

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата ф.-м. наук, доцента Дроздова А.М.

на дисертаційну роботу **Куштима Антона Володимировича**

«Тепловидільні збірки з твелями стрижневого типу на основі діоксиду

урану для дослідницької ядерної установки «Джерело нейтронів»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

1. Актуальність теми

Дисертаційна робота Куштима А.В. присвячена актуальній задачі - створенню перспективних конструкцій та технологічних параметрів виготовлення тепловидільних збірок (ТВЗ) з тепловидільними елементами (твелями) стрижневого типу на основі діоксиду урану і дисперсійної композиції UO_2-Al для дослідницької ядерної установки «Джерело нейтронів». Задачами дослідження були вдосконалення конструкцій ТВЗ і технології їх виготовлення.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Результати дисертаційної роботи отримані при виконанні проєктів:

1. «Розробка та дослідження характеристик палива дисперсійного типу для дослідницьких ядерних установок України» (2017-2018 рр., номер державної реєстрації №0117U003767);

2. «Дослідження характеристик міцності стрижневих твелів дисперсійного типу та тепловидільних збірок з їх використанням» (2019-2020 рр., номер державної реєстрації №0119U102436);

3. УНТЦ Р515 «Розробка конструкції і технології виготовлення твелів і ТВЗ для підкритичної збірки, проведення їх випробувань в обґрунтування надійності і безпеки» (НТК ЯПЦ ННЦ ХФТІ, 2012-2015, Р515С);

4. «Матеріалознавчі дослідження та розрахункові обґрунтування застосування конструкційних, нейтроно-поглинаючих і ядерних матеріалів в перспективних ядерних циклах України, етап 5, 2020 р., шифр теми III-1-16 (НТК ЯПЦ), номер державної реєстрації №0116U007187.

3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Робота Куштима А.В. є завершеною науковою роботою, містить дві анотації – українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, висновки, список літератури і три додатки.

Дисертація присвячена дослідженню технологічних режимів виготовлення твелів стрижневого типу і конструктивних характеристик тепловидільних збірок з їх використанням.

Об'єктом дослідження є процеси, що визначають фізико-технологічні основи створення паливних композицій на основі діоксиду урану, конструкцій ТВЗ та їх фізико-механічних характеристик.

У роботі досліджені конструкції тепловидільних збірок з твелями стрижневого типу та обрані їх матеріали. Проведені теплофізичні розрахунки обраних варіантів твелів показали, що для умов експлуатації, які забезпечують температуру поверхні оболонки твела ~ 41 °С, температура в центрі паливної таблетки UO_2 зростає з вигоранням й досягає максимальних значень на кінець кампанії ~ 150 °С, що для даного типу палива становить незначну величину. Цілісність оболонки твела в межах проектного терміну експлуатації 43800 ефективних годин забезпечується з високим коефіцієнтом запасу. При повздовжньому навантаженні (стисненні, розтягуванні) моделей ТВЗ, зусилля, що досягає умовній межі плинності для сплаву E110, складають: $\sim 2,5$ кН для моделі ТВЗ-Х, $\sim 3,2$ кН для моделі ТВЗ-ХД і $\sim 1,7$ кН для моделі ТВЗ-ХД18. При поперечному навантаженні (вигині) досягнення умовної межі плинності відбувається при зусиллях на порядок нижчих, у порівнянні з повздовжнім

У роботі оптимізовані технологічні режими виготовлення таблеткових матеріалів $\text{UO}_2\text{-Al}$, що складають: $P_1=300\text{-}500$ МПа, $P_2=800\text{-}900$ МПа, режими спікання у вакуумі: $t_1=400\text{-}600$ °С, $t_2=600\text{-}630$ °С.

Проведені експериментальні роботи з випробування зразків палива, макетів твелів і елементів ТВЗ: механічні, корозійні, температурні, матеріалознавчі і структурні. При механічних випробуваннях значення межі

міцності (σ_B), межі плинності ($\sigma_{0.2}$) та відносного подовження (δ) для матеріалу зі сплаву E110 у вихідному стані, відповідно, становить (346 ± 30) МПа, (237 ± 20) МПа і $(31\pm 2)\%$.

При корозійних випробуваннях при нормальних умовах експлуатації, при порушенні нормальних умов експлуатації і при аварійних ситуаціях, сплав Zr1Nb буде проявляти достатню корозійну стійкість.

Рентгенівський аналіз зразків матричного матеріалу показав, що всі вони однофазні - на дифрактограмах усіх зразків присутні лише дифракційні лінії від алюмінію. Слідів інших фаз не виявлено, а розподіл інтенсивності ліній відповідає нетекстурованому стану. Лінії на дифрактограмах усіх зразків мають малу напівширину (вузькі). Параметр ґратки (\AA) досліджених зразків склав 4,0469-4,0485.

Висновки, сформульовані у роботі, висвітлюють результати дослідження поставлених в дисертації завдань. Висновки відповідають завданням і вимогам, які висувуються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури охоплює розглянутий напрямок дослідження, відображає опрацювання автором значної кількості джерел інформації.

Додатки містять інформацію про практичне впровадження результатів роботи і впровадження в навчальний процес.

4. Наукова новизна одержаних результатів

Здобувачем розроблені конструкції тепловидільних збірок для ядерної установки «Джерело нейтронів» на основі твелів стрижневого типу з паливними композиціями на основі діоксиду урану.

Удосконалено технологію виготовлення паливних таблеток $\text{UO}_2\text{-Al}$, яка дозволяє отримувати вироби з густиною 95-98% від теоретичної, заданими геометричними характеристиками та структурою. Удосконалення здійснювалося шляхом застосування досліджених режимів пресування та спікання (на першому етапі тиск пресування склав 300...500 МПа, а на другому

етапі 800...900 МПа, вакуумне спікання при температурах від 580 °С до 630 °С), а також вибором параметрів прес-форми, діаметр D_2 якої зв'язаний з діаметром D_1 першої прес-форми співвідношенням: $1,03 \leq D_2/D_1 \leq 1,12$.

Визначено деформацію і зміщення при статичних навантаженнях запропонованих конструкцій ТВЗ до зусиль, рівних умовній межі плинності, шляхом комп'ютерного моделювання їх тривимірних моделей і проведення механічних випробувань зразків і макетів на розривній машині.

Обґрунтована працездатність конструкції ТВЗ шляхом дослідження швидкості корозії зразків дисперсійної композиції UO_2 -Al без оболонки в модельних умовах, що імітують склад і параметри теплоносія «Джерело нейтронів», яка склала ~ 500 мг/дм² протягом 1000 годин випробувань.

5. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність отриманих результатів зумовлено використанням відомих методик дослідження та поставленими завданнями.

6. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Теоретичні та практичні матеріали можуть бути використані при виготовленні ТВЗ для різних типів дослідницьких реакторів, таких як, «Джерело нейтронів» та ВВР-М. Запропоновані методики можуть знайти використання в заводських умовах для виготовлення стрижневих твелів на основі діоксиду урану для вдосконалення технологічних процесів. Результати дисертаційної роботи використані в технологічному процесі виготовлення дослідного зразка тепловидільної збірки ТВЗ-Х в ННЦ ХФТІ і в навчальному процесі в НТУ «ХП».

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У

тексті містяться авторські ідеї, а використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи не виявлено.

З теми дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових робіт: 7 статей у наукових виданнях, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України (з них 4 – категорії А, 2 – категорії Б), з яких 5 включені до баз Scopus і Web of Science, 3 патенти (2 – на винахід, 1 – на корисну модель) та 5 тез доповідей.

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Потребує більш детального аналізу вплив температури та часу спікання на мікроструктуру досліджених таблеткових матеріалів.
2. Недостає вивчення процесів теплопровідності розглянутих паливних композицій.
3. Представлення деяких експериментальних результатів, наприклад, рентгеноструктурного аналізу матеріалу паливних композицій, потребує більш детальних уточнень.

Дослідження потребує подальших напрацювань як для подолання зауважень, представлених вище, так і через перспективність роботи. Існуючі недоліки не роблять роботу менш значущою, менш оригінальною та не знижують цінність наукового дослідження.

9. Висновки

Дисертаційна робота Куштима А.В. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 10 – «Природничі науки» та спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значимість роботи вважаю, що дисертаційна робота Куштима Антона Володимировича «Тепловидільні збірки з твелями стрижневого типу на основі діоксиду урану для дослідницької ядерної установки Джерело нейтронів» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради

Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Куштим Антон Володимирович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри мікро- та наноелектроніки
Національного технічного університету
«Харківський Політехнічний Інститут»



Антон ДРОЗДОВ

Підпис *доц. Антона Дроздова*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
"28" 05 2024 р.

ЗАЙЦЕВ Ю. І.