

ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ ТИПІВ НОВИХ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ ДЛЯ АЕС УКРАЇНИ

Аналітична записка

*Завідувач відділом, к.т.н. М.Г.Земляний
Науковий співробітник Т.В. Рязова*

Загальна характеристика проблеми. Ядерна енергетика виробляє біля 50% електроенергії, яка споживається в Україні. На сьогодні в країні працює 15 ядерних реакторів (ЯР) на 4 АЕС загальною потужністю 13,8 ГВт. З грудня 2010 року починають закінчуватися терміни експлуатації ЯР. Більшій частині з них можна продовжити цей термін на 10-15 років. Для забезпечення країни електроенергією в майбутньому вже сьогодні потрібно думати про будівництво нових ЯР, тим більш, що теплові електростанції ще в більшому ступені використали свій ресурс і є морально застарілими та екологічно небезпечними. Забезпечити потреби в електроенергії за рахунок нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) в повному обсязі є теж не реальним завданням, тому ядерна енергетика, принаймні в найближчі декілька десятків років, залишиться основою електроенергетичного комплексу країни.

Значне збільшення потужностей ядерної енергетики (до 29,5 ГВт) передбачено «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року»¹. Згідно «Концепції державної цільової економічної програми розвитку ядерної енергетики України на період до 2020 року»² (розроблена Мінпаливенерго України) до 2020 року в Україні планується експлуатувати 21 енергоблок з встановленою потужністю 20,6 ГВт. Для реалізації цих планів України потрібно вирішити низку проблемних питань. Головні з них це: пошук фінансових ресурсів для будівництва нових та для продовження термінів експлуатації існуючих ЯР, диверсифікація постачання ядерного палива; подальше підвищення ядерної безпеки, проблеми поводження з відпрацьованим ядерним

¹ Енергетична стратегія України на період до 2030 року, Розпорядження КМУ від 15 березня 2006 р. N 145-р, [Електронний ресурс] <http://zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc>.

² Проект «Концепції державної цільової економічної програми розвитку ядерної енергетики України на період до 2020 року», [Електронний ресурс] <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/>, листопад 2009.

паливом. Всі ці проблемні питання повинні враховуватись при прийнятті рішень щодо вибору типу нових ЯР для будівництва в Україні.

Спектр існуючих у світі ядерних технологій і компаній, які можуть на сьогодні їх реалізувати, є достатньо широким. Зростаюча технологічна складність і вартість проектів ядерної енергетики примушує світову спільноту шукати шляхи підвищення ефективності ядерної галузі і кооперувати зусилля. Доступ до інноваційних технологій і інформації дозволяє зменшити витрати на коштовні науково-технічні дослідження. На ринку ядерних технологій виникають альянси, серед найбільш відомих можна назвати такі³: AREVA NP(Франція) – Mitsubishi Heavy Industries (Японія), Westinghouse Electric (США) – Toshiba (Японія), Hitachi (Японія) - General Electric (США) та ін.

На сьогодні у 30 країнах світу експлуатується 437 ядерних реакторів, в стадії будівництва знаходяться ще 35 ядерних реакторів⁴. Кожна із країн, яка вирішила розвивати ядерну енергетику, робить свій вибір, спираючись як на існуючі досягнення у розвитку технологій, так і на специфічні, належні країні умови. Загальними тенденціями є наміри одержати ЯР високого ступеню безпеки, виконати вимоги щодо нерозповсюдження ядерної зброї, диверсифікувати постачання ядерного палива та оптимізувати фінансові витрати.

Стан та проблеми ядерної енергетики в Україні. На даний час в Україні працюють ядерні реактори тільки російського виробництва, з них 13 – типу ВВЕР-1000, 2 реактори - типу ВВЕР-440. Терміни їх експлуатації складають 30 років. Дати планового виводу із експлуатації більшості ядерних енергоблоків припадають на період 2010 – 2020 років (див. табл. 1.).

Дванадцяти ядерним блокам після закінчення їх планових термінів експлуатації планується продовжити ресурс на строк 10 – 15 років. Таким чином, задля збереження виробітку електроенергії хоча б на попередньому

³ А.В.Кацай, В.Н.Нуждин. Глобальный ядерный рынок и стратегии Атомэнергопрома в дележе «ядерного пирога». // Атомная стратегия XXI. - №10. - 2007, [Електронний ресурс] <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=1122>.

⁴ АЭС мира, итоги года - 2 в плюсе, 3 в минусе, 11 в уме // [Електронний ресурс] <http://www.runwater.ru/node/949>, 13.01.10.

рівні необхідно, щоб після 2020 – 2025 років працювали вже нові енергоблоки. Враховуючи терміни проектування і будівництва ядерних потужностей, рішення щодо нового будівництва необхідно приймати вже найближчим часом. Тим більш, що бажаючих розмістити замовлення на обмежених потужностях світових компаній, які будують ЯР, на сьогодні є досить багато (щоб почати будівництво нової АЕС через п'ять років, вже сьогодні потрібно мати готовий проект АЕС)⁵.

Таблиця 1

Ядерні реактори України

АЕС	№ енерго-блоку	Тип реактору	Плановий термін виводу із експлуатації
Запорізька АЕС	1	ВВЕР-1000	грудень 2014
	2	ВВЕР-1000	липень 2015
	3	ВВЕР-1000	грудень 2016
	4	ВВЕР-1000	грудень 2017
	5	ВВЕР-1000	серпень 2019
	6	ВВЕР-1000	жовтень 2025
Південно-Українська АЕС	1	ВВЕР-1000	грудень 2012
	2	ВВЕР-1000	січень 2015
	3	ВВЕР-1000	вересень 2019
Рівненська АЕС	1	ВВЕР-440	грудень 2010
	2	ВВЕР-440	грудень 2011
	3	ВВЕР-1000	грудень 2016
	4	ВВЕР-1000	жовтень 2034
Хмельницька АЕС	1	ВВЕР-1000	грудень 2017
	2	ВВЕР-1000	серпень 2034

Серед найбільш важливих проблем, які потрібно вирішувати при виборі типу нового ЯР, є фінансова проблема, оскільки капітальні витрати в ядерній енергетиці є досить значними (вартість одного ядерного блоку складає декілька мільярдів доларів). Кошти потрібні також на продовження термінів експлуатації та виведення із експлуатації існуючих ЯР. На жаль, необхідні для цього кошти у НАЕК «Енергоатом» відсутні, що пояснюється низькими

⁵ Н.Гузенко. Розпад атома // Український діловий тижневик "Контракти".-2008. - № 13.

тарифами відпуску електроенергії протягом досить значного періоду часу. На сьогодні ці тарифи не відповідають реальним витратам на виробництво ядерної енергії з врахуванням усіх необхідних компонентів витрат (в тому числі, витрат на виведення ЯР із експлуатації, поводження з відпрацьованим ядерним паливом, інвестиційних витрат).

Іншою, не менш важливою проблемою, є постачання ядерного палива. На сьогодні все ядерне паливо імпортується із Росії, хоча вже зроблено перші кроки щодо диверсифікації його постачання. Дослідні зразки палива компанії «Westinghouse Electric» (США) проходять експлуатацію на Південно-Українській АЕС, укладено угоду з цією компанією щодо постачання палива на українські АЕС протягом 2011- 2015 років у обсягах 10-15 % від всього обсягу постачання (в разі успішної його дослідної експлуатації). Позитивними факторами є наявність в Україні значних запасів урану і цирконію та первинних виробництв щодо їх переробки, що дає перспективу для власного виробництва ядерного палива.

Проблема відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) в Україні вирішується лише частково: за рахунок будівництва пристанційних сховищ, вивозу частини ВЯП в Росію на переробку, планується будівництво централізованого сховища. Але в подальшому цю проблему необхідно буде вирішувати і тому нові технології переробки, які існують у світі (або тільки розробляються), повинні бути впроваджені і в Україні, що також потрібно враховувати при виборі стратегії розвитку нових ядерних потужностей.

В Україні існує також досвід експлуатації ЯР, відповідне науково-технічне забезпечення та кадри, які покривають поточні потреби експлуатації діючих АЕС. Але за оцінкою Мінпаливенерго на сьогодні фізична та моральна застарілість більшості дослідницьких установок, стендів, лабораторного обладнання, суттєве зменшення кваліфікованого персоналу підприємств науково-технічного та проектно-конструкторського характеру через відтік кадрів не дозволяють виконувати завдання подальшого розширення ядерної

енергетики, враховуючи амбіційні плани її розвитку як в країні, так і поза її кордонами.

Стан ядерної безпеки та вимоги до нерозповсюдження ядерних технологій в Україні контролюються МАГАТЕ і, загалом, відповідають міжнародним стандартам, втім вони потребують постійного вдосконалення в подальшому розвитку ядерної енергетики з врахуванням світових тенденцій з цих питань. Таким чином, ядерна енергетика на сьогодні успішно виконує завдання енергозабезпечення країни, але для виконання подальших завдань її розвитку, зокрема будівництва нових потужностей, необхідно провести значний обсяг заходів (організаційних, науково-технічних, промислово-технологічних, безпекових та ін.), а також забезпечити систематичне цільове фінансування елементів розвитку ядерно-енергетичного комплексу (ЯЕК) України практично за всіма його аспектами, розгортання яких повинне носити випереджаючий характер.

Можливості щодо створення нових ядерних потужностей в Україні.

Всі існуючі у світі ядерні реактори та реактори, які на даний час знаходяться у стадії розробки, можна віднести до одного з чотирьох класів⁶:

Реактори I покоління – промислові реактори, розроблені у 1950-х та 1960-х роках на базі військових реакторів. Ці реактори поступово виводяться з експлуатації.

Реактори II покоління – цей клас реакторів складають на даний час основу реакторного парку переважної більшості країн, які розвивають ядерну енергетику.

Реактори III покоління – деякі представники цього класу реакторів вже почали працювати на промисловій основі, але досвіду їх використання ще замало.

Нарешті, *реактори IV покоління*, які розробляються, їх промислове використання очікується почати через двадцять-тридцять років.

⁶ Ентоні Фрогатт. Ризики ядерних реакторів. // Ядерна енергія: міф і реальність. – № 2, грудень 2005р., [Електронний ресурс] http://www.boell.de/downloads/oekologie/ukr_nip2.pdf.

Саме реактори двох останніх поколінь повинні бути побудовані в Україні в майбутньому.

Відомо, що розробляється приблизно двадцять різних конструкцій реакторів III покоління. Більшість із них розроблені на основі існуючих реакторів II покоління з деякими модифікаціями, вони не містять кардинальних змін. Тільки окремі конструкції відрізняються оригінальними підходами.

Згідно інформації Світової Атомної Асоціації, реактори III покоління характеризуються:

- зниженням капітальних витрат і скороченням терміну спорудження;
- більшим коефіцієнтом використання потужності і довшим терміном служби (типовий термін складає 60 років);
- стандартизованою конструкцією для кожного типу (для прискорення ліцензування);
- простішою і надійнішою конструкцією, яку простіше обслуговувати і яка менш вразлива 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, як вважається, будуть економічно ефективними, більш безпечними, будуть виробляти менше довгоживучих радіоактивних відходів, та забезпечать вимоги до нерозповсюдження ядерних технологій та матеріалів на більш високому рівні⁷. Важливо і те, що системи IV покоління

⁷ Б.Є.Патон, Бакай О.С. та ін. Про стратегію розвитку ядерної енергетики в Україні / Патон Б.Є., Бакай О.С. та ін., Монографія, ННЦ Харківський фізико-технічний ін.-т, – 2008. – 62с.;

Л.Л. Литвинський. Роль ядерної генерації в енергетиці та можливі сценарії розвитку світового і національного ядерно-енергетичного сектору. // Національна безпека: Український вимір. - №3(22). – 2009, [Електронний ресурс] http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/nac_bez/2009_3/pdf/3/litvinski.pdf.

мають розв'язати ці питання способом, який робить ядерну енергетику більш прийнятною для громадськості.

Дослідження та розробка реакторів IV покоління проводяться в рамках програми Generation IV International Forum (GIF), в якій беруть участь десять країн (Аргентина, Бразилія, Великобританія, Канада, Корея, ПАР, США, Франція, Швейцарія, Японія) і EURATOM, а також в рамках ініційованого МАГАТЕ Міжнародного проекту розробки інноваційних ядерних реакторів та паливних циклів (INPRO), членами якого, окрім багатьох країн, є Україна і Росія. Їх мета – розробити інноваційні ядерні системи (реактори і паливні цикли), які б могли почати працювати після 2030 року. Особливий наголос робиться на системах, які виробляли б і електроенергію, і водень, а також спалювали довгоживучі радіоактивні ізотопи.

Для розробки було вибрано **шість основних концепцій реакторних систем**, які охоплюють спектр технологій з різними видами охолодження (газ, рідкий метал, вода під тиском), відкритим і замкненим паливними циклами, швидкими і тепловими нейтронами, з різними сферами застосування системи (виробництво електроенергії, управління відходами актинідів, виробництво водню).

Таким чином, існують широкі можливості щодо вибору та реалізації в Україні технологій III покоління на найближчу, та технологій IV покоління на більш далеку перспективу.

Можливі шляхи (основні альтернативні варіанти) розвитку ядерної енергетики на найближчі роки визначені у розробленій Мінпаливенерго Концепції⁸ в залежності від стану вітчизняного інфраструктурного забезпечення ЯЕК України. У разі повномасштабного розвитку останнього, планується розроблення національних проектів ядерних енергоблоків у кооперації із світовими розробниками реакторних установок (РУ), визначених

⁸ Проект «Концепції державної цільової економічної програми розвитку ядерної енергетики України на період до 2020 року», [Електронний ресурс] <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/>, листопад 2009.

за результатами відповідних конкурсів, розгортання за цими проектами робіт силами вітчизняної інфраструктури.

Збереження існуючого рівня вітчизняного інфраструктурного забезпечення ЯЕК України дозволить лише частково залучити його до спорудження нових ядерних потужностей, постачання яких буде здійснено іноземними компаніями за результатами відповідних конкурсів.

Серед ядерних технологій, передбачених для реалізації до 2020 року Концепцією, визначені варіанти з легководними (ВВЕР/PWR) та важководними (PHWR) реакторними установками. При цьому, на подальшу перспективу ці варіанти передбачають введення в експлуатацію енергоблоків з реакторними установками інших типів (реактори на швидких нейтронах, високотемпературні реактори та ін.) за умови наявності відповідних ліцензій.

Розглянемо більш детально переваги та недоліки можливих варіантів вибору реакторних установок.

Російські ядерні технології. У найближчій перспективі найбільш реально розраховувати саме на ці технології. Це, в першу чергу, завершення будівництва третього і четвертого енергоблоків Хмельницької АЕС до 2016 року. Переможцем міжнародного конкурсу з відбору проекту реакторної установки для цього будівництва у жовтні 2008 року Мінпаливенерго визнало російську компанію «Атомстройекспорт», яка представила проект В-392Б. Це удосконалена реакторна установка російської конструкції ВВЕР-1000. Реактор має підвищені показники з безпеки, він оснащений пасивною системою відведення тепла і додатковою системою аварійного охолодження. Збільшено його проектний ресурс — корпус реактора може працювати не 30, а 50—60 років. Кредит на суму 4—5 млрд. дол. обіцяє Росія, але за умови, що паливо для них буде російським. У загальній вартості поставок вона забезпечить 85% товарного кредиту — це стандартна схема підтримки Росією власного експорту (решту 15% забезпечить українська сторона)⁹.

⁹ Наталка Прудка. Ядерний локомотив. // Дзеркало тижня. - № 50. - 2009. [Електронний ресурс] www.zn.ua/2000/2229/68070.

Головними перевагами вибору цього ЯР є наявність в Україні досвіду експлуатації і науково-технічної бази, можливість одержання кредитних коштів на будівництво, можливість використання вітчизняних потужностей і кадрів.

Росія є одним із світових лідерів в галузі ядерної енергетики, володіє сучасними ядерними технологіями, в тому числі такими технологіями, як реактори на швидких нейтронах. Серед переваг співпраці з Росією в ядерній галузі можна також назвати доступ до потужностей збагачення урану, зокрема, у ядерному центрі у м. Ангарську, можливість в майбутньому побудувати реактори типу БН, БРЕСТ на швидких нейтронах із трансмутацією довгоживучих ядерних компонентів, одержати ядерне паливо високої якості та ін. Таким чином, партнерство з Росією відкриває для України доступ до новітніх розробок в області атомної енергетики¹⁰.

Серед проблемних питань, окрім необхідності диверсифікації ядерних технологій, можна виділити обмежені можливості російських потужностей («Атомстройекспорту») щодо побудови корпусів ЯР. На даний час ці потужності не забезпечують навіть саму Росію з огляду на її амбіційну програму розвитку ядерної енергетики (30 - 32 ЯР до 2030 року), не рахуючи експортні заявки на постачання ЯР в інші країни¹¹. Крім того, проекти будівництва АЕС, які виконуються за участі «Атомстройекспорту», зазнають постійних затримок і фінансових перевитрат. У Болгарії, при будівництві АЕС Белене, її вартість зросла більш як на 1 мільярд доларів ще до початку фактичного будівництва. Також зазнає значних затримок будівництво, яке виконує російська компанія в Індії – такі затримки несуть значні фінансові збитки замовникам.

Серед інших факторів не малу роль відіграє політичний вплив на вирішення питань енергетики, в тому числі і ядерної енергетики, позбутися якого не досить просто. Безумовно, російські технології повинні залишитися на українському ринку ядерних технологій, питання лише у їх частці серед інших

¹⁰ Борис Щербачев. Россия открывает Украине доступ к новейшим разработкам // [Електронний ресурс] <http://mignews.dream.net.ua/ru/articles/11790.html>

¹¹ Росія за 10 років побудує 30 ядерних реакторів. // Ukrnews. – 03.12.2009.

ядерних технологій, оскільки їх диверсифікація є одною із найбільш важливих вимог для України, питання її енергетичної незалежності.

Технології PWR. Удосконаленими технологіями цього типу (реактор з водою під тиском, III покоління) володіють багато компаній. До цих реакторів відносяться : Європейський European Pressurized water Reactor (EPR) – реактор , розроблений компанією AREVA на основі французької та німецької найновіших конструкцій 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 (окрім російських) реакторів, які можуть диверсифікувати ринок ядерних технологій в Україні, 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 ЯР цього типу II покоління достатньо довгий період часу;
- майданчики для будівництва можуть бути вибрані на території вже існуючих АЕС (на АЕС бажано мати ЯР одного типу);
- 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;
- ускладнюються вирішення проблеми нерозповсюдження та ядерного тероризму по мірі збільшення накопичених ядерних матеріалів.

Пропозиції щодо побудови в Україні нових ЯР цього типу вже надійшли від корейської компанії «KEPCO», яка має намір взяти участь у тендері на закупівлю технічних проектів реакторних установок в Україні. 14 травня 2009

року НАЕК «Енергоатом» та корейська «KEPCO» підписали «Меморандум про взаєморозуміння щодо співробітництва за проектом у сфері ядерної енергетики в Україні».

Перевагами корейських ЯР APR-1400 вважають скорочені строки будівництва та порівняно меншу вартість. На сьогодні «KEPCO» будує 8 ЯР у Південній Кореї, на черзі будівництво АЕС у ОАЕ, перший енергоблок якої повинен бути побудований у 2017 році.

Іншим можливим партнером України щодо будівництва ЯР типу PWR може стати компанія «Westinghouse Electric», зі своїм реактором AP-1000. Ця компанія вже вийшла на ринок України зі своїм ядерним паливом, тому співпраця з нею може бути розширена на побудову ЯР.

Конструкція AP-1000 базується на стандартній технології PWR «Westinghouse Electric», напрацювання якої складає більш ніж 2500 реакторо-років успішної експлуатації. Модульна конструкція забезпечує високий рівень стандартизації, високу якість будівництва, скорочені витрати на будівництво і експлуатацію. Реактори цього типу, окрім США, будуються у Китаї, Великій Британії та інших країнах¹².

Важководні реактори. Основним представником реакторів цього типу є канадські реактори ACR-700 – розвиток конструкції CANDU (Atomic Energy of Canada Limited). Індія розробляє AHWR14, еволюційну конструкцію реактора з важководним уповільнювачем та охолодженням киплячою легкою водою.

Перевагами реакторів цього типу є:

- використання природного урану без його попереднього збагачення;
- значна питома потужність;
- глибоке вигорання ядерного пального при мінімальній його витраті;
- низька паливна складова вартості електроенергії.

Найціннішою перевагою вважається те, що такі реактори без істотних переробок проекту можуть, в принципі, «спалювати» відпрацьоване ядерне

¹² В.Н.Нуждин, А.А.Просвірнов. Ожидания от проекта "АЭС-2006". // Атомная стратегия XXI. - №3. - 2007, [Електронний ресурс] <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=895>.

паливо реакторів RWP/ВВЕР, яке містить 0,9% урану-235 і 0,6% плутонію, тим самим збільшуючи об'єм доступних енергоносіїв, зменшуючи кількість ВЯП RWP/ВВЕР, підвищуючи ефективність використання ядерного палива.

Головними недоліками є:

- позитивний коефіцієнт реактивності (за заявами канадських розробників в останніх розробках ЯР цей недолік було усунуто);
- використання в якості охолоджувача важкої води, яка значно збільшує вартість проекту та є токсичною, що ускладнює експлуатацію;
- відсутність в Україні досвіду експлуатації таких ЯР, відповідних кадрів та допоміжних виробництв, які є щодо легководних ЯР¹³.

У травні 2008 року НАЕК «Енергоатом» та канадською компанією АЕСL було підписано Меморандум про взаєморозуміння щодо співробітництва в області ядерної енергетики, метою якого є визначення границь співробітництва для вивчення і просування промислового впровадження канадських ядерних технологій, зокрема, технології CANDU в Україні. На сьогодні важководні реактори, окрім Канади, працюють в Індії, Китаї, Кореї, Аргентині, Румунії, Пакистані. Продовжується будівництво нових реакторів цього типу.

Реактори з газовим теплоносієм. Це високотемпературні реактори з газоподібним теплоносієм RBMR, HTGR та надвисотемпературний реактор VHTR. Крім RBMR, кілька країн разом розробляють модульний газотурбінний гелієвий реактор 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 підтвержені їх технологічні і економічні переваги.

Найбільш важливими для України є такі **критерії вибору нових ЯР**, як: капітальні витрати і терміни спорудження, вартість та можливість диверсифікації постачання ядерного палива, виконання вимог щодо ядерної безпеки та нерозповсюдження ядерних технологій, ступінь задіяння

¹³ Андрій Деркач. CANDU на Україні - більш ніж сумнівна доцільність // Комітет екологічного порятунку України, [Електронний ресурс] http://eco-ua.org/index.php?item=&sub=5099&d_id.

вітчизняного науково-технічного та виробничого потенціалу при спорудженні і експлуатації ЯР, можливості еволюційного переходу до впровадження технологій IV покоління, вирішення проблеми поводження з ВЯП.

Капітальні витрати і терміни спорудження. Не дивлячись на масштабні плани вводу в експлуатацію нових потужностей у світі, витрати на спорудження нових ЯР зростають. З початку цього століття вартість спорудження ЯР зросла в 4 – 6 разів і досягає до 3 – 4 дол на 1кВт встановленої потужності¹⁴. Більш дорогими вважаються французькі та японські проекти ЯР, більш дешевими – російські і корейські проекти, але багато чого буде залежати від конкретних умов контрактів, ступеню залучення вітчизняних компаній до будівництва ЯР, умов надання кредитних коштів та ін. Загальною негативною тенденцією вже стало затягування термінів будівництва та зростання його вартості відносно заявлених проектних параметрів. Це додає невизначеності до оцінки вартості ЯР.

Головна проблема – знайти джерела фінансування. За словами голови ДП НАЕК «Енергоатом» Юрія Недашковського¹⁵ для залучення приватних інвестицій підприємства мають бути акціонерними товариствами, а в ядерній галузі таких немає. Один із варіантів — спільні, незалежні від НАЕК «Енергоатом» підприємства, що забезпечить «чистоту» картини для інвестора, звільнить будівництво від ризиків експлуатації, демонополізує ринок¹⁶. Істотна частка в спільному підприємстві може бути запропонована великій іноземній компанії або навіть іноземному урядові, які куплять електроенергію на основі довгострокового контракту. Іноземний інвестор може бути залучений для забезпечення «живих» грошей із наступним вигідним для нього поверненням вкладених коштів і відсотку на капітал, права якого можуть бути гарантовані часткою в спільному підприємстві до повернення кредитів.

¹⁴ Глобальное испытание для «ядерного ренессанса». // Ядерный ренессанс, - №5. – 2008, [Електронний ресурс] <http://www.nuclear.ru/>.

¹⁵ Олексій Дніпровський. Навіщо Україні нові ядерні реактори // Економічна правда, 30 вересня 2008, [Електронний ресурс] <http://www.epravda.com.ua/ukr/publications/>

¹⁶ Ольга ДЕРГАЧОВА. Микола Штейнберг: «У керівництві ядерною енергетикою не повинно бути політики та політиків» // Дзеркало тижня. - № 34 (663). - 15 — 21 вересня 2007, [Електронний ресурс] <http://www.dt.ua/3000/3320/60464/>.

Великі надії покладаються на отримання кредитних коштів від іноземних фінансових установ. Однак, як показує світовий досвід, одержати позику в Світовому або Європейському банку буде дуже важко, що пов'язано із значною вартістю і тривалістю будівництва нових реакторів, та складним дозвільним процесом.

У значній мірі, при будівництві нових реакторів «Енергоатому» доведеться розраховувати на власні заробітки та кошти держбюджету. Втім, це також нелегка задача. Адже, до 2030 року щорічно у галузь слід вкладати понад 10 мільярдів гривень. Як зазначив Юрій Недашковський, фінансування нового атомного будівництва буде можливо лише за умови підвищення тарифу на електроенергію, що виробляється АЕС.

Щодо **ядерної безпеки**, то на даний час всі реактори відповідають вимогам МАГАТЕ, хоча існують вимоги країн щодо окремих характеристик, які необхідно підтверджувати розробникам ЯР, наприклад, відносно стійкості захисної оболонки ЯР AP-1000 при падінні літака, або здібності протистояти стихійним явищам. Разом з тим, подальше підвищення рівня безпеки потребує все більших витрат, що впливає на конкурентоспроможність проекту. Тому вже з'являються думки щодо надання переваги більш дешевим проектам за рахунок безпеки (особливо після програшу компанією «AREVA» з реактором EPR тендеру на будівництво АЕС у ОАЕ корейській компанії «KEPCO» з реактором APR-1400)¹⁷.

Щодо **диверсифікації постачання ядерного палива**, то Україні потрібно максимально задіяти свої можливості щодо постачання природного урану, цирконію та інших компонентів ЯПЦ. Вибір буде залежати від конкретних пропозицій постачальників, починаючи від фінансування видобутку в Україні природного урану, цирконію, їх первинної переробки, і закінчуючи побудовою в Україні заводу з виробництва ядерного палива. Ще одною важливою характеристикою є вартість ядерного палива та вартість **поводження з ВЯП**. В цьому плані реактори типу CANDU мають переваги щодо можливості

¹⁷ AREVA может вернуться к реакторам II поколения.// [Електронний ресурс] <http://www.AtomInfo.ru/> 18.01.10

використання незбагаченого урану, але кількість ВЯП у нього буде значно більшою і в конструкції ЯР використовується досить коштовний і токсичний компонент – важка вода. Ці реактори можна також використовувати для спалювання ВЯП легководних реакторів, що загалом зменшить кількість небезпечних ВЯП, які підлягають захороненню. Але для цього потрібно організувати в Україні переробку цього палива, досвіду якого в країні немає.

Велике значення має можливість спиратися на **власний інжиніринг і власне атомне машинобудування**. Україна не має досвіду будівництва ядерних енергоблоків з нуля, тому перевага повинна надаватися тій компанії, яка запропонує тісну співпрацю з освоєнням технологій і розвитком вітчизняних підприємств відповідного профілю. Реакторні установки можуть виготовлятися в Україні на заводах важкого і енергетичного машинобудування Харкова, Сум, Дніпропетровська, Краматорська, Маріуполя та інших міст, які можуть стати надійними партнерами компаній-розробників РУ¹⁸. За думкою керівництва НАЕК «Енергоатом», при будівництві нових АЕС приблизно 50—70% використовуваного для цих цілей устаткування має вироблятися у власній країні¹⁹. Разом з тим, необхідно організувати відновлення та розвиток існуючого будівельно-монтажного та машинобудівного комплексів ядерної енергетики. Потрібно таким чином організувати планування й фінансування будівельно-монтажних робіт, щоб підрядні організації змогли вийти на подвоєння свого потенціалу через два-три роки після початку реалізації програми. Вкрай важливо відновити систему підготовки та перепідготовки кадрів будівельників і монтажників²⁰.

Відновлення науково-технічного та промислового потенціалу України, піднесення його до нового рівня дозволить в майбутньому перейти до впровадження ядерних **технологій IV покоління**. Серед них у найближчій

¹⁸ *Марія Сердюк*. «Енергоатом» будет разрабатывать реакторы с Канадой и Кореей // [Електронний ресурс] http://openbiz.com.ua/business/news/_Energoatom_budet_razrabativat_reaktori_s_Kanadoj_i_Koreej_.html, 27 мая 2009

¹⁹ *Наталка Прудка*. Ядерний локомотив. // Дзеркало тижня. - № 50. - 2009. [Електронний ресурс] www.zn.ua/2000/2229/68070

²⁰ *Ольга ДЕРГАЧОВА*. Микола Штейнберг: «У керівництві ядерною енергетикою не повинно бути політики та політиків» // Дзеркало тижня. - № 34 (663). - 15 — 21 вересня 2007, [Електронний ресурс] <http://www.dt.ua/3000/3320/60464/>

перспективі можна розглядати російські ЯР на швидких нейтронах. На даний час є досить великий досвід експлуатації цих реакторів (ЯР БН-600 на Білоярській АЕС), постійно підвищуються їх експлуатаційні, техніко-економічні і безпекові характеристики. Ці технології дозволяють застосувати замкнутий паливний цикл зі спалюванням актиноїдів і трансмутацією довгоживучих продуктів поділу в короткоживучі, радикально вирішити проблему зменшення обсягів радіоактивних відходів, які підлягають захороненню.

Перспективними для України в майбутньому є також канадські технології, які постійно розвиваються. Це – удосконалені ЯР типу CANDU (ACR-700), перспективні технології DUPIC, які дозволять провести переробку ВЯП легководних ЯР (його накопичиться на той час досить багато). Розвиток цих технологій дозволить зменшити кількість важкої води, вартість якої для сучасних реакторів складає 10% експлуатаційних витрат (як теплоносій використовувати замість важкої звичайну воду). Окрім того, ці технології дозволять в майбутньому перейти на використання торію і урану-238, запасів яких вистачить на сотні років. Наприклад, один із варіантів CANDU IX (потужністю від 925 до 1300 МВт) зможе працювати на незбагаченому і низькозбагаченому урані, змішаному оксидному уран-плутонієвому паливі, уран-торієвому та плутоній-торієвому паливі та використовувати ВЯП легководних ядерних реакторів²¹.

Науково-технічне та проектно-конструкторське забезпечення. Україна володіє значним науково-технічним потенціалом, зосередженим головним чином, у науково-дослідних і виробничих комплексах НАНУ. Спектр наукових досліджень, пов'язаних із ядерною енергетикою, є досить широким, до яких відносяться як фундаментальні, так прикладні дослідження, які проводяться у рамках низки програм розвитку ядерної енергетики: підвищення

²¹ Які реактори потрібні Україні? // Комітет екологічного порятунку України. // [Електронний ресурс] http://eco-ua.org/index.php?item=articles&sub=5038&d_id=5.

ядерної безпеки, продовження термінів експлуатації діючих ЯБ, створення ядерно-паливного циклу, поводження із ВЯП і радіоактивними відходами та ін.

Але систематичне недофінансування досліджень, суттєве зменшення кваліфікованого персоналу підприємств науково-технічного та проектно-конструкторського характеру через відтік кадрів, природне старіння та відсутність поповнення молодими працівниками за умов низького професійного престижу, не дозволяють на даний час виконувати завдання значного розширення парку ядерних реакторів, диверсифікації постачання ядерного палива, базуючись на сучасних новітніх технологіях побудови і експлуатації ядерних потужностей.

Вимоги максимального задіяння вітчизняного промислово-технологічного потенціалу при впровадженні нових ядерних технологій в Україні в разі побудови ЯР III покоління, визначення напрямів розвитку в країні ядерних технологій IV покоління потребує створення нової потужної системи науково-технічної підтримки ядерно-енергетичного комплексу. Наукомісткі технології цього комплексу потребують спеціальних систем підготовки фахівців як у вищих навчальних закладах, науково-дослідних і проектних установах, так і на виробництві. Тому першочерговим завданням є створення такої системи, забезпечення її державною підтримкою та належним фінансуванням.

Організаційне та законодавче забезпечення. Організаційно всі АЕС України управляються НАЕК «Енергоатом», яка, в свою чергу, підпорядкована Мінпаливенерго. У складі «Енергоатому» будівництвом з «нуля» нових і виведенням з експлуатації старих енергоблоків займається відокремлений підрозділ — «Атомпроектінжиніринг». Відповідно ці структури і повинні займатися питаннями розвитку ядерної енергетики в країні, розробляти відповідні програми, плани, визначати вітчизняних виконавців, принципи їх взаємодії та ін.

Існуюча законодавча база для цього – це Закони України : «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про дозвільну діяльність у сфері використання

ядерної енергії», «Про інвестиції», «Про державні цільові програми», «Про порядок прийняття рішень про розміщення, проектування, будівництво ядерних установок і об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами, які мають загальнодержавне значення».

Але законодавчо-нормативна база потребує удосконалення, в першу чергу, з питань проведення цінової і тарифної політики в електроенергетиці, визначення механізмів фінансового забезпечення ядерної енергетики, зокрема, довгострокових програм забезпечення галузі ядерним паливом, будівництва нових ядерних енергетичних блоків, програм поводження з ВЯП та ін.

Висновки та пропозиції

1. Ядерна енергетика складає основу електроенергетичного комплексу України і залишиться такою, принаймні, ще декілька десятків років. Продовження термінів експлуатації працюючих та введення в дію нових ядерних енергоблоків є головними питаннями ядерної галузі на найближчу перспективу.
2. «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року» та «Концепцією державної цільової економічної програми розвитку ядерної енергетики України на період до 2020 року» намічені амбіційні плани будівництва нових ядерних реакторів, здійснення яких неможливе без вирішення низки проблем таких, як: пошук джерел фінансування, диверсифікація постачання ядерного палива, подальше підвищення ядерної безпеки, поводження з відпрацьованим ядерним паливом, відновлення та розвиток вітчизняної науково-технічної і промислової бази ядерної галузі, удосконалення нормативно-законодавчої бази.
3. Стан науково-технічного та промислово-технологічного розвитку ядерної галузі, відсутність відповідного досвіду на сьогодні не дозволяє Україні самостійно будувати ядерні енергоблоки, тому потрібно вирішувати ці питання із залученням закордонних компаній і, відповідно, базуватися на їх технологіях, спектр яких є достатнім для вибору прийняттого варіанту з

точки зору безпеки експлуатації, нерозповсюдження ядерних технологій, поводження з відпрацьованим ядерним паливом та інших вимог.

4. Головною проблемою України на цьому шляху є пошук джерел фінансування, забезпечити яке за рахунок держави буде проблематично у зв'язку з необхідністю продовження термінів експлуатації працюючих енергоблоків, модернізації більшості ТЕС та низки інших потреб, тим більш, у післякризовий період.
5. Виходячи з цього, в першу чергу, повинні бути реалізовані домовленості із Росією щодо побудови двох енергоблоків типу ВВЕР – 392Б на Хмельницькій АЕС, для чого потрібно не затягувати підписання відповідних контрактів.
6. Разом з тим, існуюча на сьогодні монопольна залежність від Росії щодо ядерних технологій потребує їх диверсифікації. Найбільш прийнятним варіантом для цього може бути впровадження в Україні технологій PWR, що пояснюється їх близькістю до технологій ВВЕР і, відповідно, наявністю досвіду експлуатації, науково-технічної бази і фахівців, можливістю використання площадок вже існуючих в країні АЕС.
7. Серед реакторів типу PWR найбільш прийнятними варіантами можуть бути ядерний реактор європейського виробництва – EPR, реактор AP-1000 (Westinghouse) та реактор південно-корейського виробництва APR-1400. Реактори цього типу потрібно будувати у найближчий період. Постачальника ЯР визначити за результатами тендеру, виходячи із конкретних пропозицій щодо технічних та економічних характеристик, умов фінансування, ступеню залучення вітчизняного промислового потенціалу, умов постачання ядерного палива, безпеки та інших вимог.
8. Враховуючи тенденції зменшення світових запасів урану-235, вимоги ядерної безпеки та нерозповсюдження в подальшому необхідно впровадити в Україні технології для замикання ядерного паливного циклу, що дозволило б суттєво зменшити кількість небезпечних ВЯП, які підлягають захороненню та використати більш поширені в природі ядерні

елементи, зокрема, торій. Серед цих технологій – удосконалені важководні технології на базі реактору типу CANDU, який, за заявами розробників, зможе працювати на різних видах ядерного палива (незбагаченому і низькозбагаченому урані, MOX паливі, ВЯП легководних ЯР, уран-торієвому та плутоній-торієвому паливі), а також технології на швидких нейтронах, зокрема, на базі російських реакторів типу БН та БРЕСТ.

9. При підготовці, будівництві і подальшій експлуатації нових ядерних потужностей необхідно максимально можливо задіяти вітчизняний науково-технічний і промисловий потенціал України, для чого вже сьогодні потрібно підтримати наукові і проектні розробки, покращити матеріально-технічну базу для проведення досліджень і випробувань, активізувати участь українських фахівців та профільних організацій в реалізації міжнародних проектів з перспективного розвитку ядерної енергетики та суміжних галузей науки і техніки, а також розширити підготовку фахівців різного профілю для будівництва і експлуатації об'єктів ядерної галузі.
10. Для покращення фінансового забезпечення ядерної галузі необхідно змінити підходи до формування тарифів на електроенергію АЕС, які б враховували витрати на створення в Україні елементів ЯПЦ, продовження термінів експлуатації та зняття енергоблоків з експлуатації, розвиток, науково-технічного забезпечення, надання соціальних гарантій працівникам АЕС тощо.