

З КАФЕДРИ ПРЕЗИДІЇ НАН УКРАЇНИ



КАРНАУХОВ

Іван Михайлович — академік НАН України, заступник генерального директора Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут»

ПРО ПІДГОТОВКУ ДО ЗАПУСКУ ДЖЕРЕЛА НЕЙТРОНІВ НА ПІДКРИТИЧНІЙ ЗБІРЦІ

**Стенограма наукової доповіді на засіданні
Президії НАН України 7 жовтня 2015 року**

Доповідь присвячено результатам виконання робіт із завершення спорудження та введення в експлуатацію новітньої ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів».

Упродовж кількох років у Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ) спільно з Аргонською національною лабораторією (США) ведуться роботи зі створення ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів». Метою проекту є розроблення та дослідження властивостей перспективних ядерних систем, якими є підкритичні збірки, керовані прискорювачами заряджених частинок, а також створення в Україні сучасної експериментальної бази для проведення фундаментальних і прикладних досліджень на основі безпечного інтенсивного джерела нейтронів.

В Україні є добре розвинена ядерна електроенергетика. Більш як половина загального обсягу виробництва електроенергії генерується на ядерних блоках водо-водяного типу (ВВЕР). Такі системи характеризуються високою економічною ефективністю і досить високою надійністю. Безсумнівно, реактори водо-водяного типу становитимуть основу вітчизняної ядерної електроенергетики ще протягом багатьох років, проте вони мають певні недоліки — і інженерні (у разі ядерного інциденту може виникнути некерована ланцюгова реакція, втрата теплоносія тощо), і екологічні (розплавлення активної зони, накопичення радіонуклідів та трансуранових елементів, причому період піврозпаду останніх становить тисячі років), не можна виключати і можливість ядерного тероризму.

В основі роботи ядерного реактора лежить розмноження частинок — нейтронів. Тому одним з найважливіших параметрів є



Загальний вигляд майданчика установки. На передньому плані — будівля насосної станції і градирні; на другому плані — інженерно-лабораторний корпус, що примикає до експериментального залу установки



Експериментальний зал

ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів k_{ef} , який визначається як співвідношення числа нейтронів наступного покоління до числа нейтронів попереднього покоління в усьому об'ємі активної зони ядерного реактора. Уся нині діюча у світі ядерна енергетика працює на закритичних установках, у яких $k_{\text{ef}} > 1$.

Сталий розвиток сучасної ядерної енергетики потребує нових ядерних технологій, серед яких на особливу увагу заслуговують системи на основі підкритичних збірок, що керуються прискорювачами. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів у таких установках $k_{\text{ef}} < 1$. У Законі України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» термін *ядерна підкритична установка* визначається як об'єкт, призначений для поводження з ядерними матеріалами і розташований у межах ви-

значеної проектом території, конструкція і технічні характеристики якого унеможливають виникнення самопідтримувальної ланцюгової реакції поділу за будь-яких умов експлуатації.

Отже, в ядерних підкритичних установках виникнення ядерного інциденту є абсолютно неможливим, оскільки самі конструктивні особливості об'єкта повністю виключають самопідтримувальну ланцюгову реакцію поділу ядер. Це кардинально змінює підходи до гарантування ядерної безпеки, дає змогу спалювати все уранове паливо і сприяє більшій екологічності ядерної енергетики.

Дослідження з метою застосування ядерних підкритичних установок розпочалися у світі кілька десятиліть тому. У різних країнах — Франції, Бельгії, Італії, США, Індії, Китаї, Росії, Білорусі та ін. — уже функціонують такі об'єкти, і на них відпрацьовуються основні принципи роботи установок. Однак усі вони є установками з нульовим виходом теплової енергії. Для того щоб відбувалося виділення тепла, потрібне досить потужне зовнішнє джерело нейтронів, яке має компенсувати їх нестачу в системі. Сучасний розвиток прискорювальної техніки уможливив створення таких джерел нейтронів із достатньою потужністю.

Споруджена у ННЦ ХФТІ ядерна підкритична установка «Джерело нейтронів, заснована на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів» є втіленням дійсно унікального проекту*. Це буде перша і поки що єдина у світі установка, заснована на підкритичній збірці, зі значною загальною тепловою потужністю — 260 кВт. Зараз Європейський Союз розробляє проект подібної установки, розрахованої на значно більшу теплову енергію, але її будівництво у Бельгії завершиться не раніше 2022 р.

Проект джерела нейтронів на підкритичній збірці вийшов уже на завершальну стадію. У процесі проектування багато уваги було

* Від редакції. Більш детальну інформацію про ядерну підкритичну установку «Джерело нейтронів, заснована на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів» див. «Вісник НАН України», 2014, № 9.

приділено системам безпеки. З метою унеможливлення ядерного тероризму використовується низькозбагачене паливо (менш як 20% за ізотопом U^{235}). До будівлі, в якій розміщена сама установка, висуваються надзвичайно високі санітарно-екологічні вимоги. Усю систему біологічного захисту виконано з важкого бетону щільністю $4,8 \text{ т/м}^3$ і загальною масою понад 600 т. Втрати пучка зведено до мінімуму, тобто практично весь пучок поглинається мішенню. Для охолодження мішені й активної зони підкритичної збірки розроблено устаткування перших контурів охолодження і досить складну систему діагностики.

Основні параметри установки:

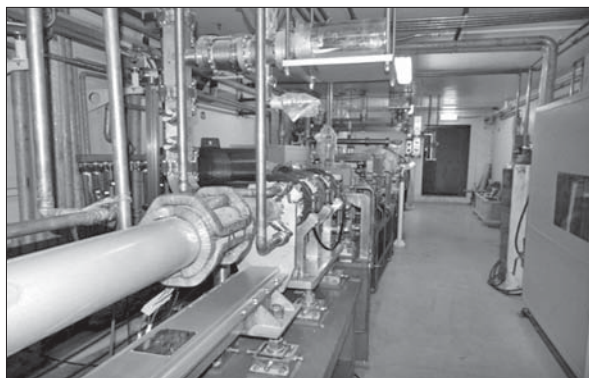
- потужність пучка електронів — 100 кВт;
- енергія пучка електронів — 100 МеВ;
- вихід нейтронів з мішені — $(2,2-4,5) \times 10^{14} \text{ н} \cdot \text{с}$;

- матеріал мішені — U/W ;
- збагачення палива U^{235} — 19,7%;
- теплоносій — H_2O ;
- матеріал відбивача — графіт + берилій;
- загальна теплова потужність — 260 кВт.

Найбільше уваги з точки зору безпеки було приділено таким системам установки, як:

- підкритична збірка з низькозбагаченим паливом і комбінованим відбивачем нейтронів;
- лінійний прискорювач з каналом транспортування пучка електронів;
- нейтроноутворююча мішень;
- перші контури охолодження мішені і підкритичної збірки;
- перевантажувальна машина;
- біологічний захист підкритичної збірки;
- автоматизована система контролю та управління;
- басейн витримки відпрацьованого палива і опромінених мішеней;
- система спецвентиляції;
- система спецканалізації;
- система радіаційного контролю;
- система фізичного захисту.

Ще на початку розроблення цього проекту українська сторона наполягала на тому, щоб установка була придатна для широкого спектра досліджень. У результаті ми тепер маємо



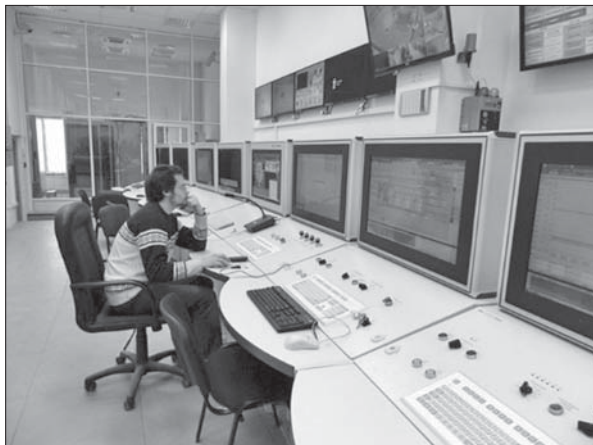
Тунель лінійного прискорювача електронів



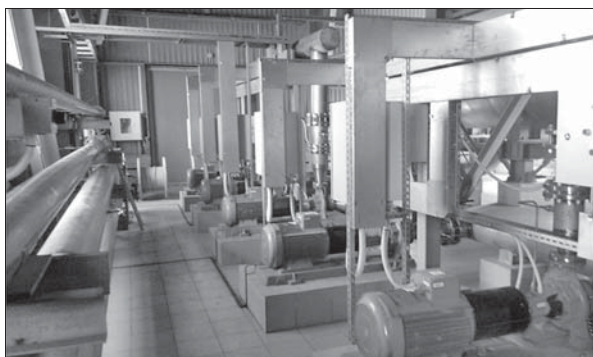
Устаткування першого контуру охолодження

зону швидких нейтронів, зону повільних нейтронів і в наступні роки плануємо створити систему холодних нейтронів для вивчення живої матерії та наноструктур.

Важливою частиною робіт є дослідження параметрів експлуатації самих теплових підкритичних збірок. Насамперед це стосується системи контролю реактивності підкритичної збірки. Найточнішим і найнадійнішим на сьогодні методом вимірювання ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів k_{ef} є метод відношення площ. Він забезпечує отримання референтних значень реактивності підкритичної збірки. Методики вимірювання експериментальних значень реактивності планується відпрацьовувати вже під час фізичного пуску установки.



Пульта управління установкою



Устаткування другого контуру охолодження

Проект пройшов уже всі основні етапи:

- 2010–2011 рр. — розроблення концептуального проекту установки;
- 2011–2012 рр. — державна експертиза проекту;
- 2013 р. — затвердження проекту Кабінетом Міністрів України;
- 2014 р. — завершення будівельних робіт;
- 2015 р. — підготовка до введення в експлуатацію і фізичний пуск установки.

Звісно, це був нелегкий шлях. Складність реалізації проекту передусім була пов'язана з новизною конструкції та унікальністю експлуатаційно-технічних характеристик об'єкта. Як я вже зазначав, аналогів цієї установки у світі немає і найближчим часом не передба-

чається. Ситуація ускладнювалася дуже стислими термінами реалізації плану робіт. Більш того, інвестор наполягав, щоб процес виконання проекту розпочався відразу після підписання міждержавної угоди, і ініціював договірні відносини з постачальниками обладнання та компаніями, що надають послуги. Під час роботи також з'ясувалося, що на ринку немає багатьох необхідних компонентів, узгоджених для використання в ядерних установках, тому постала необхідність імпорتنних поставок.

Однак найбільшою проблемою було те, що на момент початку робіт в Україні взагалі не було нормативно-технічної бази щодо цієї абсолютно нової сфери науково-практичної діяльності. Крім того, повністю були відсутні прототипи документів для використання в процесах розроблення технічної та експлуатаційної документації. Спільно з Державною інспекцією ядерного регулювання України, на яку покладено функції із забезпечення формування та реалізації державної політики у сфері безпеки використання ядерної енергії, було розроблено більше сотні нормативних та експлуатаційних документів, причому деякі з них мають вигляд багатотомного видання.

Отже, на сьогодні проект зі створення новітньої ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів, засноване на підкритичній збірці, що керується лінійним прискорювачем електронів» перебуває на завершальній стадії, що проходить у три етапи — індивідуальні і функціональні випробування, комплексні випробування та фізичний пуск установки.

Для проходження цих етапів потрібно було розробити програму дій, узгоджену з Державною інспекцією ядерного регулювання України. Кожна система за графіком має окрему дату проведення випробувань, останні з яких планується завершити наприкінці 2015 р.

Станом на сьогодні всі роботи відбуваються за графіком, який узгоджено з американською стороною.

Дякую за увагу.

За матеріалами засідання підготувала О.О. МЕЛЕЖИК