



УДК 621.039.577/6

Ядерна енергетика як альтернатива джерелам енергії, що працюють за рахунок спалювання вугілля, нафти і газу

Іван Омеляненко

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Харківський національний університет
будівництва та архітектури

*Не можна допустити, щоб люди спрямовували на своє власне знищення ті сили природи, які вони зуміли відкрити й підкорити
Ф. Жоліо-Кюрі*

Головним чинником у житті людини є енергія. Вона дає можливість створювати різні матеріали і є одним із важливих факторів при розробці нових технологій. Без засвоєння різних видів енергії людина не здатна повноцінно існувати. Рівень матеріальної і, відповідно, духовної культури людства залежить від кількості енергії, яку воно має. Матеріальні потреби людства, як і популяція людей на планеті, постійно збільшуються, тому потреби в електроенергії збільшуються вдвічі. Для забезпечення сучасної якості життя потрібно не менше 10 кВт енергії на одну людину [1]. При чисельності людства в 10 млрд. осіб (яка очікується в 2040 р.) буде потрібна сумарна потужність близько $1 \cdot 10^{14}$ Вт, що приблизно в 5 разів більше від тієї, що виробляється сьогодні (близько $2 \cdot 10^{13}$ Вт). Якщо ж для задоволення енергетичних і інших потреб необхідна буде потужність приблизно 100 кВт, то витратну потужність слід буде збільшити до 10^{15} Вт. Другою причиною збільшення вказаної потужності є зростання чисельності населення Землі (ця проблема є однією з найважливіших),

яке, згідно з результатами досліджень, що провів російський учений С.П. Капиця, стабілізується на рівні приблизно 14 млрд. чоловік.

Люди пройшли шлях від першого вогнища до атомних електростанцій (АЕС) і атомних станцій тепlopостачання (АСТ) [2], опанували добування основних традиційних енергетичних ресурсів — вугілля, нафти й газу, навчилися використовувати енергію вітру, річок, підкорили «мирний атом», але все активніше постає проблема використання нових нетрадиційних, альтернативних видів енергії. Нині основна частина енергії виробляється за рахунок спалювання невідновних енергоресурсів: вугілля, нафти й газу, маса яких досить обмежена. Подальше зростання енергоспоживання може бути пов'язане з розвитком ядерної й термоядерної енергетики, а також з використанням відновних джерел енергії.

За досить невеликий період своєї історії ядерна фізика пройшла шлях від порівняно простих лабораторних досліджень до широкого застосування в різних галузях науки й техніки. У 1942 р. в США

колективом учених під керівництвом Енріко Фермі був запущений перший в світі ядерний реактор на повільних (теплових) нейтронах — пристрій, в якому відбувається керована ланцюгова реакція, що супроводжується виділенням енергії. В Радянському Союзі перший ядерний реактор був запущений в 1946 р. колективом фізиків, який очолював І.В. Курчатов.

Головною частиною реактора є активна зона, яка складається з таких компонентів: ядерне паливо (природний уран, збагачений до 5 % нуклідом ^{235}U), сповільнювач нейтронів (важка або звичайна вода, графіт), теплоносій для відведення енергії (наприклад вода, рідкий натрій) і пристрій для регулювання швидкості реакції (стрижні, що вводяться в робочий простір реактора і виготовлені з кадмію або з бористої сталі, тобто з речовин, які добре поглинають нейтрони). Створення ядерного реактора стало початком ери промислового використання ядерної енергії, а також відкрило великі можливості в одержанні штучним шляхом нових елементів у великих кількостях, наприклад нукліду ^{239}Pu . (Плутоній також є хорошим «ядерним паливом»). Енергія, що виділяється в процесі поділу в атомному реакторі, повністю перетворюється в тепло, теплотворна здатність ядерного палива в тисячі разів більша, ніж у звичайного. В 1951 р. в Радянському Союзі була створена перша в світі атомна електростанція (АЕС), де ядерна енергія перетворювалась на електричну. Принципова відмінність АЕС від звичайних теплових електростанцій: на АЕС водяна пара, яка приводить в дію турбіну і електрогенератор, утворюється за рахунок енергії, що виділяється в реакторі внаслідок протікання ланцюгової реакції, а не при згорянні палива. Створено ядерні енергетичні установки для кораблів і підводних човнів, успішно функціонують АСТ (атомні станції тепlopостачання), тобто станції, реактори яких розраховані тільки на тепlopостачання. Реактори АСТ в декілька разів менші за розмірами, ніж реактори, що використовуються на АЕС,

і характеризуються більшою надійністю і безпекою в експлуатації. Проводяться дослідження з перетворення ядерної енергії безпосередньо в електричну. Таким чином, ядерна енергетика, розвиваючись, починає займати все більш помітне місце в енергетичному балансі світу.

Історія ядерної енергетики охоплює період, більший, ніж півстоліття, і за цей час вона вже стала традиційною галуззю енергетики. На сьогодні частка виробленої на АЕС електроенергії в світі в середньому становить 20 %, але в деяких країнах вона досягає досить великих значень: у Франції приблизно 75 %, у Словаччині — 52 %, в Україні — 50 %. Планується спорудження нових АЕС, перш за все — в європейських країнах, що пов'язано з перевагами АЕС порівняно з тепловими електростанціями. Ядерні реактори не споживають дефіцитне органічне паливо і не завантажують перевозками вугілля залізничний транспорт; не зменшують кількість кисню в атмосфері; не засмічують середовище попелом та продуктами спалювання. Існують дані, що викиди АЕС в атмосферу містять радіоактивних речовин менше, ніж викиди теплових електростанцій. Ці переваги особливо важливі в країнах, де ресурси гідроенергії й органічного палива не достатні, щоб забезпечити необхідний приріст енергетичних потужностей.

Світових запасів урану досить для забезпечення населення Землі енергією протягом сотень-тисяч років. Енергетичний потенціал урану може бути збільшений майже в 100 разів за умови використання реакторів на швидких нейтронах, тобто реакторів без сповільнювача з коефіцієнтом відтворення, що дорівнює 1,5; у звичайних реакторах цей коефіцієнт становить 0,6–0,7. Такий реактор призначений для одержання і корисної потужності, і ядерного палива в кількості, що перевищує споживану. Речовина, що знаходиться в активній зоні такого реактора, важить всього декілька кілограмів і складається тільки з природного урану, збагаченого приблизно

до 15 % нуклідом ^{235}U (або з плутонію) і охолоджувача (рідкого натрію або калію). Охолоджувач циркулює через теплообмінник, в якому створюється пара високого тиску, як і в реакторі на теплових нейтронах. Використання рідкого металу як теплоносія дозволяє досягти необхідних температур (а разом і високого ККД), не створюючи високого тиску в реакторі. Рідкий металічний охолоджувач також спрощує проблему роботи циркуляційного насосу без витікання радіоактивної речовини. В зв'язку з тим, що така рідина є хорошим провідником електрики, її рух можна викликати «електромагнітним насосом», який не має рухомих частин і тому є надзвичайно зручним для створення циркуляції радіоактивних матеріалів при високих температурах. В такому реакторі немає уповільнювача, поділ ядер викликається швидкими нейтронами від попередніх актів поділу урану ^{235}U .

В результаті поділу ядер ^{235}U (або ^{239}Pu , який не поступається за своєю здатністю до поділу ^{235}U), утворюються швидкі нейтрони енергією 1-2 МеВ. Частина нейтронів, які у будь-якому реакторі втрачаються, вилітаючи за межі реактора, решта поглинається ядрами ^{235}U чи ^{238}U . Ядра ^{235}U діляться, а ядра ^{238}U , захопивши нейтрон, перетворюються шляхом бета-розпадів в нуклід ^{239}Pu . Таким чином, «вигорання» нукліду ^{235}U супроводжується утворенням нового ядерного «пального» ^{239}Pu . На кожний акт поділу ядра ^{235}U утворюється в середньому 1,5 ядра ^{239}Pu . Активна зона в такому реакторі оточена шаром природного урану. Нейтрон, який вилетів із активної зони, напевно поглинеться в цій оболонці і викличе перетворення ^{238}U в ^{239}Pu , який буде знаходитись в «надрах» природного урану. Після тривалої роботи реактора оболонка вилучається і створений в ній ^{239}Pu відділяють від урану на хімічних підприємствах. Отже, реактори на швидких нейтронах, виробляючи енергію, можуть продукувати більше ядерного палива, ніж споживають. Тому їх називають реакторами-розмножувачами (або реакторами-

конверторами), ці реактори в майбутньому замінять на АЕС реактори на теплових нейтронах.

Ядерна енергетика, на жаль, не є екологічно чистою, тому що використовуване паливо відзначається високою радіоактивністю. Більш того, АЕС — джерело підвищеної небезпеки. Це стало особливо ясно після аварій на АЕС в Чорнобилі (1986) і на АЕС «Фукусіма-1» (2011). Ці аварії підірвали міф про безпеку атомної енергетики, але повна відмова від неї поки що неможлива в країнах, де недостатньо викопного палива та інших джерел енергії, тому сподіватись на відмову від використання ядерної енергії можна тільки в невизначеному майбутньому. В грудні 2011р. в Японії пройшла Міжнародна конференція з безпеки атомної енергетики, де йшлося не про закриття АЕС, а про те, щоб зробити використання атомної енергії більш безпечним, а саму енергетику — більш прозорою, зменшити ризик її використання й захистити людей і довкілля від впливу радіації.

Головною проблемою в ядерній енергетиці є «поховання» відходів. Шар природного урану, що відпрацював, необхідно вилучити з реактора, переробити, а відходи «захоронити». Вартість цих операцій досить висока, вона приблизно в 50 разів перевищує вартість видобутку (видобуток 1 кг уранової руди коштує приблизно 200 гривень). В принципі існують способи спалювання трансуранових елементів (основні продукти поділу розпадаються через сотні років) в реакторах або за допомогою прискорювачів, з метою зменшення високоактивних відходів. Однак технічні і економічні аспекти цієї проблеми ще недостатньо вивчені. Поки що не існує прийняттого способу зберігання відходів, які необхідно ізолювати від навколишнього середовища на десятки тисяч років — лише тоді вони не будуть спричиняти ніякої шкоди.

Однією із проблем ядерної енергетики є теплове забруднення довкілля. На думку деяких фахівців [3], атомні електростанції, в розрахунку на одиницю виробленої

електроенергії, виділяють більше теплоти, ніж ТЕС такої ж потужності. Як приклад, можна навести проект будівництва в басейні Рейна декількох атомних і теплоелектростанцій. Розрахунки показали, що у випадку запуску всіх запланованих об'єктів температура в ряді річок піднялась би до 45°C.

Другий, набагато перспективніший, спосіб отримання ядерної енергії — термоядерні реакції, тобто реакції злиття легких ядер при дуже високих температурах. Це супроводжується виділенням великої кількості енергії, яка набагато перевищує енерговиділення при поділі ядер. Подібні реакції протікають усередині Сонця й інших зірок, а також під час вибуху водневих бомб (в яких відбуваються некеровані реакції синтезу). Для термоядерної енергетики найбільш придатні реакції злиття ядер дейтерію з тритієм. Тритій можна одержувати в термоядерному реакторі з літію. Запаси дейтерію і літію на Землі фактично невичерпні, чого не можна сказати про запаси розщеплюваних речовин. Термоядерне паливо зможе забезпечити енергією людство протягом часу до 1 млрд. років. Цим пояснюється та велика увага, яка надається у всьому світі відшукуванню шляхів здійснення керованих реакцій ядерного синтезу. Зараз в багатьох країнах світу ведеться велика теоретична й експериментальна робота з одержання керованих термоядерних реакцій.

Така реакція, як показують розрахунки, може проходити тільки при нагріванні реагуючих речовин до сотень мільйонів кельвінів при великій концентрації речовини (10^{20} – 10^{21} частинок в 1 м^3). Такої температури в принципі можна досягти шляхом створення в плазмі потужних електричних розрядів, нагріванням струмами високої частоти, ударними хвилями, методом адіабатного стиснення, використанням електронних або лазерних пучків тощо. Основне затруднення на цьому шляху полягає в тому, щоб утримати плазму з такою високою температурою протягом часу, до-

статнього для протікання термоядерного синтезу в більшій частині робочого об'єму.

Складним також є питання утримання плазми такої високої температури в обмеженій ділянці простору, оскільки виготовити для цього посудину неможливо (адже будь-яка речовина при цих температурах випарується). Єдино можливою є методика утримання високотемпературної плазми без її контакту із стінками камери, це досягається за допомогою дуже сильних магнітних полів. Однак до цього часу розв'язати цю задачу не вдається через нестійкість плазми, пов'язану, в першу чергу, з *пінч-ефектом* (ефектом самоствиснення розряду). Нестійкість призводить також до дифузії заряджених частинок через магнітні «стілки». Тобто на сьогодні занадто великими є *технічні труднощі* у вирішенні цієї найважливішої проблеми, що стоїть перед людством.

В той же час поява термоядерної енергетики спричинить нові екологічні проблеми. Роботу термоядерного реактора будуть супроводжувати високі рівні нейтронної та гамма-радіації. Не можна виключати також можливість аварій і вибухів реакторів.

На межі ХХ і ХХІ століть стало зрозуміло, що світових запасів вугілля, нафти і газу, при сучасному їх використанні, вистачить десь на 100–200 років. Можна розраховувати, що в подальшому можуть бути відкриті нові родовища, буде зростати і використання енергетичних ресурсів, і тому розраховувати на збільшення указаних строків не доводиться. Необхідно також враховувати, що ці ресурси не будуть дешевими. В зв'язку з цим буде зростати роль альтернативних відновних джерел енергії (сонячне випромінювання; течії рік; вітер; припливи морів і океанів; геотермальні; біосферні та інші). Але треба враховувати, що ці джерела енергії мають малу густину потужності, не є екологічно чистими і можуть використовуватись тільки в окремих місцевостях. Тому в невизначеному майбутньому реальною альтернативою залишається атомна енергетика, яка спочатку буде використовув-

вати реактори на швидких нейтронах, а згодом — набагато перспективніші термо-ядерні реактори, дослідження і розробка яких інтенсивно проводяться.

Висловлюю щире подяку професору кафедри фізики ХНУБА Кроту Ю.Є. за допомогу і цінні зауваження при підготовці статті.

Література

1. Черногор, Л.Ф. Природознавство. Интегрирующий курс : навч. посібник. — Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2005. — 524 с.
2. Крот, Ю.Є., Макеева, Л.Ф. Переваги атомного теплопостачання та наявність в Україні власних природних ресурсів для його здійснення. // Наук. вісник будівництва. — Харків : ХДТУБА : ХОВАБУ, 2005. — Вип. 30, Т. 2. — С. 209–217
3. Родионов, В.Г. Проблемы традиционной энергетики // Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. — М. : ЭНАС, 2010. — С. 22–352 с.

30.01.2013



На книжну полку

Образовательный потенциал Харьковщины : монография / Нар. укр. акад. ; под общ. ред. Е. В. Астаховой, Е. А. Подольской ; [авт. кол.: В. И. Астахова и др.]. — Харьков : Изд-во НУА, 2013. — 504 с.

ISBN 978-966-8558-84-9



В монографии раскрывается образовательный потенциал Харьковщины в контексте повышения конкурентоспособности региона, исследуются этапы и особенности становления и развития системы образования на Харьковщине, анализируются экономические и социокультурные предпосылки развития образовательного пространства области в новых исторических условиях. На основе выделения основных тенденций в сфере образования описывается современная образовательная парадигма и направления модернизации образования в Харьковском регионе. Дается определение сущности и базовых принципов функционирования непрерывного образования, выступающего определяющим фактором обновления всех образовательных систем в современную эпоху. Представлен практический опыт Харьковского гуманитарного университета «Народная украинская академия», где более двух десятилетий ведется эксперимент

по становлению уникальной модели непрерывного образования.

Для студентов, аспирантов, преподавателей, научных и административных работников, для всех, интересующихся проблемами развития образования и науки в Украине и в Харьковском регионе.