

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Черніцького Сергія Віцентійовича «Кінетика нейтронів підкритичного швидкого гібридного реактора та термоядерного джерела нейтронів на основі комбінації стеларатора та відкритої пастки», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

Актуальність теми

Розвиток атомної енергетики та поширення ядерних технологій призвели до виникнення ряду невирішених наукових проблем, пов'язаних з поводженням з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП), яке залишається після роботи ядерних реакторів будь-яких типів на атомних станціях. Відпрацьоване ядерне паливо представляє собою вивантажене з ядерних реакторів паливо після 3-4 років його експлуатації в активній зоні. Складність поводження з ВЯП викликана високою радіоактивністю, значним виділенням тепла після вивантаження з реактора та наявністю у складі відпрацьованого палива значної кількості речовин, що діляться. Тому в перший час ~ 6-10 років таке відпрацьоване паливо знаходиться в приреакторних басейнах витримки для втрати значної частки залишкового енерговиділення. В світі немає єдиної думки, що в подальшому робити з цим паливом. На сьогоднішній день більша частина ВЯП зберігається або в тимчасових сховищах, або ж в приреакторних басейнах витримки. Деякі держави з розвиненими ядерними технологіями частково переробляють ВЯП. Франція відділяє плутоній-239 та добавляє його в вигляді МОХ палива в свої реактори. Росія переробляє ВЯП з реакторів типу ВВЕР-440. Але все це лише незначна доля в порівнянні з тисячами тон накопиченого в світі ВЯП.

Таким чином є вельми актуальною задача по розробці методів і створення установок для утилізації довгоживучих актинідів і продуктів поділу у відпрацьованому ядерному паливі. Також актуальним є математичне та



комп'ютерне моделювання для дослідження фізичних характеристик таких систем.

Актуальність теми дисертації підтверджується постійним пошуком новітніх конструкцій установок для вирішення проблеми з ОЯТ. Про це говорить велика кількість публікацій і конференцій по гібридним та термоядерним системам. Крім того, роботи, що увійшли в дисертацію, виконувалися за поточними темами ННЦ ХФТІ і є складовою частиною ряду наукових програм, в тому числі і міжнародних:

- тема № Х-5-3 (2013 – 2015) на виконання наукової роботи за проектом: «Розробка та впровадження нового методу діагностики плазми на основі багаточастотної надвисокочастотної рефлектометрії на установці Ураган-2М і утримання плазми в комбінованій магнітній конфігурації стелараторів з відкритою пасткою для моделювання нейтронного джерела підкритичної гібридної системи «ядерний поділ-синтез»», № д/р 0113U006380;
- тема № Х-2-210 (2011 – 2012) на виконання наукової роботи за проектом: «Розробка концептуального проекту трансмутаційного підкритичного швидкого ядерного реактора з термоядерним нейтронним джерелом на базі стеларатора і пропозицій щодо необхідних експериментальних досліджень»;
- тема № Х-4-3 (2016 – 2018) на виконання наукової роботи за проектом: «Генерування потужних потоків плазми для радіаційно-пучкового впливу на перспективні матеріали ядерної і термоядерної енергетики. Вдосконалення концепції ядерно-термоядерного гібриду на основі швидкого ядерного бланкету і комбінації стеларатора та пробкотрона», № д/р 0116U006132;
- тема № III-3-16 (2016 – 2020) на виконання наукової роботи за проектом: «Дослідження високочастотного утворення та нагріву плазми, що утримується у тороїдальних магнітних пастках стелараторного типу та в комбінованій магнітній конфігурації «стеларатор-пробкотрон»», № д/р 0116U006160;
- координаційно-дослідницький проект МАГАТЕ F1.30.15(2012 – 2016): «Концептуальна розробка стаціонарного компактного термоядерного джерела нейтронів»;

- міжнародний проект «Спільні дослідження термоядерного джерела на швидких нейтронах», який включено до переліку проектів, що реалізуються в рамках Угоди про наукове співробітництво між Національною академією наук України і Польською академією наук на 2015-2017 роки, затвердженому Розпорядженням НАН України від 15.12.2014 р № 793.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій.

Обґрунтованість наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, базується на аналізі літературних джерел, з якого органічно випливає постановка мети і задач дослідження, використанні перевірених методів комп'ютерного моделювання, співставленні отриманих результатів з літературними, аргументованому формулюванні остаточних висновків. Наукова обґрунтованість дисертаційної роботи досягається застосуванням відомих уявлень і апробованих методів радіаційної фізики, ядерної фізики, фізики плазми та числового моделювання. Для дослідження транспортування частинок через речовину автор використовує атестований 3-вимірний комп'ютерний код MCNPX, який методом Монте-Карло досить точно описує фізичні процеси для різних типів реакторів.

Основні положення й висновки дисертаційної роботи добре відповідають змісту отриманих результатів і є досить обґрунтованими.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступні:

1. Розроблена оригінальна компоновка підкритичного ядерного реактора, вбудованого у ядерно-термоядерний гібрид. Проведені нейтронні розрахунки і підібрані розміри складових частин моделі, щоб забезпечити ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів (k_{eff}) на рівні 0.95.
2. Вперше показана можливість захисту надпровідних магнітів, які використовуються для створення необхідної конфігурації магнітного поля для підтримки плазми, від нейтронного потоку, який виходить за межі системи, що

моделюється. Запропоновано фізично обґрунтоване рішення для зменшення потужності нейтронного потоку до прийнятного рівня. Це необхідно для зменшення потужності охолодження надпровідних магнітів, які використовуються для створення магнітного поля для утримання плазми.

3. Оскільки одним з важливих завдань при роботі термоядерної установки є нагрівання тритію, без якого неможлива робота плазмового джерела, була запропонована така компоновка вузлів підкритичного реактора, при якій тритій можна нагрівувати всередині самої системи. Для цього була розрахована концентрація ${}^6\text{Li}$ у тій частині гібридного реактора, який відтворює тритій. Вперше показано, що у гібридному реакторі компактних розмірів, за рахунок нейтронів у активній зоні реактора, у якому розміщене відпрацьоване ядерне паливо, тритій можливо нагрівувати у значно більшій кількості, ніж потрібно для самодостатності плазмової частини установки.

4. Досліджена можливість випалювання трансуранових елементів, які накопичуються у відпрацьованому ядерному паливі у процесі роботи теплових реакторів, а також вперше показана можливість його додаткового (повторного) довипалювання всередині замкненого паливного циклу. Показано, що один ядерно-термоядерний гібридний реактор може випалювати відпрацьоване паливо з двох ядерних реакторів типу ВВЕР-1000.

5. Розроблена оригінальна модель термоядерного джерела нейтронів, яка подібна до плазмової частини гібридного реактору. Мета, яка ставиться перед цією установкою – можливість тривалого прямого опромінення зразків матеріалів термоядерними нейтронами з енергією 14 MeV.

6. Вперше розраховано теплове навантаження на першу стінку термоядерного джерела нейтронів. Показано, що це навантаження вдвічі нижче, ніж у гібридному реакторі.

7. Вперше розраховано спектр нейтронів на першій стінці термоядерного джерела нейтронів, де передбачається опромінення зразків матеріалів. Цей спектр близький до спектру майбутніх термоядерних реакторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає насамперед у тому, що вони можуть бути використані для створення новітнього проекту дослідницької, а в подальшому і промислової установки термоядерного гібридного реактора для трансмутації відпрацьованого ядерного палива, що може суттєво зменшити кількість довго живучих радіоактивних відходів. Літературні дані підтверджують, що подібна установка може служити проміжним етапом на шляху створення повномасштабної термоядерної енергетики. Крім того, гібридний реактор може бути суттєвим доповненням до традиційної ядерної енергетики.

Джерело термоядерних нейтронів є необхідним для матеріалознавчих досліджень. Ці дослідження можуть бути виконані на цій установці для реалізації енергетики на основі керованого термоядерного синтезу.

Основні результати роботи **в повному обсязі** опубліковані у 17 наукових працях, у тому числі у 8 статтях у спеціалізованих фахових наукових виданнях та 9 матеріалах і тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях. Автореферат **повно та точно** відображає зміст дисертації.

По тексту та змісту дисертації можна зробити наступні зауваження:

1. У роботі представлена модель гібридного швидкого підкритичного реактора, всі компоненти якого моделювалися у вигляді гомогенних сумішей, але ніде не говориться про ступінь точності отриманих розрахункових значень.
2. У дисертаційній роботі говориться про проект гібридного реактору на основі сферичного токамака, але не зроблене порівняння з нею.

ВИСНОВОК

Вказані недоліки не знижують наукової і практичної значимості роботи, виконаної дисертантом.

На підставі викладеного вище слід зробити висновок про те, що дисертація Черніцького Сергія Віцентійовича «Кінетика нейтронів підкритичного швидкого гібридного реактора та термоядерного джерела нейтронів на основі комбінації стеларатора та відкритої пастки» є завершеною науковою працею, де були отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності є суттєвими для розвитку напрямку, пов'язаного з проектуванням і створенням установок, основним завданням яких буде зменшення кількості довго живучих радіоактивних відходів з відпрацьованого ядерного палива.

Проведені в роботі дослідження відповідають паспорту спеціальності 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

На мою думку, дисертація Черніцького С.В. відповідає всім вимогам ДАК МОН України, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, а також пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів».

Вважаю, що Черніцький Сергій Віцентійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

Офіційний опонент,

Професор кафедри моделювання систем і технологій, декан факультету комп'ютерних наук
Харківського національного університету імені
В.Н. Каразіна, доктор фізико-математичних наук

В.Т. Лазурик

*Підпис д-ра фіз.-мат. наук,
проф. Лазурика В.Т.
ЗАСВІДОЧУЮ*

*Начальник служби укр. акад.
мн. персоналу ХНУ*

