

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., проф. Середюка О.Є.
на дисертаційну роботу Склярова Володимира Васильовича
«Розвиток методів вимірювань характеристик складних механічних та
теплофізичних систем на основі комп’ютерного моделювання»,
яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальність 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне
забезпечення

Актуальність теми дисертаційної роботи

Механічні і теплофізичні системи, які є невід’ємною частиною сучасних виробничих об’єктів, потребують обов’язкового застосування до них метрологічного забезпечення як методології підтвердження достовірності і необхідної точності багатопараметричної вимірювальної інформації. Це доцільно розглядати в двох аспектах. Перший стосується наукових досліджень, з метою забезпечення безпечної експлуатації при продовженні життєвого циклу об’єктів, нормативний термін експлуатації яких стосується суттєвого відпрацювання свого ресурсу. Прикладом цього можуть бути механічні і теплофізичні системи енергогенеруючих об’єктів, зокрема атомних електростанцій. Другий напрям наукових досліджень стосується обґрунтування і дослідження метрологічних характеристик національних еталонів при їх розробленні і вдосконаленні, а також для правильної методології проведення міжнародних звірень.

За таких умов актуальними постають питання щодо розроблення науково-технічних зasad методології підвищення точності розвитку результатів досліджень характеристик складних механічних і теплофізичних систем на основі синтезу вимірювань, аналітичних розрахунків, комп’ютерного моделювання і метрологічних досліджень, що характеризує актуальність дисертаційної роботи.

Наукова новизна отриманих результатів стосується розроблення теоретичних і методологічних основ вимірювання механічних і теплофізичних характеристик складних систем на основі моделювання процесу вимірювання у поєднанні з проведенням експериментальних досліджень.

Найважомішими науковими результатами є наступні:

- запропоновано комплексний розрахунково-експериментальний метод, який на відміну від існуючих методів експертної оцінки, базується на поєднанні сучасних комп’ютерних програм та результатів експериментальних досліджень складних систем, що дозволяє підвищити достовірність оцінки та прогнозування технічного стану таких систем;



- удосконалено метод розрахунку калориметричного перетворювача лазерного випромінення із врахуванням в модельному описі температурного поля нелінійності коефіцієнта нееквівалентності заміщення, що дозволяє підвищити точність вимірювання потужності та енергії лазерного випромінення;

- удосконалено методологію прогнозування механічних властивостей матеріалів з використанням моделювання та експериментального дослідження методів вимірювання твердості зразків матеріалу, яка, на відміну від існуючих нормативних методів оцінювання їх експлуатаційних характеристик, передбачає прогнозування процесу старіння та дослідження технічного стану компонентів обладнання, які визначають їх безпечно експлуатацію, що дозволило підвищити достовірність оцінки технічного стану тепломеханічного обладнання, в тому числі і для АЕС;

- набули подальшого розвитку модельні рішення при дослідженні властивостей сучасних полімерних матеріалів як складових механічних і теплофізичних систем, отриманих із застосуванням адитивних технологій, що дає можливість моделювати поведінку полімерних матеріалів залежно від впливових механічних і температурних факторів.

Практична цінність отриманих у дисертації результатів полягає:

- у розробленні комплексного розрахунково-експериментального методу оцінювання стану обладнання з метою продовження його проектного терміну експлуатації, що впроваджено в умовах функціонування енергоблоків Рівненської АЕС;

- у підвищенні достовірності і точності оцінювання метрологічних характеристик національного еталона за шкалами твердості Роквелла та Супер-Роквелла (ДЕТУ 02-04-99), що дозволило отримати позитивне рішення за результатами виконаних його міжнародних звірень;

- у впровадженні результатів роботи у практичну діяльність ТзОВ «Харків-Прилад», ПРАТ «Енергооблік» (м. Харків), НВП «Ельва» (м. Харків), ТзОВ «НВФ«Укрінтех» (м. Харків);

- у вдосконаленні державного первинного еталону одиниць середньої потужності лазерного випромінювання та енергії імпульсного лазерного випромінювання (ДЕТУ 11-04-97), що дозволило підвищити точність вимірювань за рахунок розширення діапазону відтворення потужності лазерного випромінення до 3 Вт та енергії лазерного випромінення до 3 Дж.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Розроблені автором науково-обґрунтовані рекомендації у вигляді відповідно оформленіх методик можуть бути використані в практичній діяльності науково-дослідних підприємств та організацій, які займаються проектуванням та виробництвом механічних та теплофізичних систем енергогенеруючих об'єктів, а також

відповідних підрозділів державних і приватних структур, які здійснюють моніторинг і прогнозування працездатності та встановлюють термін експлуатації енергогенеруючих об'єктів України. Результати роботи можуть бути використані при розробленні нових нормативних документів України щодо встановлення основних умов безпечної функціонування складних енергогенеруючих об'єктів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації, підтверджуються чітким формулюванням мети, коректністю постановки і вирішення завдань дослідження, використанням широко апробованих методів моделювання механічних та теплофізичних систем, які забезпечують безпечну експлуатацію і продовження терміну працездатності промислових об'єктів, що відносяться до енергогенеруючих систем або входять до складу національних еталонів України.

Достовірність наукових результатів, положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується як результатами коректно виконаних експериментальних досліджень, їх апробацією в реальних умовах експлуатації, так і результатами комп'ютерних розрахунків та їх високою кореляцією з результатами аналітичних розрахунків та експериментальних даних.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач дослідження є логічними, не суперечать загальновідомим фізичним закономірностям, що обґрунтовано значним обсягом теоретичних та експериментальних досліджень, а також підтверджуються достатньою апробацією основних положень і висновків на міжнародних науково-технічних конференціях.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, додатків та переліку використаної літератури, яка подана в кінці кожного розділу. Загальний обсяг роботи складає 383 сторінки, з них основний текст – 297 сторінок; 178 рисунків за текстом, 90 таблиць за текстом, 4 таблиці на 4 сторінках; переліку використаної літератури із 292 найменувань на 33 сторінках; 9 додатків на 22 сторінках.

У *вступі* зазначено актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання дослідження. Наведено зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Визначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичну цінність. Показано об'єкт, предмет та методи дослідження, а також зазначено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень та публікації отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан вимірювання механічних та теплофізичних характеристик складних систем. Розглянуто системи, які стосуються атомних енергогенеруючих об'єктів України і Національних еталонів України для вирішення задач адитивного виробництва. Подано аналіз і області застосування відомих розрахункових комплексів і програм комп'ютерного моделювання при розробленні окремих вузлів складних систем. Описано економічну складову цифрової трансформації Національних еталонів.

Другий розділ присвячено дослідженню точності результатів комп'ютерного моделювання. Сформовані вимоги до точності модельних рішень складних систем і наведено модельне рішення градієнтного методу для геометричних вимірювань. Проведено дослідження впливу скінченного елемента при розрахунках систем складної геометрії, які стосуються вивчення радіальних, окружних і еквівалентних напружень деталей гермопроходки при її експлуатації. Виконаний порівняльний розрахунок модельного рівняння для різних видів напружень. Наведено результати вивчення термоструктурної реакції сопел та друкарських елементів сучасних 3D-принтерів для адитивного виробництва складних елементів і вузлів при проектуванні калібраторів температури і блоків термостатування реперних точок.

У третьому розділі здійснено моделювання складових частин механічних систем та вимірювальних процесів Національних еталонів у галузі вимірювання твердості. Проведено моделювання процесу вимірювання твердості матеріалів. Досліджено та розраховано складові бюджету невизначеності мір твердості, які використовувалися для міжнародних звірень. Досліджені впливові фактори, які впливають на бюджет невизначеності мір твердості. Проведено моделювання зв'язків між твердістю та напруженістю деформованого тіла. Досліджені механічні характеристики сучасних полімерів для адитивного виробництва елементів і вузлів складних механічних систем.

Четвертий розділ стосується розроблення напрямків удосконалення і підвищення ефективності застосування еталонів у галузі температурних вимірювань. Здійснено моделювання та дослідження впливу температурозалежних параметрів при вимірюванні температури. Розроблено модельне рівняння для лазерного випромінювання, яке використано в еталонному засобі. Досліджено температурний розподіл у приймальному елементі калориметричного первинного перетворювача.

П'ятий розділ присвячено викладенню суті і методики застосування розрахунково-експериментального методу досліджень складних систем, який стосується визначення їх технічного стану, розрахунку експлуатаційних характеристик і визначення вібраційних характеристик обладнання. Розглянута модель процесу старіння обладнання тривалої експлуатації.

У шостому розділі викладено результати досліджень ступеня еквівалентності Національного еталона твердості за шкалами Роквелла та Супер-Роквелла за результатами міжнародних звірень. Наведено алгоритми і результати міжнародних звірень Національного еталона за двома наведеними вище шкалами.

У **додатах** наведені програмні файли для розрахунку твердості і температурного розподілу на мові APDL. Наведені акти впровадження результатів докторської дисертації, а також список публікацій здобувача за темою дисертації.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому, відповідність встановленим вимогам до оформлення дисертацій. Дисертаційна робота написана загальноприйнятою науковою мовою із використанням сучасної правильної української наукової термінології. Робота виконана на належному науковому рівні, є завершеною науковою працею, має практичне значення та відображає рішення актуальної науково-прикладної проблеми розвитку методів вимірювань характеристик складних механічних та теплофізичних систем на основі комп'ютерного моделювання.

Оформлення дисертації в цілому відповідає темі досліджень і вимогам пунктів 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 (зі змінами), які ставляться до докторських дисертацій, Наказу Міністерства освіти і науки «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» від 12.01.2017 № 40, чинним пунктам Наказів Міністерства освіти і науки України «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» від 23.09.2019 р. №1220 та Листа МОН України від 04.12.2015 р. № 1/9-586 «Про опублікування результатів дисертацій у періодичних виданнях», а також паспорту спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Відповідність автореферату до змісту дисертації. Автореферат в загальному написаний відповідно до вимог МОН України до авторефератів. Він містить всі необхідні складові структурної побудови і в ньому викладена основна суть виконаних наукових досліджень, а також наведені висновки та список основних публікацій. В цілому зміст автореферату дисертації адекватно відображає основну суть виконаної роботи.

Повнота викладення основних наукових положень, висновків та рекомендацій. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано в 54 наукових працях, з яких 17 одноосібні, у тому числі: 22 наукові статті у фахових виданнях, серед яких 6 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз. Здійснено 30 виступів на 18 науково-

технічних міжнародних конференціях і семінарах, у тому числі у 10 закордонних. Опубліковано 5 наукових праць у виданнях, що включені до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, та у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus. Також розміщено 13 тез доповідей у базі даних Scopus. Тому апробацію результатів дисертаційних досліджень можна вважати достатньою.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи та автореферату.

1. В роботі надано недостатньо повне пояснення терміну «складні системи» і критерії їх відношення до механічних і теплофізичних систем.

2. В роботі не відображені вклад і напрям досліджень сучасників-науковців у сфері, яка стосується дисертаційних досліджень.

3. Не конкретизовано поняття «економічної складової цифрової трансформації Національних еталонів». Як тут поєднується три компоненти: економіка, цифрова трансформація і еталон? Чи цей термін є нормативним?

4. Підрозділ 2.2, в якому аналізується вплив типу скінченного елемента на результати розрахунків систем складної геометрії викладений надто детально і досить об'ємний (понад 40 стор.). Доцільно було би його скоротити, а рисунки винести в додатки.

5. В підрозділі 2.3, який стосується порівняльного розрахунку модельного рішення, викладені питання дослідження температурної реакції сопел та друкуючих елементів, що необхідно було відобразити як окремий підпункт розділу 2.

6. На рисунках 3.25-3.30 наведено досить велике розсіювання результатів експериментів. Чи це впливає на невизначеність і достовірність отриманих акроксимаційних характеристик визначення твердості?

7. Не конкретизовані додаткові складові бюджету невизначеності при вимірюванні твердості зразкових мір.

8. Недостатньо конкретизований вклад автора або новизна у розробленні розрахунково-експериментального методу (РЕМ) продовження терміну експлуатації об'єктів, адже в дисертації спочатку вказано, що цей метод розроблений в ННЦ «Інститут метрології». Чим відрізняється комплексний РЕМ (терміномогія з формулювання наукової новизни) від РЕМ?

9. Не відображена методологія визначення резонансних частот при дослідженні об'єктів, що розглянуто в розділі 5.

10.Не розкрито особливості моделювання температурного розподілу у багатошаровій моделі калібратора температури порівняно з відомими методиками прямого калібрування засобів вимірювання температури і практична цінність цього моделювання (підрозділ 4.1).

11. Підздріл 5.4 не містить алгоритмів розрахунку експлуатаційних характеристик обладнання, а подані тільки результати розрахунків допустимих значень параметрів.

12. Підрозділ 5.5 не містить критеріїв, за якими може бути оцінений якісний рівень електричного та електротехнічного обладнання.

13. В роботі недостатньо конкретизовано застосування саме вимірювальних метрологічних методів для розв'язання завдань стосовно складних механічних та теплофізичних систем.

14. В роботі не відображені вплив досліджень здобувача на визначення ступеня еквівалентності Національного еталону твердості і чи вони вплинули на покращення метрологічних характеристик цього еталону.

15. Робота містить низку зауважень щодо оформлення:

15.1 Мету роботи доцільно було доповнити термінологією метрологічних досліджень, адже дисертаційна робота стосується напрямку метрологічного забезпечення.

15.2 Формулювання об'єкту дослідження не містить терміну «процес» або «явище».

15.3 При викладенні методів досліджень треба було би відобразити теорію теплопередачі чи тепlopровідності, метод Гауса.

15.4 Загальні висновки до роботи досить розмиті і недостатньо корелюють із завданнями для вирішення в дисертаційній роботі (цих завдань мало би бути сформульовано, як для докторської дисертації, трохи більше).

15.5 Не зрозумілами є застосування термінів «кваліфікація обладнання», «критичні компоненти обладнання».

15.6 Великі таблиці, які містять результати міжнародних звірень доцільно було би винести в додатки (див. розділ 6).

15.7 В назві дисертації використаний сполучник «та», а в авторефераті – сполучник «і».

15.8 В переліку апробацій результатів дисертації неправильно вказаний номер XI конференції «Метрологія та вимірювальна техніка», 2014р. замість IX.

Висновок про відповідність дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України.

Дисертаційна робота Склярова Володимира Васильовича є завершеною працею, яка містить нові науковообґрунтовані дослідження, що в сукупності забезпечують розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищення точності результатів досліджень механічних і теплофізичних характеристик складних систем на основі синтезу вимірювань, аналітичних розрахунків і комп'ютерного моделювання і метрологічного забезпечення,

відповідає науковому рівню робіт, що подаються на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній завдання досліджень, викладені основні наукові результати, достатня кількість і обсяг публікацій та аprobacії дають можливість зробити висновок про те, що дисертаційна робота «Розвиток методів вимірювань характеристик складних механічних та теплофізичних систем на основі комп'ютерного моделювання» повністю відповідає паспорту спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Вказані зауваження не стосуються основних наукових положень дисертації і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та на її наукову цінність.

Вважаю, що дисертаційна робота Склярова В.В. за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю отриманих в ній результатів досліджень та рівнем виконання повністю відповідає вимогам МОН України згідно п. 9, 10, 12-14 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор Скляров Володимир Васильович заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Офіційний опонент,
Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
доктор технічних наук, професор

О.Є. Середюк

