

ВІДГУК

офіційного опонента

Литовченка Сергія Володимировича

на дисертаційну роботу Куштима Антона Володимировича

«Тепловидільні збірки з твелями стрижневого типу на основі діоксиду урану для дослідницької ядерної установки «Джерело нейтронів»»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

Актуальність роботи

Розвиток ядерної енергетики та ядерних технологій неможливий без відповідних фундаментальних та прикладних наукових досліджень, при проведенні яких в Україні та світі використовують, в тому числі, і дослідницькі ядерні установки (ДЯУ). На сьогодні дослідницькі ядерні установки є центрами інновацій та розвитку ядерних технологій, енергетики та науки, а сфера їхнього використання охоплює широкий спектр галузей. Проекти нових ДЯУ, скажімо, ADS-системи (Accelerator Driven System, ядерні системи, що керуються прискорювачами частинок), є прототипами безпечної ядерної енергетики майбутнього.

Ядерна дослідницька установка «Джерело нейтронів» (ДН), яка створена в Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України є одним з таких прототипів.

Штатним паливом для даної установки за проектом є тепловидільні збірки (ТВЗ) типу ВВР-М2 виробництва Новосибірського заводу хімічних концентратів (РФ). З урахуванням воєнної агресії РФ проти України **важливою та актуальною** є задача створення тепловидільних збірок власного виробництва, що може базуватися на наявності власних матеріалів і науково-технічного потенціалу. З урахуванням зазначеного, розробка таких ТВЗ є **актуальною**.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Аналіз тексту дисертації та змісту публікацій Куштіма А.В. дає змогу зробити висновок, що результати є науково обґрунтованими, достовірними та відповідають меті та завданням дисертаційної роботи. При виконанні досліджені використані апробовані експериментальні технологічні та дослідницькі методики (комп'ютерне моделювання і програмування, електронна та оптична мікроскопії, рентгенівська дифрактометрія, порошкова металургія, корозійні випробування та деяких інших), застосовані на сучасному технологічному та науковому обладнанні.

Дисертація представляє собою **завершену наукову працю**, що містить сформульовану мету і завдання досліджень.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів і висновків дисертаційної праці не викликають сумнівів і забезпечується високим рівнем апробації та наукових видань, у яких опубліковано результати дослідження.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести:

1. Розробку конструкції тепловидільних збірок, характеристики яких співпадають з показниками штатних (проектних) ТВЗ.
2. Визначення таких робочих показників ТВЗ:
 - температура в центрі твела ТВЗ-Х в ДЯУ «ДН» не перевищує 150 °С;
 - мінімальна величина діаметрального зазору між оболонкою та сердечником в гарячому стані складає 130 мкм;
 - при вигорянні палива 10,5 МВт×діб/кг U накопичення газоподібних продуктів поділу складає 66,7 см³, гелію 0,04 см³, а концентрація газоподібних продуктів поділу під оболонкою становить 0,06-0,15%, що становить допустиму величину.
3. Обрання паливних (діоксид урану), матричних (порошки алюмінієвого

сплаву або порошок марки ПА) і конструкційних (оболонка ТВЕЛ – сплав E110) матеріалів твелів.

4. Удосконалення технології виготовлення таблеток на основі діоксиду урану з заданою густиною. Досліджений процес змішування порошків різного збагачення із UO_2 та досягнута необхідна концентрація суміші по ізотопу $U235$, а саме 4,4 %, з високою однорідністю змішування, що контролювалася методами математичної статистики.
5. Результати механічних випробувань макетів твелів і елементів каркасу ТВЗ, які засвідчили, що твел, каркас і збірка в цілому мають належну механічну міцність при стисканні та розтягуванні.
6. Прогноз кінетику окислення палива при розгерметизації твела.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Результатом дослідження є вирішення важливого науково-технічного завдання створення перспективних конструкцій і технологій виготовлення стрижневих твелів і ТВЗ на основі діоксиду урану для ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів», яка керується прискорювачем електронів.

Доведено можливість створення альтернативних тепловидільних збірок українського виробництва, які є взаємозамінними зі штатними (проектними). Практичне використання результатів дасть змогу застосувати принцип диверсифікації постачання тепловидільних збірок для ДЯУ «Джерело нейтронів». Належний комплекс проведених робіт для обґрунтування працездатності розроблених конструкцій твелів і ТВЗ в лабораторних умовах є основою застосування розроблених технологічних схем в заводських умовах.

Окремо зазначу, що наведені в дисертації методи виготовлення ядерного палива на основі діоксиду урану можуть бути застосовані для створення сердечників твелів інших типів ядерних реакторів (наприклад, дослідницького реактора типу ВВР-М або малих модульних реакторів).

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні результати дисертаційної роботи викладені у 6 публікаціях у наукових фахових виданнях України (4 – категорії «А», 2 – категорії «Б»), з яких 5 входять міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, трьох патентах України і п'яти тезах доповідей.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, зазначена у дисертаційній роботі. Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

У вступі показана актуальність теми дослідження, визначена мета, предмет і основні завдання. Висвітлена наукова новизна і практична значимість одержаних результатів.

У першому розділі проведений аналіз наявної інформації про застосування твелів і ТВЗ для дослідницьких ядерних установок.

У другому розділі наведений перелік програмних засобів, що використані в розрахунках, експериментальних установок і дослідницького обладнання, застосованих при проведенні досліджень. У розділі викладено опис основних методик дослідження.

У третьому розділі приведено результати розробок тепловидільних збірок для дослідницької ядерної установки «Джерело нейтронів». Проведено обґрунтування вибору матеріалів, теплофізичні розрахунки обраних варіантів твелів та аналіз статичної міцності розроблених моделей збірок.

В четвертому розділі наведено результати експериментальних робіт з розробки технологічних схем виготовлення палива UO_2 і UO_2-Al заданої густини методами порошкової металургії. Опрацьовано технологію виготовлення таблеток паливних композицій з густиною 95 – 98 % від

теоретичної, а технічним результатом запропонованих схем є більша густина і суцільність паливних композицій. Оптимізовано технологічні режими виготовлення таблеткових матеріалів UO_2-Al , а саме: $P_1=300-500$ МПа, $P_2=800-900$ МПа, режими спікання у вакуумі: $t_1=400-600$ °С, $t_2=600-630$ °С, витримка 1-2 години.

В п'ятому розділі приведені експериментальні результати з дослідження і випробування зразків палива, макетів твелів і елементів ТВЗ: механічні, корозійні, температурні, матеріалознавчі і структурні. При механічних випробуваннях макетів твелів на розривній машині типу Р-10 при 100 °С значення межі міцності (σ_B), межі плинності ($\sigma_{0,2}$) та відносного подовження (δ) для матеріалу зі сплаву Е110 у вихідному стані, відповідно, становить (346 ± 30) МПа, (237 ± 20) МПа і (31 ± 2) %.

При корозійних випробуваннях алюмінієвих таблеток отримані дані свідчать, що на початковій стадії відбувається значне зростання ваги зразків таблеток, а подальша корозія відбувається за лінійним законом. Оцінка швидкості корозії показала, що зразки, виготовлені з прутка алюмінію, мають кращу стійкість в порівнянні зі зразками з порошоків алюмінію марки ПА.

Висновки до розділів та загальні висновки сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи. Список використаних джерел містить 110 найменувань вітчизняних та зарубіжних публікацій. Анотація відображає основний зміст дисертації та розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено. Усі результати, викладені у роботі, отримані автором самостійно і містяться в приведених опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. На с. 35 розглядається поняття «якість суміші» для паливного порошку. Незрозуміло, як обрані граничні показники коефіцієнтів неоднорідності: «задовільний» (6-8 %), «добрий» (4-6 %) та «ідеальний» (менше 4 %).
2. В описі технологій виготовлення таблеток паливних композицій (розділ 2, п. 2.3, розділ 4, п. 4.1) не наведено ступінь холодної деформації заготовки таблетки на другому етапі пресування в прес-формі більшого діаметру; також не обґрунтовано вибір температури вакуумного спікання та її тривалість.
3. В описі технологій виготовлення дисперсійних паливних композицій $UO_2 - Al$ (розділ 4, п.4.2) дослідження впливу механізмів взаємодії компонентів на границях розділу складових композиту потребує докладнішого аналізу та опису.
4. При описі технологій виготовлення твелів (п. 4.3, 4.3.2.1) бажано додати ступінь деформації макетів твелів при газостатичному пресуванні та геометричні параметри камери газостата.
5. При описі механічних випробувань зразків макетів твелів та елементів ТВЗ (розділ 5, п. 5.1) бажано вказати точку прикладання сили при поперечному навантаженні моделі ТВЗ (середина ТВЗ, середина твела, де конкретно).
6. Є низка зауважень до оформлення роботи. Підписи до деяких рисунків порушують вимогу єдності мови роботи, деякі рисунки потребують додаткових пояснень та позначень похибок вимірювань. У роботі наявні певні граматичні, стилістичні та синтаксичні помилки, є некоректні слова та словосполучення.

Зазначені зауваження не знижують наукову цінність роботи та отриманих дисертантом результатів і не мають принципового характеру.

Висновок

Дисертаційна робота Куштима Антона Володимировича «Тепловидільні збірки з твелами стрижневого типу на основі діоксиду урану для дослідницької ядерної установки «Джерело нейтронів» за своїм змістом відповідає спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Дисертаційна робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні у повній відповідності до сформульованої мети та завдань. Робота має як наукову, так і практичну цінність, оскільки вирішує важливу науково-технічну задачу створення конструкцій ТВЗ для ДЯУ «Джерело нейтронів».

Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п. 6, 7, 8 і 9 «Порядку присудження ступеня доктор філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а дисертант Куштим Антон Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали»

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри матеріалів

реакторобудування та фізичних технологій

Харківського національного

університету імені В.Н. Каразіна

Сергій ЛИТОВЧЕНКО

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу
кадрів

