

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Зуйка Валерія Анатолійовича

«ВПЛИВ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РАДІАЦІЙНУ І КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ МЕТАЛЕВОГО ГАФНІЮ»

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

Актуальність роботи.

В якості основних тенденцій розвитку атомної енергетики в світі та розробки нових проектів реакторних установок відзначається підвищення вимог до економічної ефективності АЕС при забезпеченні чи підвищенні вимог до безпеки, що базується на зниженні радіаційного впливу на навколишнє середовище та підвищенні надійності функціонування, в першу чергу, елементів конструкції активної зони (а.з.) реакторів. Основним елементом а.з. реактора ВВЕР-1000, який відповідає за швидке припинення ядерної реакції в а.з., підтримку потужності на заданому рівні та її переведення з одного рівня на інший є поглинаючі стрижні системи управління і захисту (ПС СУЗ). На початкових етапах впровадження реакторів ВВЕР в якості нейтронно-поглинаючого матеріалу поглинаючих елементів (ПЕЛів) застосовували B_4C , але ресурс таких ПС СУЗ становив 1...2 роки в режимі автоматичного регулювання (АР), або 5...7 років у режимі аварійного захисту (АЗ). Пояснюється це тим, що при опроміненні B_4C внаслідок (n, α) -реакції, проходить стрімке зниження ефективності поглинання нейтронів та накопичення гелію. На сьогоднішній день компанія АТ «ТВЕЛ» постачає ПС СУЗ з компонованим по висоті поглиначем $Dy_2O_3 \cdot TiO_2 + B_4C$. Застосування титанату диспрозію $Dy_2O_3 \cdot TiO_2$ в оболонці зі сплаву 42ХНМ в нижній частині ПЕЛ дозволило збільшити термін їх служби

до 10 років (10 років у групі АЗ або 3 роки в групі АР). Вважаючи на те, що титанат диспрозію є розробкою російських компаній та диспрозій в Україні не добувається, а ДП «НАЕК «Енергоатом» шукає альтернативного постачальника ПС СУЗ для АЕС України, то рішення запропонувати металевий гафній складу ГФЕ-1, який виготовляється на підприємствах України, є актуальним. Впровадження металевого гафнію, в якості нейтронно-поглинаючого і конструкційного матеріалу нижньої частини комбінованого ПЕЛ $\text{Hf-B}_4\text{C}$, дозволить підвищити ресурс щонайменше до 10 років, а по оцінці деяких фахівців – до 15 років. Але працездатність металевого гафнію, як матеріалу ПЕЛ, в значній мірі, визначається радіаційною і корозійною стійкістю та стабільністю геометричних параметрів впродовж всього терміну експлуатації, які, як відомо, залежать від структури та текстури виробу. Таким чином, **актуальність роботи не викликає жодного сумніву.**

Робота виконана згідно наукових планів організації – місця виконання, про що свідчить відповідний розділ дисертації та автореферату.

Робота містить оглядовий розділ, в якому досить детально зроблено аналіз літературних джерел з проблеми термомеханічної обробки металевого гафнію, а також наявних даних з фізико-механічних властивостей гафнію складу ГФЕ-1. Проведено аналіз робіт, присвячений структуроутворенню при деформації та відпалі (рекристалізація). В огляді наведено основні умови експлуатації ПС СУЗ в а.з. реакторів ВВЕР-1000, які необхідні для обґрунтування умов, що моделюють випробування прутків гафнію. Представлені міркування дали підставу обґрунтувати мету роботи та її завдання.

Дисертаційна робота представляє собою цілісну, **завершену працю**, що базується на ретельному огляді літератури за означеною проблемою, чітко сформульованій меті і пов'язаними з нею задачами дослідження,

використанні апробованих фізичних та математичних моделей, аналізі одержаних результатів та їх співставленні з результатами інших дослідників.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Для досягнення поставленої мети та вирішення відповідних задач були застосовані **добре апробовані** експериментальні методи дослідження з радіаційної і ядерної фізики. **Наукова обґрунтованість** результатів, які наведено у дисертації, підтверджується застосуванням відомих уявлень і теорій з механізмів зміни структурно-текстурного стану при термомеханічній обробці для інших металів, таких як берилій, цирконій та титан. Корозійні випробування прутків гафнію в середовищі, яке імітує склад і параметри теплоносія першого контуру реактора ВВЕР-1000 при роботі на потужності, хоч і проведені за розробленими Зуйком В.А. та затвердженими в НТК ЯПЦ ННЦ ХФТІ методиками, але методологія проведення подібних випробувань опирається та детально описана в ASTM стандартах, що підтверджує **достовірність** отриманих результатів.

До **найбільш вагомих** наукових результатів, **вперше одержаних автором**, слід віднести наступне:

Вивчено кінетику корозії прутків гафнію складу ГФЕ-1 при довготривалих (до 38000 годин) випробуваннях без опромінення в середовищі, що імітує склад і параметри теплоносія першого контуру реактора ВВЕР-1000 та при температурах ймовірних аварійних ситуацій, пов'язаних з перегрівом а.з. реактора (350...1100 °С). Отримано коефіцієнти рівняння, яке дозволяє описати швидкість корозії зразків гафнію на ступеневій та лінійній ділянках кривої окиснення. Коефіцієнти можливо використовувати для моделювання корозійної стійкості гафнію при нормальних та аварійних умовах їх експлуатації в а.з. реактора.

Обґрунтовано можливість використання виробів з гафнію складу ГФЕ-1 в а.з. реактора без захисної оболонки. Обґрунтування зроблено на підставі того, що корозійна стійкість прутків гафнію з рекристалізованою структурою вища у порівнянні з іншими перспективними нейтронно-поглинаючими матеріалами: таблетками гафнату диспрозію високої густини, йодидним гафнієм, а також іншими конструкційними матеріалами, які широко застосовуються в а.з. реакторів ВВЕР-1000, такими як Zr-1%Nb, нержавіюча сталь 06X18H10T та 08X18H10T.

Показано, що поєднання деформації з процесами, які відбуваються при відпалі, дозволяє отримати вироби з гафнію у різному структурно-текстурному стані і, відповідно, з різними структурно-чутливими властивостями. Показано, що безтекстурні зразки прутків гафнію з дрібнозернистою рекристалізованою структурою мають найбільш оптимальне поєднання механічних та корозійних характеристик при позареакторних випробуваннях, а також характеризуються високою розмірною стабільністю під опроміненням.

Матеріали дисертаційної роботи доповідались на фахових конференціях і семінарах міжнародного рівня. Основні результати дисертаційної роботи у повному обсязі й вчасно опубліковані у 19 наукових працях, в тому числі у 12 статтях у спеціалізованих наукових виданнях та 7 матеріалах і тезах доповідей на наукових конференціях.

Автореферат досить точно відображає зміст дисертації.

Практичне значення роботи полягає у можливості створення прутка гафнію з необхідними механічними характеристиками та радіаційною й корозійною стійкістю в умовах роботи його без захисної оболонки в а.з. реакторів ВВЕР-1000, що дає можливість виготовлення ПС СУЗ ВВЕР-1000 з комбінованим поглиначем нейтронів Hf-B₄C.

Зауваження до тексту та змісту дисертації.

В ході вивчення тексту дисертації було помічено ряд недоліків:

1. Здійснюючи автоклавні випробування корозійної стійкості в парах води, слід було враховувати ефект радіолізу, який мав би підвищувати корозійну активність середовища.

2. При проведенні корозійних випробувань слід було враховувати фактор механічного навантаження на ПЕЛІ в умовах експлуатації в реакторі.

3. Слід враховувати, що екрануючий ефект оксидної плівки може мати місце в умовах статичних випробувань, тоді як в виробничих умовах під впливом механічних навантажень, плівка може відшаровуватись значно раніше.

Однак вказані недоліки не знижують науково-практичної цінності виконаної дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку.

Дисертаційна робота Зуйка Валерія Анатолійовича виконана на високому науковому рівні, є закінченою науковою працею, яка містить нові обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень і присвячена вирішенню важливої, наукової задачі – встановленню фізичних закономірностей зміни структурно-текстурного стану металевого гафнію в залежності від параметрів термомеханічної обробки для отримання необхідних механічних характеристик та радіаційної і корозійної стійкості відносно умов роботи виробів в а.з. реакторів ВВЕР-1000 без захисної оболонки. За актуальністю, ступенем новизни, значимості для науки і практики, а також за структурою і об'ємом, дисертаційна робота Зуйка В.А. «Вплив термомеханічної обробки на фізико-механічні властивості та радіаційну і корозійну стійкість металевого гафнію» повністю відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», та свідчить про високий науковий рівень автора.

На підставі вище викладеного вважаю, що Зуйок Валерій Анатолійович, безумовно, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

Офіційний опонент,
заступник директора з наукової роботи Інституту
електрофізики і радіаційних технологій
НАН України,
доктор технічних наук,
кандидат фізико-математичних наук,
с.н.с.

В.В. Литвиненко

Підпис Литвиненка В.В.

24.09.2020

ЗАСВІДЧУЮ

вчений секретар Інституту електрофізики і
радіаційних технологій НАН України



А.В. Бабіч