

А.А. ХАЛАТОВ

НОВІ ОБРІЇ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Сьогодні у світовій енергетиці спостерігається тенденція, яку з повним правом можна назвати «ренесансом» атомної енергетики. Це пов'язано з усвідомленням необхідності перегляду структури глобального енергетичного балансу у бік зменшення частки вуглеводнів. Атомна енергетика, яка характеризується меншою паливною складовою, а, отже, більшою ціновою стабільністю порівняно з класичними вуглеводнями, за умови безпечної експлуатації атомних енергетичних об'єктів може зробити істотний внесок у процес стійкого економічного розвитку. Таким ресурсом важливо скористатися Україні, енергетична залежність якої має загрозливі для держави масштаби. У цьому контексті варто засвоїти здобутки і досвід країн, що володіють сучасними ядерними технологіями, зокрема Росії. Про це — у публікації, підготовленій автором за матеріалами зарубіжних інтернет-видань.

Росія вже більше п'ятдесяти років є одним зі світових лідерів у галузі атомної промисловості та ядерної енергетики. В 1954 р. у м. Обнінськ (Московська область) була введена в експлуатацію перша в світі атомна електростанція потужністю 5 МВт, у 1957 р. спущено на воду атомний підводний човен, а потім і атомний криголам. Ядерні реактори для підводних човнів стали згодом основою для створення кількох поколінь графіто-водяних і водо-водяних реакторів для розв'язання оборонних завдань і створення атомних електростанцій. Сьогодні в Росії перебувають в експлуатації 10 атомних електростанцій (31 блок) загальною потужністю 23 ГВт, серед яких 11 блоків із графіто-водяними реакторами

РВПК-1000 (реактор великої потужності каналний), які використані в конструкції Чорнобильської АЕС. В цілому, в світі експлуатують 65 ядерних реакторів російського виробництва загальною потужністю 48 ГВт, що складає 13% від потужності всіх 440 функціонуючих ядерних реакторів. З-поміж 28 блоків АЕС, які споруджують сьогодні у всьому світі, 7 — російського виробництва (Індія, Китай, Іран).

Найбільші розвідані запаси урану — в Канаді, Австралії, Казахстані і Нігері. Запаси уранової руди в Росії складають трохи більше 600 тис. тонн, її річне споживання знаходиться в межах 15 тис. тонн, а шахтний видобуток — всього 3 200 тонн. У зв'язку з

© ХАЛАТОВ Артем Артемович. Член-кореспондент НАН України. Завідувач відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики НАН України (Київ). 2007.

цим, починаючи з 2007 р., Росія одержуватиме щорічно близько 6 тис. тонн уранової руди з Казахстану, де створюється спільне російсько-казахстанське підприємство. Не зважаючи на це, Росія є світовим лідером з експорту ядерного палива (її частка на світовому ринку складає 40%), вона також володіє майже 50% світових потужностей із збагачення урану.

Після аварії на Чорнобильській АЕС і розпаду СРСР атомно-енергетичний комплекс Росії деякою мірою втратив свої передові позиції. Впродовж останніх двадцяти п'яти років слабо розвивалися нові технології, а стан виробничих потужностей значно погіршився. Нині атомне машинобудування Росії не в змозі забезпечити як великий обсяг робіт, так і високий технологічний рівень виробництва.

Враховуючи ситуацію, що склалася, уряд Росії в 2006 р. розробив широкомасштабну стратегічну програму розвитку атомно-енергетичного комплексу країни, спрямовану на залучення до 2015 р. 11 ГВт додаткових енергетичних потужностей. Починаючи з 2009 р. упродовж перших трьох років щорічно вводиться по 2 ГВт потужності, а решта 5 ГВт буде введена в дію протягом наступних чотирьох років. Програма передбачає також розвиток «плаваючих атомних електростанцій» малої і середньої потужності (до 70 МВт). Як результат, до 2015 р. Росія планує мати 34 ГВт потужностей ядерної енергетики. В цьому випадку відносна частка ядерної енергетики Росії складе 18,5% у 2015 р., а за умов подальшого розвитку – 30% у 2030 р. Сьогодні вона складає лише 16% (Франція – 78%; США – 20%; ЄС – 15%; Китай – 2,3%).

Одночасно Росія планує значно посилити свої позиції на міжнародному ринку. В її планах створювати щорічно дві атомні електростанції за рубежом. Очікується, що шість блоків з реакторами ВВЕР-1000 буде

споруджено на Тайвані, чотири блоки – в Індії, по одному – в Ірані та Болгарії.

Бюджет російської атомної програми до 2015 р. складає близько 55 млрд дол. США. Близько 25 млрд надійде з державного бюджету і 30 млрд – від Росенергоатома – національної компанії, що займається будівництвом і експлуатацією атомних електростанцій. Імовірно, Росенергоатом використовуватиме фінансові ресурси Газпрому Росії, який укрив зацікавлений у зниженні витрати природного газу всередині країни і продажу газових ресурсів, що вивільняються, за кордон. Сьогодні в Росії 48% електричної енергії генерується на електростанціях, котрі використовують природний газ, ціна якого всередині країни (35–40 дол. США за 1000 м³), що в кілька разів менше від його експортної ціни.

Як основу для розвитку ядерної енергетики Росія планує використовувати водо-водяний корпусний ядерний реактор ВВЕР-1000 потужністю 1000 МВт, розроблений ще на початку 70-х років минулого століття. Цей реактор має середній термін служби 40 років, при вартості 1 КВт встановленої потужності 1300–1500 дол. США. Останніми роками за рубежом з'явилися досконаліші ядерні реактори аналогічної потужності – надійніші, з довшим строком експлуатації. Серед них реактор SWR-1000 (AREVA, Франція-Німеччина) – термін експлуатації 60 років, вартість 1 КВт встановленої потужності 1200 дол. США, і реактор AP-1000 (Westinghouse) з таким самим терміном експлуатації при вартості 1 КВт встановленої потужності 1300 дол. США.

Потужність одиничного блоку ядерного реактора останніми роками стала вирішальним чинником на міжнародному ринку. Французько-німецький реактор EPR-1600 (AREVA) має потужність 1600 МВт, а термін служби 60 років при вартості 1 кіловата

встановленої потужності близько 1700 дол. США. Японсько-американський реактор ABWR-1500 (General Electric, Toshiba, Hitachi) має потужність 1500 МВт при вартості 1 кіловату встановленої потужності 1500 дол. США.

Враховуючи ці тенденції, Росія нещодавно ініціювала проект створення ядерного реактора ВВЕР-1200 підвищеної потужності (1200 МВт), при розробці якого планується зменшити капітальні витрати, підвищити безпеку і поліпшити екологічні характеристики. Після аварії на Чорнобильській АЕС в планах Росії немає створення блоків на основі графіто-водяного реактора РВПК-1000. Можливо, що з часом такий реактор буде розконсервованій на Курській АЕС, будівництво якого було «заморожено» після Чорнобильської аварії.

Росія є визнаним лідером у створенні ядерних реакторів на швидких нейтронах (реакторах-брідерах, далі – «брідери»), які використовують уран-238 на відміну від всіх інших реакторів, що працюють на урані-235. Брідери можуть здійснювати замкнутий паливний цикл, що дає змогу розв'язати проблему дефіциту природного уранового палива, і з цієї причини вони розглядаються як важливий компонент енергетики майбутнього. В 1980 р. брідер БН-600 потужністю 600 МВт було введено в дію на Белоярській АЕС, він є практично єдиним успішно експлуатованим промисловим брідером у світі. Головна проблема, яка стоїть сьогодні на порядку денному, – це досягнення конкурентоспроможності енергоблоків з швидкими реакторами і натрієвим теплоносієм.

Сьогодні на Белоярській АЕС створюється брідер БН-800 потужністю 800 МВт, який буде введено в експлуатацію до 2010 р. Його розробка базується на серйозній фінансовій програмі вартістю більше 1,6 млрд дол. США. Збільшення потужності в практично незмінному корпусі реактора, вико-

ристання накопиченого багаторічного досвіду і принципово нових рішень дали можливість зменшити питому металоємність реакторної установки на 34%. В планах Росії створення у найближчі роки брідера потужністю 1800 МВт (теплова потужність реактора 4000 МВт). Порівняння основних параметрів АЕС з реактором БН-1800 та електростанцій з ВВЕР-1000 показує, що енергоблок з БН-1800 за своїми техніко-економічними характеристиками не поступається енергоблокам з легководними реакторами.

Розробкою брідерів різної потужності займаються нині в 10 країнах. Найбільш активно це робить Франція, фахівці якої працюють над експериментальним брідером потужністю 563 МВт і мають на меті створення промислового брідера потужністю 1200 МВт. Японія вже має дослідницький брідер потужністю 280 МВт, що, як очікується, приведе до промислової експлуатації брідерів у 2050 р. Китай (у співпраці з Росією) планує промислове використання брідерів до 2030 р., а Індія – до 2020 р. Сумарна тривалість роботи ядерних енергетичних установок із швидкими реакторами у світі перевищує 300 реакторо-років.

Енергетичне машинобудування є одним з найважливіших компонентів ядерної енергетики. Через низку причин Росія сьогодні не може виробляти у необхідній кількості високотехнологічні парові турбіни для атомних електростанцій. В переважній більшості випадків у конструкції російських енергетичних блоків використовуються швидкохідні турбіни (3000 об/хв.). Проте останніми роками світова тенденція направлена у бік використання тихохідних парових турбін (1500 об/хв.).

Швидкохідні турбіни менші за розміром і легші за вагою (приблизно на 30%). В середньому швидкохідні турбіни на 20% дешевші у виготовленні і монтажі. Про-

те тихохідні турбіни більш технологічні і надійніші, причому найповніше переваги тихохідних турбін виявляються при потужності реактора понад 1500 МВт. У зв'язку з цим фірми Siemens, Alstom і японські виробники в своїх майбутніх проєктах планують використовувати тільки тихохідні турбіни.

Оснащення атомних електростанцій блоками з тихохідними турбінами важливо для російських міжнародних проєктів. Китай готовий замовити Росії 6–8 блоків за умови оснащення їх тихохідними турбінами. Індія та Іран також висловили бажання обладнати їхні блоки тихохідними турбінами.

Україна (СКТБ «Турбоатом», Харків) — єдиний на території СНГ виробник тихохідних парових турбін. З політичних мотивів Росія практично не співпрацює з нашою державою у сфері створення і промислового виробництва тихохідних турбін і шукає можливості кооперації з іншими іноземними компаніями. Зокрема, передбачається налагодження на території Росії виробництва тихохідних парових турбін на основі спільних підприємств із провідними світовими фірмами — General Electric, Alstom, Toshiba.

Розвиток атомно-енергетичного комплексу вимагає консолідації всіх підприємств цього циклу, включаючи видобуток урану, створення елементів ядерного циклу, будівництво централізованих сховищ для відходів ядерного палива, спорудження і реконструкцію енергоблоків. Невеликі компанії не здатні конкурувати в цих умовах, такі завдання в змозі вирішувати тільки міжнародні корпорації або великі концерни, що знаходяться під контролем держави.

Росенергоатом і недавно створений *Укр-атомпром* є яскравими прикладами вели-

ких концернів у атомно-енергетичній промисловості. Створення Укр-атомпрома — це перший крок до перетворення ядерно-промислового комплексу України в інвестиційну галузь промисловості. Пріоритетними напрямками Укр-атомпрома є ядерна безпека, будівництво і подовження експлуатації ядерних енергоблоків, підвищення ефективності і надійності АЕС, експорт електроенергії до Європи. Для розв'язання цих завдань концерн планує до 2015 р. здійснити інвестиції у розмірі 7,5 млрд дол. США (3 млрд — упродовж 2011–2015 рр.) в атомно-енергетичний комплекс України і здійснити корпоратизацію основних підприємств галузі. В цілому, до 2030 р. у вітчизняну атомну енергетику буде інвестовано майже 50 млрд дол. США. Нещодавно до складу Укр-атомпрому включено і Харківський СКТБ «Турбоатом», який розробляє і створює тихохідні парові турбіни для атомних електростанцій.

Досягнення масштабних цілей розвитку атомно-енергетичного комплексу неможливе без підготовки висококваліфікованих інженерних і дослідницьких кадрів. Останніми роками в Росії велика увага приділяється удосконаленню учбових програм для вищих навчальних закладів, розширяється номенклатура інженерно-фізичних спеціальностей для атомно-енергетичного комплексу. Проводяться наукові конференції і симпозиуми, на яких розглянуто багато питань щодо створення, функціонування і безпеки ядерних енергетичних установок. Таку роботу варто активізувати і в Україні.

1. Forecast International.
2. www.service.power.alstom.com.
3. International Turbomachinery www.turbomachinery-mag.com.
4. www.ng.ru.
5. www.ruatom.ru.