

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Декуши Олега Леонідовича

«Науково-практичні засади неруйнівного контролю терморадіаційних та теплофізичних характеристик матеріалів і виробів»,

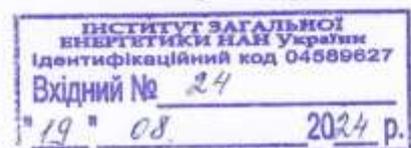
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Актуальність теми дисертації

В сучасних умовах постійного зростання дефіциту та вартості енергоресурсів особливої актуальності для подальшого розвитку індустріального суспільства набуває вирішення проблеми скорочення енергоспоживання за одночасного задоволення потреб виробництва та вимог підвищення якості життя людини. Одним із секторів енергоспоживання з невикористаним потенціалом енергозбереження є домогосподарства. Зниження енергоспоживання в цьому секторі економіки може суттєво скоротити витрати на енергоносії, зменшити викиди парникових газів та підвищити енергетичну безпеку країни.

Важливим напрямом енергозбереження є підвищення теплоізоляції будівель. Контроль теплофізичних та терморадіаційних характеристик матеріалів та виробів на всіх етапах життєвого циклу є ключовим для забезпечення ефективної теплоізоляції. Світова наукова спільнота активно працює над розробленням нових методів та стандартів для високоточного вимірювання теплоізоляційних властивостей будівельних матеріалів.

Теплозахисні оболонки відіграють важливу роль у енергоспоживанні будівель, а тепловий опір є основним параметром для характеристики теплових властивостей огорожувальних конструкцій. Особливо актуальним є вимірювання теплового опору теплозахисних оболонок в натурних умовах. Значення цього параметру для сучасних будівель може перевищувати 4



$K/Wt \cdot m^2$ Контроль таких величин теплового опору в свою чергу вимагає вимірювання малих значень теплового потоку та врахування терморадіаційних властивостей матеріалів огорожувальних конструкцій. Додатковими факторами, які ускладнюють розв'язання цієї задачі контролю є, по-перше, необхідність здійснення контролю за зменшених температурних перепадів між зовнішнім та внутрішнім середовищем, і по-друге, коливання температури всередині приміщення вимагає застосування методів вимірювання параметрів нестационарних теплових потоків.

Наведене вище засвідчує, що створення теоретичних засад та розроблення методів і засобів контролю терморадіаційних й теплофізичних характеристик матеріалів і виробів та методик їх комплексного застосування є актуальною науково-практичною проблемою. Актуальність дослідження також підтверджується його відповідністю державним пріоритетам у сфері енергетики та потенціалом для практичного застосування результатів у рамках реалізації існуючих наукових програм і планів.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень та отриманих результатів у роботі забезпечується комплексним підходом, який передбачає застосування методів математичного та комп'ютерного моделювання складних процесів теплообміну, використання інструментарію математичної статистики та концепції невизначеності для оцінювання експериментальних даних, а також валідацію розроблених моделей на основі експериментальних даних, отриманих за допомогою сучасного обладнання, яке відповідає вимогам міжнародних стандартів.

Наукова достовірність отриманих результатів підтверджується їх апробацією на наукових конференціях, патентуванням розробок та їх успішним впровадженням у практичну діяльність.

Наукова новизна отриманих результатів

Запропоновано новий концептуальний підхід до комплексного

неруйнівного контролю терморадіаційних та теплофізичних характеристик матеріалів та виробів, що використовуються в огорожувальних конструкціях будівель, який ґрунтується на моделях полів інформативних параметрів та статистичних методах опрацювання експериментальних даних.

Запропоновано метод контролю коефіцієнту емісії, в основу якого покладено принципи диференціальної калориметрії, що забезпечило компенсацію конвективно-кондуктивної складової теплообміну і можливість проведення експрес-контролю в лабораторних, виробничих та натурних умовах без спеціальної підготовки поверхні об'єкта контролю.

Запропоновано метод корекції результатів вимірювання теплового потоку шляхом компенсації температурного дрейфу, що дало змогу зменшити невизначеність результатів вимірювання теплового потоку в натурних умовах.

Удосконалено метод контролю теплового опору шляхом застосування комп'ютерної моделі об'єкта контролю, що дало можливість знизити вплив інструментальних факторів на достовірність контролю та прогнозувати стан теплозахисної оболонки будівлі з урахуванням кондуктивного та конвективно-радіаційного теплообміну.

Розвинуто науково-практичні засади створення нових сенсорів теплового потоку та удосконалено їхнє метрологічне забезпечення для здійснення прецизійних вимірювань густини теплового потоку в діапазоні 1–10 Вт/м² та за наявності дрейфу температури.

Практична цінність і значення дисертаційної роботи

Практична цінність роботи полягає у такому

- розроблено комплексну методику неруйнівного контролю на основі поєднання безконтактного тепловізійного аналізу огорожувальних конструкцій з можливостями контактних методів вимірювання поверхневої густини теплового потоку та температури, що дало змогу зменшити вплив суб'єктивного фактору на результати випробувань;

- розроблено систему неруйнівного контролю теплового опору

зовнішньої оболонки будівель та програмний пакет реєстрації і опрацювання експериментальних даних, в яких за рахунок модульної будови системи та використання сенсорів теплового потоку різних модифікацій забезпечена можливість проведення одночасного контролю теплового опору у великій кількості зон та дослідження теплозахисної оболонки будівлі складної конструкції;

- розроблено методику досліджень та апаратно-програмний комплекс неруйнівного контролю коефіцієнту емісії, що дало змогу реалізувати дослідження низки енергоефективних матеріалів та покриттів, які застосовуються в будівництві.

Результати, отримані в ході дисертаційного дослідження, знайшли практичне застосування на виробничих підприємствах країни та апробовані у навчальному процесі провідних вищих навчальних закладів України, що наведені акти впровадження.

Викладені наукові положення відповідають світовому рівню, про що свідчать 13 статей у періодичних виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, одна з публікації надрукована у виданні з квантилем Q1, та 2 публікації – у виданнях з квантилем Q2.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація є завершеною науковою роботою, виконаною і оформленою відповідно до існуючих вимог.

Робота містить анотацію, список публікацій автора, вступ, шість розділів, висновки, перелік використаних джерел та чотири додатки.

У вступі розкрито актуальність напрямку досліджень та обґрунтовано вибір теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, наведено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, вказано зв'язок з науковими програмами, темами, планами, грантами, методи досліджень, стан публікацій та апробація результатів дисертаційного дослідження, наведено

відомості про їхнє впровадження.

У першому розділі проаналізовано наукові публікації та сучасний стан нормативно-технічних документів щодо теплотехнічного обстеження будівель та споруд. Розглянуто апаратне забезпечення, що застосовується для контролю теплотехнічного стану оболонки будівель в лабораторних та натурних умовах, визначено вимоги до систем контролю, за допомогою яких проводяться дослідження теплового опору елементів теплозахисної оболонки будівлі. Зазначено, що для дослідження складних об'єктів є потреба у створенні системи контролю, побудованої за модульним принципом.

Проведено аналіз методичного забезпечення досліджень теплового опору, обґрунтовано доцільність вдосконалення методики неруйнівного контролю, яка б поєднувала якісний тепловізійний аналіз оболонки будівлі (згідно ISO 6781) та кількісний аналіз на основі вимірювання значень поверхневої густини теплового потоку і температури (згідно ISO 9869), що б дозволило підвищити вірогідність виявлення дефектів конструкції, які приводять до втрат тепла, та знизити вплив суб'єктивного фактору на результати проведення випробувань.

Проведено аналіз методів визначення коефіцієнта емісії, який є ключовим параметром у дослідженнях теплообміну випромінюванням. Значна увага приділена методам, що застосовуються для неруйнівного контролю матеріалів та виробів, які використовуються в будівництві, зокрема енергоефективного скла.

У другому розділі сформульовано концептуальний підхід до комплексного контролю терморадіаційних та теплофізичних характеристик матеріалів та виробів, який ґрунтується на моделях полів інформативних параметрів та статистичних методах опрацювання експериментальних даних.

Розглянуто математичну модель кліматичної компоненти метеорологічного поля при контролі теплового опору, з метою оцінювання основних факторів та метеорологічних параметрів, що впливають на теплообмін в будівлях.

Запропоновано комп'ютерну модель процесу складного радіаційного та конвективно-кондуктивного теплообміну при контролі теплофізичних характеристик оболонки будівлі з урахуванням місць встановлення сенсорів і впливу їх параметрів на результат контролю. Отримано розподіл температури та швидкості повітря на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції, що дало змогу визначити вплив сенсорів, які розташовані на поверхні, на розподіл поля теплового потоку. Проведено аналіз впливу зміни коефіцієнта емісії сенсорів теплового потоку на результати визначення теплового опору зовнішньої оболонки будівлі.

Розроблено новий метод корекції результатів вимірювання теплового потоку, який дозволяє зменшити вплив температурного дрейфу на невизначеність результатів вимірювання.

Розвинуто науково-практичні засади створення сенсорів теплового потоку, які призначені для вимірювання низьких значень теплового потоку (від 1 до 10 Вт/м²) за умов температурних коливань.

У третьому розділі запропоновано диференційний калориметричний метод, призначений для експрес-контролю коефіцієнта емісії матеріалів та виробів. Метод вимірювання інтегрального напівсферичного коефіцієнту емісії поверхні матеріалів та покриттів може знайти застосування у виробництві будівельних матеріалів і конструкцій. Для детального аналізу процесів складного радіаційного та конвективно-кондуктивного теплообміну, що мають місце при реалізації цього методу, було розроблено комп'ютерну модель, яка дає змогу враховувати вплив різних факторів на точність вимірювань та оптимізувати конструкцію приладу.

У четвертому розділі наведено методику неруйнівного контролю теплового опору оболонки будівлі, яка поєднує тепловізійний якісний аналіз температурних полів оболонки будівлі з результатами кількісних контактних вимірювань поверхневої густини теплового потоку та температури. Запропонована методика оцінювання невизначеності отриманих результатів.

Розроблено апаратно-програмну реалізацію контролю теплового опору,

яка побудована за модульним принципом.

Розроблено апаратно-програмну реалізацію експрес-контролю коефіцієнту емісії поверхонь матеріалів, в основу якої покладено диференціальний калориметричний метод. Створене апаратно-програмне рішення дозволяє проводити дослідження енергоефективних матеріалів та покриттів з коефіцієнтом емісії в діапазоні від 0,05 до 1,0.

П'ятий розділ роботи присвячений метрологічному забезпеченню вимірювання теплового потоку. Проведено детальний аналіз процесів теплообміну в системі для радіаційного калібрування сенсорів теплового потоку. Запроваджено комплексний підхід до оцінювання метрологічних характеристик біметалевих і напівпровідникових сенсорів теплового потоку, які широко застосовуються для контролю теплового опору огорожувальних конструкцій.

У шостому розділі проведено апробацію запропонованої комбінованої методики неруйнівного контролю теплового опору оболонки будівлі. Виконано експериментальні дослідження розробленої системи контролю теплового опору огорожувальних конструкцій будівель в лабораторних та натурних умовах та приладу для визначення коефіцієнту емісії.

Висновки містять узагальнений підсумок отриманих наукових і науково-практичних результатів та рекомендацій.

У Додатках наведено свідоцтво про перевірку системи контролю теплового опору, акти впровадження дисертаційної роботи, розрахунки комп'ютерної моделі до розділу 3, наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

Характеризуючи зміст роботи в цілому слід визначити комплексність та багатогранність задач, розв'язаних автором на шляху вдосконалення існуючих та створення нових методів і систем неруйнівного контролю терморадіаційних та теплофізичних характеристик, проведення експериментальних досліджень для підтвердження запропонованих науково-практичних підходів та рішень.

Повнота відображення результатів у публікаціях і апробація роботи

Зміст дисертаційної роботи відображено в 31 друкованій науковій праці, серед яких 21 публікація, що розкривають основний зміст дисертації, з яких 13 – у періодичних виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, 1 – у фаховому виданні України віднесеному до категорії А, 3 – у фахових іноземних виданнях та виданнях України, 2 монографії, 2 патенти на винахід; одна з публікацій надрукована у виданні з квантилем Q1, та 2 публікації у виданнях з квантилем Q2, що відповідно п.2 наказу МОН від 23.09.2019 № 1220 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» кількісно у сукупності із зазначеними вище публікаціями прирівнюються до 27 публікацій, які розкривають основні наукові результати дисертації. Крім того, наявні 5 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій, з яких 4 у виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science та 5 публікацій, які додатково розкривають зміст дисертаційної роботи.

Представлені в дисертації результати досліджень були висвітлені на Міжнародних і Всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференціях, зокрема на таких: IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Львів, Україна, 2019; XIV International Scientific and Technical Conference CSIT'19. Computer Science and Information Technologies Львів, Україна, 2019; IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology "ELNANO-2019", Київ, Україна; IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology, Київ, Україна, 2020; 3rd International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems CMIS Запоріжжя, Україна 2020; 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ІТТАР Тернопіль, Україна 2021; 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ІТТАР Тернопіль, Україна 2022; International Conference Information Control Systems & Technologies (ICST) Одеса, Україна 2023.

В публікаціях основні результати викладено в повній мірі, в працях, які опубліковано у співавторстві, відображено особистий внесок здобувача.

Зміст реферату ідентичний до змісту основних положень дисертації та достатньо повно відображує сутність отриманих результатів.

Використання в докторській дисертації наукових положень, на основі яких захищено кандидатську дисертацію.

У докторській дисертації наукові положення і висновки, отримані в кандидатській дисертації, на захист не виносяться. Деякі матеріали кандидатської дисертації використовуються лише в оглядовій частині роботи для характеристики початкового стану питань, що досліджуються.

Зауваження по дисертаційній роботі

До змісту дисертаційної роботи та автореферату є наступні зауваження.

1. Формулювання науково-технічної (науково-практичної проблеми на рис.1.14 та у висновках дещо відрізняються по формулюванню.

2. По тексті дисертації зустрічається подача числових значень невизначеності без зазначення їх типу – стандартна чи розширена (наприклад, табл.1.5, п. 1.2.4), а розширеної невизначеності – без рівня довіри (див., наприклад, висновки).

3. Вбачається недоречним подавати відомості про розроблений в роботі метод визначення теплового опору вже в першому розділі (п.1.2.3).

4. Не вдало подано позначення різних змінних однією літерою, до прикладу, «*A*» – площа поверхні зразка та коефіцієнт емісії (п.1.3.1) і поправка у формулі (2.10). По тексті дисертації зустрічаються некоректні терміни та фрази, наприклад, «математичне середнє» (п.1.3.1), «найбільш оптимальне» (п.3.2), «Теплове випромінювання ... вимірюється термобатареєю» (п.1.3.2).

5. В розділі 4 пункті 4.3 наведено апаратно-програмна реалізація приладу для визначення коефіцієнту емісії, яка відрізняється від розглянутої при проведенні комп'ютерного моделювання в пункті 3.3 за своєю формою та геометричними розмірами

6. В розділі 4 не наведено обґрунтування розподілу Гауса, використаного для оцінювання достовірності контролю теплового опору за формулою (4.28).

7. У п.1.2.3 наведено ряд факторів, які згідно зі стандартом ISO 9869 повинні бути враховані при оцінюванні невизначеності вимірювання теплового опору, але не всі вони враховані у повній мірі в наведеному у п.4.1 порядку розрахунку розширеної невизначеності результатів вимірювання теплового опору оболонки будівлі.

8. В розділі 6 (п 6.1, 6.2) не наведено обґрунтування вибору огорожувальних конструкцій для випробування системи контролю теплового опору та розробленої методики, що поєднує тепловізійний аналіз огорожувальних конструкцій з контактними вимірюваннями значень поверхневої густини теплового потоку та температури

9. В списку публікацій здобувача наведено патенти на винаходи, що стосуються апаратного забезпечення теплометричних вимірювань, в той час як розроблені в роботі методи контролю не захищені патентами на винахід.

Вказані зауваження не ставлять під сумнів отримані результати і не знижують цінності дисертаційної роботи, в якій вирішено важливу науково-практичну проблему, що полягає у створенні теоретичних засад, розробленні та практичному застосуванні засобів та методів комплексного контролю терморадіаційних й теплофізичних характеристик матеріалів і виробів.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Декуши О.Л. «Науково-практичні засади неруйнівного контролю терморадіаційних та теплофізичних характеристик матеріалів і виробів», є завершеною, цілісною науковою працею, присвяченою вирішенню науково-практичної проблеми створення теоретичних засад неруйнівного контролю, розробленню та практичному застосуванню засобів та методів комплексного контролю терморадіаційних та теплофізичних характеристик матеріалів і виробів, призначених для обстеження теплоізоляційної оболонки будівель та споруд як складової

частини енергоаудиту, містить обґрунтовані наукові положення, висновки та рекомендації, має наукову новизну та практичну цінність.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Дисертація містить результати власних досліджень, у роботі відсутні академічний плагіат, фабрикації, фальсифікації.

За змістом, оформленням, обсягом, науковою новизною і публікаціями, важливістю та глибиною вирішення актуальних задач дисертаційна робота Декуши О.Л. на тему «Науково-практичні засади неруйнівного контролю терморадіаційних та теплофізичних характеристик матеріалів і виробів», 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 Декуша Олег Леонідович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Професор кафедри

автоматизації та систем неруйнівного контролю

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря

Сікорського», доктор технічних наук, професор

Ю. Куца Юрій КУЦ

Підпис засвідчую

Вчений секретар

КПІ ім. Ігоря Сікорського



В.В. Холявко

В.В. Холявко