

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕРМОЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ СВІТУ І УКРАЇНИ

© 2014 МАТЮШЕНКО І. Ю.

УДК 330.3 + 332.1

Матюшенко І. Ю.

Перспективи розвитку термоядерної енергетики в розвинених країнах світу і Україні

Наведено основні напрямки і проблеми розвитку термоядерної енергетики в країнах світу і Україні. Встановлено, що найістотношою альтернативою вуглеводням є сьогодні ядерна енергетика на основі поділу урану і плутонію, яка, у свою чергу, неминуче ставить дві інші глобальні проблеми – утилізації високоактивного відпрацьованого палива та інших радіоактивних відходів, а також ядерної безпеки. Показано, що термоядерна енергетика, заснована на використанні енергії, що виділяється при злитті (синтезі) легких ядер, має як суттєві переваги – ядерний синтез може забезпечити не тільки поточні енергетичні потреби людства (16 ТВт), але й виробити значно більшу кількість енергії; в якості палива необхідна зовсім невелика кількість речовин, які поширені в природі; висока внутрішня безпека термоядерної енергетики; відсутність високорадіоактивних відходів, що довго живуть, так і недоліки – технологічна складність здійснення самопідтримної термоядерної реакції; поки не існує ефективних технічних рішень, здатних перетворювати на електрику енергію, що звільнюється під час термоядерного синтезу. Визначено, що сьогодні проблема створення термоядерної енергетики більше технічна та економічна, ніж фізична, оскільки для створення економічно вигідних електростанцій необхідно вирішення двох принципових задач: продовження розробки нових матеріалів, що спроможні витримувати суворі умови експлуатації; створення нових технологій, що відносяться до дистанційного управління, конструкції оболонок, паливних циклів тощо. Доведено, що виходом з енергетичного тупика може бути «холодний ядерний синтез», тобто процес реалізації цілком безпечних ядерних реакцій при низькій енергії, наприклад, на основі нанопорошку нікелю й водню, здійснюваного в тепловому генераторі E-Cat. Представлено напрями виконання Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Перспективні дослідження з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу та плазмових технологій» на 2014 – 2016 рр.

Ключові слова: термоядерна енергетика, керований термоядерний синтез, холодний ядерний синтез, тепловий генератор E-Cat

Рис.: 1. **Бібл.:** 10.

Матюшенко Ігор Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, професор, кафедра міжнародних економічних відносин, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

Email: igormatyushenko@mail.ru

УДК 330.3 + 332.1

UDC 330.3 + 332.1

Матюшенко І. Ю. Перспективи розвитку термоядерної енергетики в розвинених країнах світу і Україні

Представлены основные направления и проблемы развития термоядерной энергетики в странах мира и Украине. Установлено, что главной альтернативой углеводам является сегодня ядерная энергетика на основе деления урана и плутония, которая, в свою очередь, неминуемо ставит две другие глобальные проблемы – утилизации высокоактивного отработанного топлива и других радиоактивных отходов, а также ядерной безопасности. Показано, что термоядерная энергетика, основанная на использовании энергии, которая выделяется при слиянии (синтезе) легких ядер, имеет как существенные преимущества – ядерный синтез может обеспечить не только текущие энергетические потребности человечества (16 ТВт), но и произвести значительно большее количество энергии; в качестве топлива необходимо совсем незначительное количество веществ, которые широко распространены в природе; высокая внутренняя безопасность термоядерной энергетики; отсутствие высокоактивных долгоживущих отходов, так и недостатки – технологическая сложность осуществления самоподдерживающейся термоядерной реакции; пока не существует эффективных технических решений, способных превращать в электричество энергию, которая освобождается во время термоядерного синтеза. Определено, что сегодня проблема создания термоядерной энергетики больше техническая и экономическая, чем физическая, поскольку для создания экономически выгодных электростанций необходимо решение двух принципиальных задач: продолжение разработки новых материалов, которые способны выдерживать суровые условия эксплуатации; создание новых технологий, которые относятся к дистанционному управлению, конструкции оболочек, топливных циклов и другое. Доказано, что

Matiushenko I. Yu. Prospects for the Development of the Fusion Energy Industry in the Developed Countries of the World and in Ukraine

The article discusses the primary directions and issues in the development of the fusion energy industry in the world and in Ukraine. Nuclear power-engineering based on uranium and plutonium fission was established to be the most significant alternative to hydrocarbons as of today, yet it is inevitably linked to two more global problems, namely disposal of highly active and spent nuclear fuel and other radioactive waste, as well as nuclear safety. The study shows that the fusion energy industry based on using the energy released during fusion of light nuclei has significant advantages – nuclear fusion can not only satisfy the current energy demands of mankind (16 TW), but also produce a much larger amount of energy; quite a small amount of common substances is required to fuel the process; the inherent safety of the fusion energy industry is at a high level; there is no long-lived high-level radioactive waste; yet there are disadvantages as well – technological complexity of running a self-sustained thermonuclear reaction; there are currently no effective technologies capable of converting the energy released during the thermonuclear fusion into electricity. The study also determined that today, the problem of forming the fusion energy industry is of the technical and economic rather than physical nature, as creation of economically sound power stations requires solving two principal tasks: continuation of the development of new materials capable of enduring severe service conditions; creation of new technologies in the sphere of remote control, containment design, fuel cycles, etc. The study proves that a possible way out of the energy impasse can be offered by «the cold fusion», that is the process of running completely safe low-energy nuclear reactions, for instance, on the basis of the nickel nanopowder and hydrogen, carried out in the E-Cat heat generator. The article also includes areas of focus outlined in the Targeted Research

выходом из энергетического тупика может стать «холодный ядерный синтез», то есть процесс реализации вполне безопасных ядерных реакций при низкой энергии, например, на основе нанопорошка никеля и водорода, осуществляемый в тепловом генераторе E-Cat. Представлены направления выполнения Целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Перспективные исследования по физике плазмы, управляемому термоядерному синтезу и плазмовым технологиям» на 2014 – 2016 гг.

Ключевые слова: термоядерная энергетика, управляемый термоядерный синтез, холодный ядерный синтез, тепловой генератор E-Cat

Рис.: 1. Библ.: 10.

Матюшенко Игорь Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, профессор, кафедра международных экономических отношений, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина)

Email: igormatyushenko@mail.ru

and Development Program of the National Academy of Sciences of Ukraine «Prospective Research in Plasma Physics, Controlled Thermonuclear Fusion and Plasma Technologies» for 2014 – 2016.

Keywords: fusion energy industry, controlled thermonuclear fusion, cold fusion, E-Cat heat generator

Pic.: 1. Bibl.: 10.

Matyushenko Igor Yu. – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Professor, Department of International Economic Relations, V. N. Karazin Kharkiv National University (pl. Svobody, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine)

Email: igormatyushenko@mail.ru

Сталий розвиток сучасної цивілізації і якість життя населення напряму пов'язані з достатнім енергозабезпеченням, що, у свою чергу, викликає нагальну необхідність вирішення проблем вичерпування ресурсів, які використовуються існуючими технологіями. Але саме *енергетичні проблеми*, за великим рахунком, викликають періодичні світові кризи і стимулюють пошуки нетрадиційних шляхів задоволення енергетичних потреб будь-яких країн світу [1].

Вказана проблема розглядалась в роботах багатьох українських вчених, зокрема А. С. Шпака, В. М. Гейця,

Л. І. Федулової, О. С. Поповича, М. В. Онопрієнко, В. П. Соловйова, С. А. Воронова, М. О. Кизима та багатьох інших. В той же час, в умовах бурхливого розвитку термоядерних технологій на основі використання результатів нанотехнологічних досліджень і початку широкої комерціалізації вказаних досліджень у провідних країнах світу постає *проблема* уточнення напрямів досліджень у сфері термоядерної енергетики України.

На рис. 1 наведено перспективні енергетичні технології, які одержали розвиток у науково-технічних дослідженнях провідних країн світу.

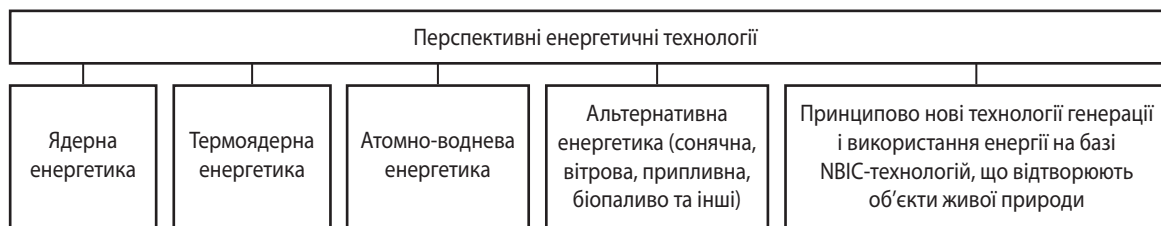


Рис. 1. Перспективні енергетичні технології провідних країн світу

Сьогодні поряд з традиційною вуглеводневою енергетикою активно розвиваються нові енерготехнології, переживає ренесанс атомна енергетика (навіть після подій на японській атомній станції Фукуяма у 2011 р.), розвинені країни реалізують глобальний проект зі створення міжнародного термоядерного реактора.

Безумовно, найістотніша альтернатива вуглеводням – *ядерна енергетика* на основі поділу урану-235. І хоча запаси доступних покладів урану-235 у світі також обмежені (за нинішнього темпу видобутку їх вистачить на 50 – 70 років), але ситуація не така критична у зв'язку з можливістю відтворити реакторні ізотопи уран-233 і плутоній-239 при опроміненні нейтронами в реакторах ізотопу уран-238, запаси якого в сотні разів більші, ніж урану-235.

З іншого боку, використання реакторів поділу (АЕС) неминуче ставить дві інші глобальні проблеми – утилізації високоактивного відпрацьованого палива (ТВЕЛів) та інших радіоактивних відходів, а також ядерної безпеки. Нині у світі накопичено близько 200 тис. т відпрацьованих ТВЕЛів, по 1 млн т відходів середньої активності й дуже активної води та понад 10 млн т відходів низької активності. Щороку ці цифри збільшуються на 5 % [2].

Із початку 50-х років ХХ сторіччя небезпідставно вважалося, що майбутнє людства пов'язане з вирішенням термоядерної проблеми. Аргументи здавалися бездоганними – один літр води містить таку кількість дейтерію, що його участь у термоядерному синтезі забезпечує виробництво енергії, еквівалентне бочці нафти. А про реальність «термояду» свідчить як Сонце, де відбуваються подібні реакції, так і вибухи термоядерних (водневих) бомб.

Суть *термоядерної енергетики* – використання енергії, що виділяється при злитті (синтезі) легких ядер. Проблемою є утримання плазми і недопущення контакту зі стінками камери. До *переваг* ядерного синтезу слід віднести такі [1; 4]:

- ядерний синтез може забезпечити не тільки поточні енергетичні потреби людства (16 ТВт), але й виробити значно більшу кількість енергії;
- в якості палива необхідна зовсім невелика кількість речовин, які поширені у природі (наприклад, щоб забезпечити роботу теплової електростанції потужністю 1 ГВт, потрібно 10000 тонн вугілля щодня (10 вагонів), а термоядерна установка такої самої потужності буде споживати на

день 1 кг суміші дейтерію (легко видобувається з води) і тритію (виникає при роботі прямо в установці);

- термоядерна установка навіть з неідеальною ефективністю зможе виробляти 200 МВтч електроенергії, що еквівалентно спалюванню 70 тонн вугілля (потрібна кількість літію міститься в одній батареї ноутбуку, а дейтерію – в 45 літрах води). Більш ефективна модель установки за прогнозами буде давати 2,5 ГВт термоядерної енергії, яка після перетворення та використання певної частки для нагріву плазми і роботи надпровідних обвиток електромагнітів та інших систем буде давати 1,5 ГВт електроенергії на виході;
- висока внутрішня безпека термоядерної енергетики: плазма, що використовується в термоядах, має дуже низьку щільність і, як наслідок, робоче середовище установок ніколи не буде містити в собі енергії, достатньої для виникнення серйозних загроз. Завантаження «паливом» ведеться безперервно, що дозволяє легко зупинити роботу установки (на відміну від АЕС);
- відсутність високорадіоактивних відходів, що довго живуть. Камера, де йде термоядерна реакція, стає м'яко радіоактивною, але побічних продуктів немає. Радіоактивний тритій має період напіврозпаду – 12 років, при цьому у плазмі завдяки її низькій щільності міститься дуже невелика кількість тритію, тому при гіпотетичному повному руйнуванні оболонки реактора в навколишнє середовище надійде мізерна кількість радіоактивного палива.

Недоліками термоядерних реакторів є:

- технологічна складність здійснення самопідтриманої термоядерної реакції. Системи з магнітним утримуванням потребують величезних надпровідних магнітних котушок, глибокого вакууму і чистоти стінок реактора, вміння утилізувати високі теплові й нейтронні потоки, дистанційного обслуговування реактора;
- поки не існує ефективних технічних рішень, здатних перетворювати на електрику енергію, що звільнюється під час термоядерного синтезу.

Робота ведеться вже давно (вже 50 років), існує декілька потенційно робочих концепцій, а саме: за схемою токамак (тороїдальна камера з магнітними котушками, що утримують плазму); мюонний каталіз; «холодний термояд» (наприклад, в електролітичних елементах); інерційний ядерний синтез або «лазерний термояд» [1]. Три останні схеми відрізняються більш елегантними і потенційно менш затратними рішеннями, але й досі повністю ані фізично, ані технічно не вирішені.

Прикладами термоядерних пристроїв, що вже створюються у розвинених країнах світу, можна вважати такі [1; 4]:

- 1) *Міжнародний експериментальний термоядерний реактор (ITER)* – гігантський токамак, який буде функціонувати на основі дейтерієво-тритієвого палива, загальною вартістю 10 млрд дол США (може збільшитись до 16 млрд дол США), що бу-

дується у Франції, в атомному центрі Кадараш (Ексан-Прованс). Ідея проекту – у 1985 році прийняте рішення лідерів США, Франції, Євросоюзу, Канади, Росії і Японії щодо розробки ITER, у 2003 – 2005 рр. – до проекту долучилися Канада, Китай, Південна Корея, Індія; 2006 р. – угода про початок практичної фази реалізації (розпочато будівництво). Заплановано у 2018 р. – одержання першої плазми; у 2026 р. – повномасштабна експлуатація реактора. Фінансування: 40 % – Євросоюз, решта – інші країни-учасниці. Реактор ITER буде являти собою експериментальний пристрій, ще необладнаний навіть турбінами для виробництва електроенергії, метою якого буде вивчення умов, що повинні бути витримані при роботі таких установок. Основна мета ITER – добитися десятикратної переваги одержаної енергії у порівнянні із затраченою;

- 2) В США з червня 2009 р. стартував альтернативний проект – *National Ignition Facility (NIF або буквально – «національний комплекс запалювання»)* вартістю 3,5 млрд дол США. Комплекс включає 192 лазера високої потужності, промені яких фокусуються на мініатюрному зразку з дейтерію і тритію (вперше цей комплекс був випробуваний у лютому 2009 р.). Сьогодні цьому комплексу належить світовий рекорд потужності світлового імпульсу – більше одного мегаджоуля, але до характеристик, які потрібні для запуску термоядерної реакції, ще далеко. Недоліки: сам лазер достатньо енергомісткий, тому є істотні сумніви щодо економічного ефекту лазерного методу. Уряд США розглядає майбутнє NIF у контексті оборони, а не енергетики. Ця установка використовується військовими для експериментів, метою яких є підтримання у боездатному стані своїх арсеналів в умовах мораторію на ядерні випробування.

Отже, сьогодні проблема створення термоядерної енергетики більше технічна та економічна, ніж фізична. Для створення реальних економічно вигідних електростанцій необхідно вирішення двох принципових завдань:

- продовження розробки нових матеріалів, що спроможні витримувати суворі умови експлуатації;
- створення нових технологій, що відносяться до дистанційного управління, конструкції оболонок, паливних циклів тощо.

Кінцевою стадією досліджень стане DEMO: створення прототипу промислового реактора, який зможе дати першу електроенергію. За оптимістичним прогнозом, ця фаза завершиться тільки через 30 років, а від промислового використання термоядерної енергії нас відділяє півстоліття.

Досить швидким виходом з енергетичного тупика може бути пов'язаний з вирішенням проблеми *LENR (low energy nuclear reactions)* або «холодного ядерного синтезу», тобто перспективи створення та використання реальної альтернативи традиційному вуглеводневому паливу і не

менш традиційній «урановій» ядерній енергетиці – процесу реалізації цілком безпечних ядерних реакцій при низькій енергії, наприклад, на основі нанопорошку нікелю й водню, здійснюваного в так званому тепловому генераторі E-Cat Андреа Россі (Andrea Rossi) [2].

У березні 1989 р. електрохіміки М. Флейшман і С. Понс із університету штату Юта заявили про те, що вони спостерігали ядерний синтез при електролізі важкої води. Експерименти повторили в різних країнах. Основні заперечення з боку опонентів були пов'язані з неможливістю пояснити ці реакції, виходячи з уявлень ядерної фізики, якими користуються у проблемі «термояду», для якого наявність високої температури є аксіомою. Цю проблему й далі вивчали ентузіасти (й не тільки) у США, Японії, Китаї, Італії, Ізраїлі, Індії, Росії, Україні. Її прямо не забороняли, але й не фінансували. Результати були обнадійливими, але недостатніми для практичного використання.

Нетривіальні процеси, що сприяють таким реакціям, виявилися практично недослідженими в ядерній фізиці, яка з моменту зародження формувалася фактично на концепції використання заряджених частинок високої енергії або за наявності дуже високої температури плазми, яка складається з цих частинок, що необхідно для подолання кулонівського бар'єра. До останнього часу здавалося, що ця концепція безальтернативна і є якимось непорушним постулатом.

Альтернативні ядерні процеси, які можуть відбуватися при низькій енергії, підсвідомо (чи свідомо) відкидалися, а їх дослідження прирівнювалося до наукового дисидентства і навіть ересі на кшталт пошуку філософського каменя. Логіка подібного підходу щодо ядерних реакцій при низькій енергії до останнього часу здавалася непорушною, оскільки всі успіхи в пізнанні мікросвіту і створенні ядерної енергетики були пов'язані з гігантськими прискорювачами та потужними ядерними реакторами. Однак у міру розширення масштабів практичної реалізації такого підходу при створенні сучасної світової енергетики почали проявлятися негативні риси цієї гігантоманії. Кілька разів аварії на ядерних реакторах АЕС із чисто технологічних проблем перетворилися на глобальні геополітичні й екологічні події. Багато країн цілком відмовляються від використання таких реакторів у системі енергетики [3].

Більш того, приваблива й цікава за своєю суттю ідея термоядерного синтезу з використанням високотемпературної плазми з близької перспективи за минулі 60 років перетворилася на заобрійну мету на кшталт «процес заради процесу», у якому початкове завдання створення досить компактних і дешевих джерел енергії було принесено в жертву процесу створення працюючого термоядерного реактора за будь-яку ціну. Нині ця ціна стала воістину космічною – планова вартість чергового токамака (міжнародний термоядерний реактор ITER), який, за попередніми оцінками, може вийти на режим самоокупності лише у 2037 р., перевищує 15 млрд дол. без жодних гарантій, що мети (самоокупності) буде досягнуто. Крім того, досвід подібних проектів свідчить, що в підсумку реальна їх вартість завжди перевищує планову в кілька разів [3].

Така ситуація призвела до того, що дослідженням процесів при низькій енергії, які здавалися безперспективними, займалися окремі ентузіасти в різних країнах,

а результати цих досліджень апіорі оголошувалися помилковими. Наукові журнали їх відхиляли відразу і без розгляду по суті, централізоване фінансування, типове для початкового етапу будь-яких важливих для економіки фундаментальних досліджень, повністю виключалося, а самофінансування відбувалося за принципом «хто що зможе». Незважаючи на такі проблеми, результати цих досліджень були доволі обнадійливими. Дослідники-ентузіасти з різних країн обмінювалися інформацією і навіть проводили міжнародні конференції.

Ситуація принципово змінилася в січні 2011 р., коли в університеті Болоньї провели презентацію теплового генератора, розробленого інженером А. Россі та проф. С. Фокарді на основі LENR. У ньому паливом був порошок нікелю й водень, а джерелом енергії – ядерна реакція між ними. Генератор Россі-Фокарді одержав назву *E-Cat* (*катализатор енергії*). Потужність компактного генератора розміром не більше портфеля – близько 10 кВт. Енергія, що виділяється, перетворювала проточну холодну воду на пару з температурою 105 градусів. Найбільше дивує, що в такій системі повністю не було радіоактивних відходів! Це пов'язане з тим, що з усіх можливих типів (каналів) LENR автоматично реалізовувалися тільки ті, результатом яких є стабільні ізотопи. У «звичайних» реакторах із використанням частинок високої енергії або нейтронів такий ефект неможливий [2].

Автори зізналися, що до кінця не розуміють процесів у E-Cat, багато ноу-хау знайдено дослідним шляхом. Природно, що в ці результати спочатку ніхто не повірив. Було створено незалежну експертну комісію у складі двох учених-ядерників зі Швеції (С. Куландер і Х. Ессен), які провели детальний аналіз методики експериментів, брали участь у подальшій презентації та підтвердили реальність результатів. Після цього Россі провів ще кілька презентацій, які завершилися демонстрацією 28 жовтня 2011 р. дії нової установки потужністю 1 МВт. Цей захід одержав назву «Велика Жовтнева Енергетична Революція».

Після цієї презентації Россі переніс свої дослідження у США. Там він створив більш ефективний генератор НТ E-Cat з підвищеною до 1000 – 1200 градусів за Цельсієм температурою робочої камери і, відповідно, можливістю використання перегрітої пари з температурою близько 600 градусів, що ідеально узгоджується з вимогами, необхідними для ефективної роботи турбін сучасних електрогенераторів. Активна діяльність з виробництва НТ E-Cat у США відбувається в Industrial Heat facility у Північній Кароліні.

Початковий компактний варіант генератора E-Cat, який забезпечував нижчу температуру, перетворював енергію, що виділялася при ядерній реакції, на пару з температурою близько 105⁰С і планувався до широкомасштабного виробництва й продажу за унікально низькою ціною 500 дол., було передано на основі ліцензійних договорів у Китай і Південну Корею для подальшого масового випуску [2].

8 жовтня 2014 р. було опубліковано результати незалежного дослідження генератора НТ E-Cat, яке проводилося у Лугано (Швейцарія) протягом 32 діб, починаючи з 24 лютого 2014 р. за участі групи незалежних авторитетних експертів зі Швеції та Італії, але без участі в них Россі.

Основою експериментальної установки була закрита робоча камера, що становила жаростійкий циліндр завдовжки 20 см і діаметром 2 см, у якій перебувало паливо – один грам нанопорошку, що містить нікель і домішки солі літію разом зі зв'язаним воднем, та електричний нагрівач.

Результати проведених досліджень виявилися у такому:

- 1) Ця система, після початкового розігріву з допомогою відносно малопотужного електричного нагрівача (він потім частково відключався і далі використовувався для управління режимом виробництва енергії), протягом 32 днів експерименту виділяла енергію, нагріваючи камеру до температури близько 1200 – 1400°C. За час експерименту було вироблено 1,5 МВт-год енергії. Це був перший випадок, коли вчені одержали доступ до внутрішнього вмісту робочої камери та змогли провести елементний (атомний) й ізотопний (ядерний) аналіз палива та камери на початку і наприкінці експерименту.

Результати виявилися дуже несподіваними й дуже переконливими. Зокрема, ізотопний склад літію у процесі роботи закритої системи змінився від стандартного (природного) співвідношення ізотопів літію-6 (8,6 %) і літію-7 (91,4 %) до 92,1 % для літію-6 та 7,9 % – для літію-7, що відповідає фантастично великій зміні цього співвідношення в 124 рази! І це при тому, що в будь-яких ядерних дослідженнях зміна ізотопного співвідношення навіть на кілька відсотків вважається підтвердженням вірогідності протікання ядерних реакцій. Ще більші зміни ізотопного складу відповідали нікелю. Наприклад, співвідношення ізотопу нікель-58 у процесі експерименту зменшилося з 67 до 0,8 %, а нікелю-62, навпаки, зросло з 3,9 до 98,7 %. Ці результати однозначно підтвердили ядерно-фізичну природу виділення енергії;

- 2) Другим, не менш дивовижним результатом, є повна відсутність радіоактивності у продуктах ядерних перетворень. Якщо виходити з традиційних уявлень ядерної фізики, твердо встановлених для частинок високої енергії, то такі перетворення ізотопів і відповідне виділення великої енергії мають супроводжуватися дуже інтенсивним гамма-випромінюванням, потоками нейтронів та утворенням високоактивних відходів. Однак нічого цього не спостерігалося. Усі виміри підтвердили – активність відпрацьованого палива, внутрішньої частини робочої камери та оточення відповідали природному тлу! Цей дивовижний результат був відомий і з попередніх експериментів, але його уперше було підтверджено за допомогою детального запроотокованого дослідження на кількох незалежних приладах. Доречно також зазначити, що, крім таких унікальних характеристик, цей тип генератора має набагато вищу ефективність, ніж «традиційні» реактори АЕС. Зокрема, *питома потужність енерговиділення в ньому перевищує 2 кВт/г палива*, а в усіх типових реакторах ВВЕР-1000 вона дорівнює 35 Вт/г.

Як результат, вже 15 жовтня 2014 р. з'явилося сенсаційне повідомлення про те, що корпорація Lockheed

Martin оголошує про розробку та випуск у найближчі кілька років компактного працюючого термоядерного реактора потужністю 100 МВт, який може бути розміщений, наприклад, на літаку або в кузові автомобіля [5]. При цьому на науково-освітньому колоквиумі з проблем нової енергетики на основі низькоенергетичних ядерних реакцій, організованому в березні 2014 р. в Масачусетському технологічному інституті (MIT, Бостон, США) для обміну результатами та оперативним навчанням персоналу, який впроваджуватиме цю технологію, було представлено, зокрема, кілька бізнес-проектів, присвячених впровадженню цієї енергетичної технології в суднобудування, автомобілебудування та авіацію. Там ці проекти були цілком реальними, хоча й демонструвалися до публікації результатів експертизи в Лугано [4].

Крім того, із численних публікацій відомо, що Росія мав зустрічі з вищим керівництвом США, а його дослідження прямо пов'язані з NASA та NEVY (космічне агентство та військово-морські сили) й іншими державними структурами США. Як наслідок, можна зробити припущення, що поточна широкомасштабна пропозиція продажу нафти та газу зі стратегічних запасів США на світових ринках може бути пов'язана з очевидною переорієнтацією цієї країни на альтернативні джерела внутрішнього енергопостачання. Цей процес, який призвів до різкого падіння світових цін на нафту, особливо інтенсивно відбувається саме з початку жовтня 2014 р., коли вже були готові до друку результати експертизи.

Із цієї самої точки зору можна інтерпретувати значну зміну ставлення Китаю до глобальних енергетичних проектів на кшталт будівництва газопроводу «Сила Сибіру», призначеного для транспортування в Китай російського газу. Ще нещодавно Пекін збирався фінансувати його, а в жовтні досить несподівано відмовився вкладати в проєкт гроші, хоча й погодився на одержання дешевого газу за умови, що Росія сама будуватиме цей газопровід через весь Сибір. Це, зокрема, може бути пов'язане з тим, що саме китайські компанії купили ліцензію на виробництво генераторів E-Cat (догівір про передачу ліцензії Nickel-Hydrogen Research Center у місті Тяньцзін був підписаний 16 квітня 2014 р.). Більш того, за даними агентства CNN, на нещодавній нараді в голови КНР детально обговорювалося питання про створення спеціального індустріального парку та наступного широкомасштабного впровадження цих генераторів в економіку країни.

За даними CNN, значний інтерес до таких само розробок може мати Індія, економіка якої інтенсивно розвивається і також має потребу в альтернативних джерелах енергії. В Індії подібні дослідження активно здійснюються з 1989 р. у наукових центрах у Мумбаї (колишній Бомбей) і Ченнаї (колишній Мадрас). Останніми роками такі дослідження проводяться також у відомому «Центрі атомних досліджень імені Індіри Ганді», який розташований поблизу Ченнаї [4].

Незмінно високий інтерес до цієї теми існує і в Японії, яка, на відміну від інших країн, останні 25 років активно підтримувала дослідження, виділяючи для них значні кошти з бюджету. Центри нової ядерної технології з початку 90-х років існують у Саппоро (Hydrogen Engineering Application & Developing Company), Шизуока

(Cold Fusion Research Laboratory) і багатьох інших містах (Осака, Івате, Цукубе, Сендаї), а деякі з учасників цих досліджень нагороджені державними нагородами за свої дослідження низькоенергетичних ядерних реакцій. На сьогодні всі наукові групи Японії, що займаються цією тематикою, одержали дуже велике фінансування та підтримку держави.

Крім того, засновник Microsoft Білл Гейтс, який очолює спеціальний фонд інновацій (39 млрд дол.), відвідав наприкінці листопада 2014 р. італійський ядерний центр ENEA (Фраскати) і запропонував на розвиток досліджень низькоенергетичних ядерних реакцій 1 млрд дол. Ці та багато інших фактів свідчать про дуже серйозне ставлення та крутий розворот керівників провідних країн і законодавців енергетичного ринку в бік нової альтернативи, яка може істотно змінити ситуацію на цьому ринку в найближчому майбутньому. Нетривіальні результати експертизи в Лугано дали наукову та суспільно-політичну опору для цього, яка була відсутня раніше (але добре відома фахівцям).

Україна, для якої проблема виживання та сталого розвитку з огляду агресію Росії виявилася прямо пов'язаною з тенденціями світової енергетики та необхідністю мінімізувати фатальну залежність від вуглеводнів, може одержати шанс стати дійсно енергонезалежною державою завдяки використанню розробок Росії.

Дослідження за цією тематикою в Україні здійснюються в КНУ ім. Т. Шевченка та почасти в Інституті фізики (м. Київ) і ННЦ ХФТІ (м. Харків), а також у деяких недержавних лабораторіях.

Комплекс досліджень, спрямованих на вирішення цілого спектра проблем термоядерної енергетики, установами НАН України і закладами МОН України було проведено в рамках виконання двох важливих програм:

- Державної програми фундаментальних і прикладних досліджень з проблем використання ядерних матеріалів, ядерних і радіаційних технологій у сфері розвитку галузей економіки на 2004 – 2010 рр. [6];
- Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Науково-технічний супровід розвитку ядерної енергетики та застосування радіаційних технологій у галузях економіки» на 2011 – 2015 рр. [7].

При виконанні вказаних цільових комплексних програм установи НАН України та заклади МОН України здійснили комплекс досліджень, спрямованих на вирішення цілого спектра проблем термоядерної енергетики, зокрема [8, с. 129]:

- розвинуто методи високочастотного створення і нагрівання плазми;
- досліджено поведінку енергійних частинок у магнітних пастках;
- розроблено нові методи діагностики високотемпературної плазми;
- проведено експериментальні дослідження поведінки конструкційних матеріалів першої стінки і дивертора в умовах екстремальних корпускулярних і енергетичних навантажень, що властиві термоядерному реактору.

На основі результатів фундаментальних досліджень з фізики плазми за 2011 – 2013 рр. одержано низку важливих прикладних розробок для енергетики України [9; 10]: нові методи нанесення функціональних покриттів; модифікація матеріалів потужними потоками плазми; плазмові джерела інтенсивного екстремального ультрафіолетового та рентгенівського випромінювання; плазмові озонатори; низькотемпературні плазмові озонно-ультразвукові стерилізатори; геліконні технологічні джерела; плазмохімічні реактори; пароплазмова технологія переробки відходів; створення нових перспективних екологічно чистих плазмових технологій для промисловості, медицини, сільського господарства та охорони довкілля.

У продовження вказаних вище наукових робіт Постановою Президії НАН України від 18.03.2013 р. № 115 була затверджена Концепція цільової комплексної програми НАН України «Перспективні дослідження з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу та плазмових технологій» на 2014 – 2016 роки [10].

Головною метою вказаної програми є підвищення ефективності досліджень з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу (КТС) та плазмових технологій, спрямованих на виявлення нових фізичних принципів будови складних плазмових систем та створення на цій основі фізичних засад нових високо- та низькотемпературних плазмових технологій.

Основними завданнями програми є:

- розвиток та підвищення рівня досліджень з фізики плазми, КТС та плазмових технологій, що використовуються в установах НАН України, на основі їхньої координації та спрямовування на виконання конкретних розробок в інтересах національної економіки;
- забезпечення кооперації вчених НАН України щодо спільного використання наукового обладнання, в тому числі діагностичних засобів, та оригінальних програмних продуктів;
- виявлення та реалізація конкретних шляхів активізації участі науковців НАН України в міжнародних програмах і проектах;
- створення умов для участі дослідників, особливо молодих, у міжнародних конференціях, школах, семінарах, навчальних програмах і курсах, а також для здійснення подібної активності в Україні;
- забезпечення доступу українських науковців, що працюють у галузі фізики плазми, до платних міжнародних джерел наукової інформації (журнали, монографії тощо).

Отже, можна зробити висновки, що наслідком виконання вказаної програми досліджень стануть такі *найважливіші результати за напрямками*:

- *здобуття нових знань про фізичні явища*, що відбуваються у високотемпературній плазмі, у тому числі при її взаємодії з твердими поверхнями; розробка принципів аспектів термоядерної енергетики майбутнього;
- *розробка фізичних засад та обладнання* для перспективних іонно-плазмових технологій для промислової обробки матеріалів, охорони довкілля,

сільського господарства, медицини, діагностики речовини тощо;

- *розвиток плазмової електроніки, плазмодинаміки та фізичних основ колективних методів прискорення заряджених частинок;*
- *поштовх до розвитку індустрії виробництва високотехнологічної продукції, яка наразі практично повністю імпортується.*

ЛІТЕРАТУРА

1. Матюшенко І. Ю. Перспективи створення в Україні енергетики майбутнього на основі комерційного використання нанотехнологій / І. Ю. Матюшенко, І. Ю. Бунтов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики : Материалы XVI Международной научно-практической конференции, Алушта, 10 – 15 сентября 2012 г. ; [НАНУ, Центр исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г. М. Доброва НАН Украины, Творческий союз НИО Крыма]. – Симферополь : ИТ АРИАЛ, 2012. – С. 341 – 354.

2. Висоцький В. «Бридке каченя» ядерної фізики та можливий прогрес світової енергетики / В. Висоцький // Дзеркало тижня. – 2014. – № 24. – С. 12.

3. Висоцький В. Чи виросте білий лебідь із бридкого каченятя? Нові результати термоядерних досліджень здатні кардинально змінити ставлення до ядерної енергії, масштабів її виробництва і використання / В. Висоцький // Дзеркало тижня. – 2014. – № 45. – С. 12.

4. Заец І. Термоядерный век / И. Заец // Эксперт. – 2009. – № 50. – С. 46 – 50.

5. Norris G. Skunk Works Reveals Compact Fusion Reactor Details. Lockheed Martin aims to develop compact reactor prototype in five years, production unit in 10 / Aviation Week & Space Technology, Oct. 15, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://aviationweek.com/technology/skunk-works-reveals-compact-fusion-reactor-details>

6. Державна програма фундаментальних і прикладних досліджень з проблем використання ядерних матеріалів та ядерних і радіаційних технологій у сфері розвитку галузей економіки на 2004 – 2010 рр. : Постанова Кабінету Міністрів України від 08.09.2004 р. № 1165 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1165-2004-p>

7. Цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України «Науково-технічний супровід розвитку ядерної енергетики та застосування радіаційних технологій у галузях економіки» на 2011 – 2012 рр. : Постанова Президії НАН України від 17.11.2010 р. № 319 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/OpenDocs/101117_319_concept.pdf

8. Із зали засідань Президії НАН України (18 вересня 2013 р.) // Вісник Національної академії наук України. – 2013. – № 11. – С. 127 – 133 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vnanu_2013_11_18.pdf

9. Сучасні досягнення в галузі керованого термоядерного синтезу і фізики плазми та пріоритетні напрями міжнародного співробітництва : Постанова Президії НАН України від

18.03.2013 р. № 115 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2013/regulations/OpenDocs/130918_115.pdf

10. Концепція цільової комплексної програми НАН України «Перспективні дослідження з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу та плазмових технологій» на 2014 – 2016 рр. : Додаток 1 до Постанови Президії НАН України від 18.03.2013 р. № 115 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2013/regulations/OpenDocs/130918_115_1.pdf

REFERENCES

“Iz zaly zasidan Prezidyii NAN Ukrainy (18 veresnia 2013 r.)” [From the boardroom of Presidium of NAS of Ukraine (September 18, 2013)]. Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vnanu_2013_11_18.pdf

[Legal Act of Ukraine] (2004). <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1165-2004-p>

[Legal Act of Ukraine] (2010). http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/OpenDocs/101117_319_concept.pdf

[Legal Act of Ukraine] (2013). http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2013/regulations/OpenDocs/130918_115.pdf

[Legal Act of Ukraine] (2013). http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2013/regulations/OpenDocs/130918_115_1.pdf

Matiushenko, I. Yu., and Buntov, I. Yu. “Perspektyvy stvorennia v Ukraini enerhetyky maibutnyoho na osnovi komertsiihnoho vykorystannia nanotekhnolohii” [Prospects for a future of energy in Ukraine based on commercial use of nanotechnology]. Problemy y perspektyvy ynnovatsyonnoho rozvytyia ekonomyky. Simferopol: IT ARIAL, 2012.341-354.

Norris, G. “Skunk Works Reveals Compact Fusion Reactor Details. Lockheed Martin aims to develop compact reactor prototype in five years, production unit in 10” <http://aviationweek.com/technology/skunk-works-reveals-compact-fusion-reactor-details>

Vysotskyi, V. “Brydke kachenia» iadernoi fizyky ta mozhlyvyi prohres svitovoi enerhetyky” [“The Ugly Duckling” Nuclear Physics and possible progress of world energy]. Dzerkalo tyzhnia, no. 24 (2014): 12.

Vysotskyi, V. “Chy vyroste bilyi lebid iz brydkoho kacheniaty? Novi rezultaty termoiadernykh doslidzhen zdatni kardynalno zminyty stavlennia do iadernoi enerhii, masshtabiv ii vyrobnytstva i vykorystannia” [Will grow white swan with abominable duckling? New results of fusion research are able to radically change the attitude to nuclear energy, the scale of its production and use]. Dzerkalo tyzhnia, no. 45 (2014): 12-.

Zaets, I. “Termoiadernyy vek” [Thermonuclear age]. Ekspert, no. 50 (2009): 46-50.