

У спеціалізовану вчену раду Д 35.052.21
Національного університету «Львівська політехніка»

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ПАШКЕВИЧА ВОЛОДИМИРА ЗЕНОВІЙОВИЧА

на тему «*Розвиток фізичних засад створення чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів*», представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин

Актуальність теми. Температурні вимірювання широко застосовуються в різних галузях науки, техніки, медицини, військовій справі тощо. У зв'язку з постійним розширенням предметних областей температурних вимірювань, зокрема необхідності здійснення вимірювань в умовах космосу, перебігу ядерних реакцій у реакторах атомних електростанцій і т.д., проблематика науково-технічних досліджень в галузі температурних вимірювань постійно розширюється, виникає нагальна потреба у прецизійних вимірюваннях в розширеному діапазоні температур.

Забезпечення метрологічних характеристик засобів температурних вимірювань потребує, в першу чергу, розроблення сенсорів, здатних забезпечити характеристики, зокрема, стабільність і відтворюваність у широкому діапазоні температур та впродовж тривалого часу експлуатації. Вище наведене обумовлює **актуальність** вирішення поставленої в роботі *Пашкевича В.З.* комплексної **науково-прикладної проблеми** розвитку *фізичних засад створення* нових чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними і експлуатаційними характеристиками та принципів керування ними шляхом *запровадження сучасних методів моделювання* їхніх властивостей.

Розв'язання цієї проблеми потребувало від автора проведення глибоких комплексних наукових досліджень на стиках різних наукових напрямів – термометрії, матеріалознавства, новітніх інформаційно-вимірювальних технологій та ін. Запроваджений комплексний підхід дозволив *здобувачу* не лише пояснити перебіг фізичних процесів в матеріалах термоелементів, пов'язаних з їхньою деградацією, але й запропонувати технологію створення нових матеріалів та чутливих елементів термоперетворювачів на їхній основі з прогнозованими властивостями.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів. Положення та висновки дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані теоретичними та експериментальними дослідженнями. Ця оцінка базується на коректній постановці мети та завдань дослідження, використанні перевірених вихідних даних,

застосуванні адекватних методів досліджень, логічному та чіткому формулюванні їхніх результатів, на підтвердженні теоретичних висновків щодо запропонованих технічних рішень і очікуваних властивостей розроблюваних засобів температурних вимірювань метрологічними дослідженнями.

Основним засобом досягнення поставленої мети є комплексний підхід до аналізу фізичних засад роботи чутливих елементів засобів вимірювання температури, а також методів їхніх метрологічних досліджень. В роботі коректно використовуються положення математичного моделювання структурних, енергетичних, кінетичних та термодинамічних властивостей термометричних матеріалів та засобів вимірювання температури; загальної теорії вимірювання та вимірювань теплових величин; методів рентгенівського та спектрального аналізів.

Наукова новизна та значення результатів досліджень. Основні наукові положення, висновки і рекомендації, отримані автором і представлені в дисертації, безпосередньо пов'язані з досягненням мети досліджень, що полягає у *розвитку* фізичних засад створення нових чутливих елементів термометрів опору і термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками, встановленні основних закономірностей функцій перетворення чутливих елементів термоперетворювачів та розробленні принципів керування ними шляхом *запровадження сучасних методів моделювання* їхніх властивостей.

До найважливіших наукових результатів роботи належать наступні:

- розвинуто принципи керування термометричними характеристиками (функціями перетворення) чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з досліджених термометричних матеріалів шляхом використання сучасних методів моделювання, зокрема, лінійного методу приєднаних плоских хвиль (FLAPW) та циклічного покрокового корегування початкових умов розрахунків з параметрами експериментальних вимірювань функцій перетворення, що дозволило підвищити точність моделювання і отримати чутливі елементи термоперетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками;

- вперше проведено моделювання властивостей матеріалів чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів, зокрема, питомого електроопору ρ , коефіцієнта термо-ерс α , питомої магнітної сприйнятливості χ , розподілу густини електронних станів (DOS), зонної структури, ширини забороненої зони ε_g , глибини залягання рівня Фермі ε_F , термодинамічних властивостей, зокрема, ентальпії змішування $\Delta H_{\text{mix}}(x)$ та вільної енергії $\Delta G(x)$ (потенціал Гельмгольца), а також структурних параметрів шляхом запровадження розрахунків лінійним методом приєднаних плоских хвиль (FLAPW) у межах теорії функціоналу густини (DFT), що дозволило підвищити точність моделювання, встановити умови існування

однозначних залежностей функцій перетворення, межі існування та використання матеріалів термоперетворювачів, а також отримати чутливі елементи термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками;

– вперше встановлено закономірності функцій перетворення отриманих чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів на основі досліджених термометричних матеріалів з однозначними залежностями та високим значенням електроопору і термо-ерс, що підвищує точність та розширює діапазон температурних вимірювань одним термометром. Чутливі елементи термометрів опору та термоелектричних перетворювачів, виготовлені з термометричних матеріалів $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{V}_{1-x}\text{Ti}_x\text{FeSb}$ та $\text{VFe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{Sb}$ можуть використовуватися для температурних вимірювань за наявності магнітного поля, оскільки є парамагнетиками Паулі;

– вперше отримана лінійка чутливих елементів термоелектричних перетворювачів з досліджених термометричних матеріалів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками у діапазоні 4,2–1300 К, в яких у залежності від знака термо-ерс провідників формувалася термоелектрична пара платина-термометричний матеріал, платиноройд-термометричний матеріал або термометричний матеріал (M1)-термометричний матеріал (M2), що підвищує точність та розширює діапазон температурних вимірювань одним термометром;

– вперше отримана лінійка чутливих елементів термометрів опору на основі досліджених термометричних матеріалів з однозначними залежностями та високими значеннями температурного коефіцієнта опору (ТКО), що підвищує точність та розширює діапазон температурних вимірювань одним термометром.

Практичне значення результатів роботи. Практичне значення роботи полягає у створенні науково-технологічних засад моделювання та отримання нових чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з досліджених термометричних матеріалів зі стабільними та відтворюваними характеристиками за температур 4,2÷1300 К.

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень автора впроваджені на ряді підприємств і науково-дослідних організацій України, а саме: в ПрАТ НВО “Термоприлад”, м. Львів, Акт про впровадження від 25.01.2024 р.; АТ “Львівський хімічний завод”, м. Львів, Акт про впровадження від 07.02.2024 р.; у навчальному процесі та при виконанні науково-дослідних робіт у Національному університеті “Львівська політехніка” на кафедрах інформаційно-вимірювальних технологій (Акт про впровадження від 20.02.2024 р.) та електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій (Акт про впровадження від 15.02.2024 р.).

Структура дисертації та зміст розділів. Дисертаційна робота *Пашкевича В.З.* складається з анотації, вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаної

літератури з 112 найменувань та п'яти додатків. Загальний обсяг дисертації 268 сторінок, з них 244 – основного тексту, та включає 109 рисунків і 15 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, вказані мета і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок з виконаними НДР, особистий внесок здобувача в публікаціях, представлена інформація з апробації, реалізації і впровадження результатів роботи.

У першому розділі розглянуто принципи електрорезистивної та термоелектричної термометрії, чутливі елементи термометрів опору на основі напівпровідникових матеріалів, особливості кристалічної та електронної структур базових матеріалів чутливих елементів термоперетворювачів. Зазначено, що електрорезистивні термометри, побудовані на основі традиційних напівпровідникових матеріалів, мають високу чутливість та часову стабільність параметрів, і разом з цим мають низьку верхню межу вимірювальних температур.

Зазначено, що чутливі елементи електрорезистивних термоперетворювачів, реалізовані на основі інтерметалічних напівпровідників дають змогу розширити діапазон температурних вимірювань до 1300 К. Зроблено висновок про те, що розв'язання проблеми розширення діапазону температурних вимірювань термоелектричними термометрами, покращення їхньої чутливості, температурної та часової стабільності лежить у площині пошуку нових матеріалів термоперетворювачів, однозначності їхніх термометричних характеристик.

Аналіз сучасних методів та засобів температурних вимірювань дозволив здобувачу сформулювати науково-прикладну проблему дисертаційного дослідження, мету та завдання дослідження.

Другий розділ присвячено розгляду методів та засобів теоретичних та експериментальних досліджень властивостей чутливих елементів термоперетворювачів з досліджених напівпровідникових термометричних матеріалів, обґрунтуванню вибір методу моделювання та дослідження структури чутливих елементів термоперетворювачів, методів експериментальних досліджень електроопору, термо-ерс та питомої магнітної сприйнятливості. Вказано, що використання сучасних методів комп'ютерного моделювання властивостей чутливих елементів термоперетворювачів, а також експериментальні вимірювання особливостей їхньої кристалічної структури, температурних залежностей кінетичних та магнітних характеристик у широкому температурному діапазоні сприяє забезпеченню достовірності отриманих результатів дисертаційного дослідження.

Результати експериментальних досліджень чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів були реперними точками при порівнянні з результатами комп'ютерного моделювання. Таке порівняння дозволяло встановити причини розбіжностей між результатами моделювання та експерименту,

а також корегувати параметри розрахунків, щоб наблизити значення експерименту та розрахунків. Запропонований здобувачем підхід дозволив розвинути принципи моделювання структурних, енергетичних та термодинамічних властивостей термометричних матеріалів шляхом запровадження розрахунків лінійним методом приєднаних плоских хвиль (FLAPW) у межах теорії функціоналу густини (DFT) з наступним циклічним покроковим корегуванням початкових умов розрахунків з результатами експерименту, що дозволило підвищити точність моделювання.

В третьому розділі розвинуто фізичні засади отримання лінійки чутливих елементів термометрів опору і термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками, виготовлених з напівпровідникових термометричних матеріалів $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$, отриманих легуванням базового напівпровідника $p\text{-LuNiSb}$ домішковими атомами Sc, Zr та V. На основі проведених досліджень було *отримано лінійку нових чутливих елементів* для електрорезистивної та термоелектричної термометрії зі стабільними та відтворюваними властивостями за температур $4,2\div 1300$ К.

Здобувач показав, що головним фактором нестабільності властивостей чутливих елементів термоперетворювачів на основі досліджених раніше інтерметалідів TiNiSn , ZrNiSn та HfNiSn є невпорядкованість їхньої кристалічної структури, що за умов повторювання циклів нагрів-охолодження змінює просторове розташування атомів. Це є причиною не відтворюваності їхніх характеристик, що унеможливило їхнє використання для термометрії.

Натомість, запорукою стабільності та прогнозованості роботи отриманих *здобувачем* чутливих елементів перетворювачів температури на основі термометричних матеріалів $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ є стабільність їхньої кристалічної структури, яка була досягнута шляхом упорядкування структури базового напівпровідника. У залежності від типу та концентрації домішкових атомів Sc, Zr та V було отримано термометричні матеріали з додатними та від'ємними знаками термо-ерс. Це дозволило отримати термоелектричні перетворювачі для проведення досліджень при температурі $4,2\div 1300$ К.

Запровадженням розрахунків лінійним методом приєднаних плоских хвиль (FLAPW) у межах теорії функціоналу густини (DFT) дозволило підвищити точність моделювання, а також отримати чутливі елементи термометрів опору та термоелектричних перетворювачів на основі термометричних матеріалів $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками. А це, у свою чергу, значною мірою вирішує сформульовану науково-прикладну проблему розширення діапазону температурних вимірювань з одночасним покращенням характеристик чутливих елементів.

Встановлено закономірності функцій перетворення чутливих елементів засобів вимірювання температури на основі новітніх термометричних матеріалів Lu_{1-x}

$x\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ у діапазоні 4,2–1300 К. Досліджена часова стабільність та відтворюваність термометричних характеристик отриманих чутливих елементів досліджувалася шляхом вимірювання зміни значень електроопору та термо-ерс на протязі календарного року після 25 циклів нагрів-охолодження в інтервалі 300–1300 К. Встановлено, що значення електроопору та термо-ерс залишалися стабільними у межах $\pm 0,015$ К та $\pm 0,025$ К, відповідно, що дозволяє рекомендувати їх для температурних вимірювань.

Отримана лінійка чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з досліджених термометричних матеріалів $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками у діапазоні 4,2–1300 К. Чутливі елементи термоелектричних перетворювачів підвищують чутливість у 3–5 разів, а також дозволяють одним сенсором проводити вимірювання температури в діапазоні 4,2–1300 К. ТКО отриманих чутливих елементів термометрів опору у 4–6 разів перевищує ТКО чутливих елементів, виготовлених з металів, а відомі напівпровідникові термометри опору не застосовуються для вимірювання середніх та високих температур.

В четвертому розділі викладено результати модельних і експериментальних комплексних досліджень структурних, енергетичних, кінетичних та магнітних властивостей чутливих елементів на основі напівпровідникових термометричних матеріалів $\text{Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Er}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Tm}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$, отриманих легуванням базових напівпровідників $p\text{-ErNiSb}$ та $p\text{-TmNiSb}$ домішковими атомами Sc, Zr та V.

Встановлено закономірності функцій перетворення чутливих елементів засобів вимірювання температури на основі досліджених термометричних матеріалів $\text{Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Er}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Tm}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ з однозначними залежностями та високим значенням електроопору і термо-ерс у широкому температурному діапазоні. Показано, що значення електроопору та термо-ерс залишалися стабільними у межах $\pm 0,025$ К та $\pm 0,035$ К, відповідно.

Розвинуто метод отримання термоелектричної пари чутливого елемента сенсору на основі вказаних вище новітніх термометричних матеріалів, що у 3–5 разів підвищує чутливість існуючих термоперетворювачів та розширює діапазон температурних вимірювань одним сенсором. Отримані чутливі елементи термоперетворювачів на основі новітніх термометричних матеріалів відрізняються високою чутливістю, а відношення зміни значень термо-ерс (ΔE) до температурного діапазону (ΔT) є більшим від відомих промислових сенсорів.

Розвинуто метод отримання термічно стабільних чутливих елементів електрорезистивних термометрів з досліджених термометричних матеріалів $\text{Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{Er}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ та $\text{Tm}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$. ТКО отриманих термометрів опору є більшим від ТКО металів, але менший за ТКО термометрів опору, виготовлених з напівпровідників. Відзначено, що жодний із відомих термометрів опору на базі

традиційних напівпровідників не забезпечує стабільність характеристик у діапазоні температур $4,2 \div 1300$ К.

В п'ятому розділі встановлено закономірності функцій перетворення чутливих елементів засобів вимірювання температури на основі досліджених термометричних матеріалів $V_{1-x}Ti_xFeSb$ та $VFe_{1-x}Ti_xSb$, отриманих шляхом легування базового напівпровідника n - $VFeSb$ атомами Ti у різний спосіб. Так, дослідження *здобувачем* властивостей чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів на основі термометричного матеріалу $V_{1-x}Ti_xFeSb$ показало можливість генерування у забороненій зоні енергетичних станів донорної і/або акцепторної природи. У свою чергу, відношення донорів та акцепторів задає положення рівня Фермі ϵ_F , яке можна змінювати шляхом відповідного легування напівпровідника. При цьому змінюються значення кінетичних властивостей термометричного матеріалу, які є не чутливими до дії магнітного поля.

Зміна знака коефіцієнта термо-ерс $\alpha(x, T)$ $V_{1-x}Ti_xFeSb$ дозволила *здобувачу* отримати додатну та від'ємну вітки термоелектричного перетворювача та лінійку чутливих елементів перетворювачів температури на основі досліджених термометричних матеріалів $V_{1-x}Ti_xFeSb$ та $VFe_{1-x}Ti_xSb$ для температурних вимірювань у широкому температурному діапазоні з одночасним покращенням їхніх характеристик, зокрема, метрологічних та експлуатаційних.

Розвинуто метод отримання лінійки термічно стабільних чутливих елементів електрорезистивних термометрів з досліджених термометричних матеріалів $V_{1-x}Ti_xFeSb$ та $VFe_{1-x}Ti_xSb$, що підвищує точність та розширює діапазон температурних вимірювань. ТКО нових чутливих елементів термометрів опору на основі новітніх термометричних матеріалів переважає ТКО металів, але є меншим за ТКО напівпровідників.

У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи в різних організаціях та установах України.

Характеристика змісту роботи в цілому. У результаті проведеного комплексу досліджень *здобувач* обґрунтував та вирішив важливу науково-технічну проблему підвищення точності та стабільності температурних вимірювань у широкому температурному діапазоні, що виявляється у розвитку фізичних засад створення чутливих елементів термометрів опору і термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками та розробленні принципів керування ними шляхом запровадження сучасних методів моделювання їхніх властивостей.

Здобувач розвинув принципи керування термометричними характеристиками (функціями перетворення) чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів шляхом використання сучасних методів моделювання, зокрема, лінійного методу приєднаних плоских хвиль (FLAPW) та

циклічного покрокового корегування початкових умов розрахунків з параметрами експериментальних вимірювань функцій перетворення, що дозволило підвищити точність моделювання і отримати чутливі елементи термоперетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками. Як результат, вперше отримано лінійку чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з досліджених термометричних матеріалів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками у діапазоні 4,2–1300 К, в яких у залежності від знака термо-ерс провідників формувалася термоелектрична пара платина-термометричний матеріал, платиноройд-термометричний матеріал або термометричний матеріал (M1)-термометричний матеріал (M2). Отримані результати дослідження впроваджені та використовуються на підприємствах та організаціях України, про що свідчать відповідні Акти.

Запровадження *здобувачем* сучасних методів моделювання властивостей чутливих елементів термоперетворювачів, зокрема, лінійного методу приєднаних плоских хвиль (FLAPW) та циклічного покрокового корегування початкових умов розрахунків з параметрами експериментальних вимірювань функцій перетворення, дозволили підвищити точність моделювання і отримати чутливі елементи з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

В цілому, дисертація здобувача характеризується завершеністю, вдалою структурою побудови та логічною послідовністю викладення матеріалу. Висновки після кожного розділу, а також загальні висновки відповідають отриманим у дисертації науковим і практичним результатам.

Оформлення дисертації. Дисертація написана українською мовою на високому науково-професійному рівні, містить важливі наукові положення, які характеризуються новизною, а також практичні результати, що знайшли застосування в промисловості та в науково-дослідних організаціях. Рівень досліджень та глибина розгляду питань відповідає вимогам до докторських дисертацій. Оформлення дисертаційної роботи та реферату відповідає чинним в Україні вимогам.

У представленій дисертаційній роботі відсутні результати наукових досліджень кандидатської дисертації *Пашкевича В.З.*

У дисертації *здобувача* представлено виключно результати власних досліджень, а перевірка рукопису дисертації на академічний плагіат встановила відсутність академічного плагіату, фабрикацій та фальсифікацій.

Висвітлення результатів дисертації в опублікованих працях. Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації повністю відображені у наукових статтях, опублікованих у фахових виданнях, доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях та захищені Патентом України на винахід. За темою дисертації опубліковано 43 наукові праці, серед яких: 30 статей у

міжнародних та вітчизняних періодичних фахових виданнях, з яких 16 статей індексується у Scopus, 8 – Index Copernicus, 6 статей у фахових виданнях України, 1 патент України на винахід, 12 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи обговорювались на низці міжнародних науково-технічних конференціях.

Відповідність змісту реферату основним положенням дисертації. В рефераті стисло викладено основні результати дисертаційної роботи та повністю відображено сформульовані в ній наукові положення, висновки і рекомендації.

Зауваження до тексту дисертації та реферату

До змісту дисертаційної роботи та реферату є наступні зауваження.

1. В роботі здобувача недостатньо уваги приділено загальній методиці проведення досліджень, яка, на мою думку, повинна охоплювати в сукупності як способи отримання матеріалів із заданою концентрацією легуючих матеріалів, так і методи та методики модельних і експериментальних досліджень їхніх характеристик.

2. У п. 3.5, 4.4 та 5.4 наведено результати проведених експериментальних досліджень характеристик чутливих елементів, зокрема питомого електроопору, вказано числові дані з точністю до 4 – 5 десяткових знаків, але достовірність отриманих результатів не повною мірою підтверджена відомостями про використані засоби вимірювальної техніки, методики та умови проведення вимірювань.

3. По тексту роботи зустрічається некоректне застосування логарифмічної функції, а саме – подані логарифми від розмірних фізичних величин. До прикладу, в (1.1) та (1.2) це $\lg R_T$, де R_T – питомий опір термісторних термометрів. Теж зауваження стосується позначення осей (в логарифмічному масштабі) на графіках в розділах 3-5.

4. В розділах 3 – 5 використано інтерполяційне представлення функціональної залежності характеристик матеріалу чутливого елемента від температури (див., до прикладу, табл. 3.2, 3.3), проте не вказано метод їх отримання та точність інтерполяції, а коефіцієнти B_i інтерполяційних рівнянь наведені без розмірностей.

5. Дослідження властивостей матеріалів чутливих елементів проводилися на масивних зразках, а при дослідженні термо-рс чутливих елементів використано провідник термометричного матеріалу, отриманий волочінням. Процес отримання провідника супроводжується утворенням дефектів в матеріалі. Як це було враховано?

6. У тексті дисертації присутні стилістичні та граматичні помилки.

Загальний висновок

Проведений аналіз дисертаційної роботи Пашкевича В. З. «Розвиток фізичних засад створення чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів» свідчить, що за змістом, оформленням, обсягом, науковою новизною і науковими публікаціями, важливістю та глибиною вирішення науково-технічної проблеми підвищення точності та стабільності температурних вимірювань у широкому температурному діапазоні, що виявляється у розвитку фізичних засад створення чутливих елементів термометрів опору і термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками та розробленні принципів керування ними шляхом запровадження сучасних методів моделювання їхніх властивостей, відповідає вимогам МОН України щодо оформлення дисертацій (наказ МОН України №40 від 12.01.2017 разом зі змінами згідно наказу МОН України №759 від 31.05.2019) та пунктам 7 та 9 Постанови Кабінету міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор **Пашкевич Володимир Зеновійович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, провідний науковий
співробітник лабораторії теплометрії
Інституту технічної теплофізики НАН України (м. Київ)



Леонід ДЕКУША

Підпис Леоніда Декуші засвідчую:

24.10.2024.

