЕС). Ці та інші ядерні інциденти викликали негативну громадську реакцію, сформувавши у багатьох людей у різних країнах стійкий синдром радіофобії, що не могло не позначитися на розвитку ядерної енергетики. Після Чорнобильської катастрофи було припинено спорудження нових АЕС в Італії, Швеції, Іспанії. Мораторій на їх будівництво ввели і в Україні, однак у 1994 р. його зняли. Тільки США, Франція, Японія, Ки-

тай і Корея зберегли помітні темпи розвитку ядерної енергетики.

Ряд фахівців і громадських діячів упевнені: ядерна енергетика не має майбутнього у житті людства [5]. Інші вважають, що не треба перебільшувати масштаби і значення Чорнобильської катастрофи [6]. У всьому світі траплялося багато трагічних аварій на підприємствах вугле- і нафтодобувної промисловості, на гідроелектростанціях. Сумарно за кількістю жертв їх можна було б вважати не менш серйозними, ніж Чорнобильська. Мабуть, тому прихильники розвитку ядерної енергетики часто стверджують, що вплив аварії на ЧАЕС на майбутнє цієї галузі буде не більшим, аніж вплив аварій, які трапляються на морських нафтових платформах, — на майбутнє нафтодобувної промисловості [7]. На їхню думку, поки що не існує більш екологічно безпечних й економічно вигідних джерел енергії, ніж ядерна. Необхідно лишень посилити увагу до підвищення безпеки експлуатації АЕС і продовжувати пошук альтернативних джерел енергії. Ядерники запевняють, що ядерна енергетика має як мінімум три вирішальні переваги: незначний, за умов безаварійної роботи, шкідливий вплив на навколишнє середовище і людину; відсутність викидів в атмосферу вуглекислого газу, який спричинює парниковий ефект; економія кисню порівняно з іншими енергетичними галузями.

За цими показниками ядерна енергетика виглядає більш привабливою, ніж, приміром, електростанції, які функціонують на вугіллі. Так, якщо для АЕС потужністю 1000 МВт щороку потрібно 27 т ядерного палива, а дає вона 27 т високо-, 310 т — середньо- і 460 т — низькоактивних відходів, то станція, яка працює на вугіллі, за цей період споживає 2 600 000 т (5 потягів вугілля) і викидає 6 000 000 т  $\text{CO}_2$ , 44 000 т —  $\text{SO}_2$ , 22 000 т —  $\text{NO}_x$ , 320 000 т золи (включаючи 400 т токсичних важких

металів). Ці газоподібні викиди зумовлюють кислотні дощі, парниковий ефект, інші негативні явища. Нарешті встановлено, що ефективна еквівалентна доза опромінення населення природними радіонуклідами через викиди вугільної ТЕС істотно переважає дозу опромінення внаслідок викидів АЕС аналогічної потужності [8].

Чи є аргументом для розвитку ядерної енергетики зазначений баланс позитивних і негативних факторів використання цього виду енергії?

Однозначної відповіді на це запитання немає. Тим часом потенціал ядерної енергетики продовжує зростати. Якщо після Чорнобильської катастрофи будівництво нових АЕС дещо сповільнилося (наприклад, Бельгія, Нідерланди, Іспанія вирішили свої ядерні програми поступово згорнути і перейти на інші, безпечніші, джерела енергії), то в останні роки спостерігається зростання темпів введення в дію ядерних потужностей. Так, якщо у 1992 році у світі діяли 424 ядерні установки, то сьогодні — більше 440 і ще понад 50 будується. У 2002 р. три ядерні установки було введено в експлуатацію: одна — у Чеській Республіці і дві — в Кореї; два блоки запуснено у Великій Британії. Сім ядерних установок перебували під реконструкцією: три — в Японії, дві — у Кореї і дві — у Словацькій Республіці [9]. Програми з ядерної енергетики активізували не лише економічно передові держави, а й країни із відносно слабкорозвиненою енергетикою (Індія, Іран, Китай, Аргентина, причому остання навіть розбудовує власний ЯПЦ — від виробництва палива, спорудження атомних станцій до захоронення ядерних відходів). У низці країн відновлено роботу реакторів, зупинених кілька років тому для перевірки рівня їх безпечності (наприклад, у Швеції 1993 року було введено в дію три реактори, у 1995 році у Вірменії відновлено роботу АЕС).

До цього процесу долучилася й Україна: у 2004 р. здано в експлуатацію 2 енергоблоки-мільйонники (2-й — на Хмельницькій і 4-й — на Рівненській атомних електростанціях).

Відповідно зростає і виробництво ядерної енергії. Нині 17% сукупного виробництва електроенергії у світі припадає на АЕС (у Європі — 26%). У 18 країнах виробництво електроенергії на атомних електростанціях перевищує 20% загального обсягу, в Угорщині — 38%, у Корейській Республіці — 43%, Швеції — 46%, Україні — 50%, у Бельгії — 58%, у Словаччині — понад 60%, Франції — 75% [10].

Отже, ядерна енергетика, переживши складний постчорнобильський період, продовжує розвиватися. Позитивний прогноз щодо її майбутнього залежить від аргументованої і переконливої відповіді на такі невідворотні запитання:

- ♣ Чи зуміє ядерна енергетика зберегти економічну конкурентоспроможність?
- ♣ Чи забезпечить вона необхідний захист людини і навколишнього природного середовища?
- ♣ Чи знайде прийнятні методи поводження з радіоактивними відходами та безпечні засоби їх довготривалого зберігання?
- ♣ Чи буде створено справедливий механізм відшкодування збитків, завданих внаслідок ядерного інциденту?

1. International Law and Environment. Clarendon Press. — Oxford, 1992. — P. 377; *Haynes V. and Wojcun M.* The Chernobyl Disaster. — London: Mac Millan, 1988; Коротко/Суспільство. Аварії на ЧАЕС дано всебічну оцінку //День. — 1998. — 22 грудня.
2. Державний комітет ядерного регулювання України. Доп. «Про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2003 році» //www.snrcu.gov.ua.

3. *Костенко Ю.* Екологічна реформа в Україні // Ойкумена. Укр. еколог. вісник. — 1993. — № 1. — С. 6.
4. *Юхновський І.* Стратегія розвитку енергетики України: самозабезпечення // Ойкумена. Укр. еколог. вісник. — 1992. — № 4. — С. 8–9.
5. *Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Кузьмин И.И.* Проблемы безопасности ядерной энергетики. — М.: Энергоатомиздат, 1978. — 148 с.
6. *Желєзнов М.* Атомна енергетика — об'єктивна необхідність // Київ. правда. — 1989. — 16 квітня. — С. 2, 3.
7. *Медведев Ж.* Атомна енергетика після Чорнобильської аварії // Ойкумена. Укр. еколог. вісник. — 1991. — № 5. — С. 53.
8. Nuclear Energy and the Kyoto Protocol. — OECD Nuclear Energy Agency (NEA). — Paris, 2002.
9. The 2002 Annual Report of the OECD Nuclear Energy Agency (NEA). — Paris, 2003.
10. «NUCLEAR ENERGY DATA» / OECD Nuclear Energy Agency (NEA). — Paris 2000; *Таньшина А.* Підступні шви ядерної енергетики // Дзеркало тижня. — 2004. — 26 червня. — С. 16.

*Ю. Крупка*

#### ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА: АРГУМЕНТИ PRO I CONTRA

#### Резюме

Аналізується вплив Чорнобильської катастрофи на перспективи розвитку ядерної енергетики у світі і в Україні. Розглядаються позитивні і негативні чинники функціонування атомних електростанцій, акцентується на розробці надійних методів довготривалого зберігання радіоактивних відходів.

*Yu. Krupka*

#### NUCLEAR POWER ENGINEERING: ARGUMENTS "PRO" AND "CONTRA"

#### Summary

The author analyzes the impact of Chernobyl disaster on nuclear power engineering development prospects in the world and in Ukraine. Positive and negative issues of power plant operation are considered, the development of reliable methods of long-term radioactive waste storage is underlined.