ВІДГУК

Офіційного опонента, доктора технічних наук, професора,
професора кафедри безпеки праці і життєдіяльності людини Національного університету «Львівська
політехніка»
БОЛІБРУХА Бориса Васильовича
на дисертаційну роботу **ДОВГАНОВСЬКОГО Максима Олександровича**
на тему: «Екранування електромагнітних випромінювань інфрачервоного діапазону для забезпечення термоізоляції об'єктів»

1. Вступ

Дисертація Довгановського М.О. присвячена надзвичайно актуальній науковій проблемі розробки ефективних та економічно доцільних засобів термоізоляції об'єктів шляхом екранування електромагнітних випромінювань інфрачервоного діапазону. Захист від втрат теплової енергії та блокування інфрачервоної сигнатури (так званий «інфрачервоний камуфляж») сьогодні є першочерговим завданням як для цивільного сектору (енергоефективність будівель), так і для сектору безпеки.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень базується на використанні фундаментальних законів термодинаміки, рівняння Фур'є-Кірхгофа та сучасної методології математичного моделювання тепломасопереносу (зокрема з використанням пакету COMSOL). Достовірність результатів підтверджена значним обсягом натурних експериментів із застосуванням сертифікованої тепловізійної техніки (Testo 881-2, UNI-T UTi120S). Усі висновки логічно випливають з результатів проведених теоретичних розрахунків, які показали високу збіжність з експериментальними даними.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Вперше експериментально визначено та теоретично обґрунтовано високу ефективність застосування скловолокна для блокування всього спектра ІЧ-випромінювання (8-10 мкм) при товщині захисного шару лише 1-2 мм. Набули подальшого розвитку методичні підходи до моделювання поширення теплового

потоку крізь багатошарову структуру у просторі і часі з урахуванням повітряних прошарків між шарами матеріалу.

4. Загальнонаціональне та світове значення дисертаційної роботи

У загальнонаціональному масштабі результати роботи є життєво необхідними в умовах війни для маскування техніки та збереження життя людей (зниження теплової сигнатури). У світовому вимірі результати роблять вагомий внесок у розвиток енергозберігаючих технологій для будівель та вдосконалення методів захисту від термічних стресів, що є глобальним викликом екології та цивільної безпеки.

5. Відсутність академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації

Робота є самостійно виконаним дослідженням. Всі запозичені ідеї, формули та результати мають належні посилання на використані джерела Жодних ознак академічного плагіату, фальсифікації емпіричних даних чи фабрикації результатів не виявлено.

6. Оцінка мови, стилю та оформлення дисертаційної роботи

Дисертація написана академічною українською мовою з чітким дотриманням наукового стилю та термінології у сфері цивільної безпеки та термодинаміки. Текст структуровано логічно, ілюстративний матеріал (графіки, термограми) представлений на високому якісному рівні. Оформлення відповідає чинним вимогам МОН України.

7. Повнота викладення основних результатів у наукових публікаціях

Основні результати дисертації повною мірою висвітлено у 8 наукових працях. Серед них: 2 статті у наукометричній базі Scopus та WoS, 2 статті у провідних фахових виданнях України, 3 тез доповідей на міжнародних конференціях та 1 патент України на корисну модель.

8. Аналіз основного змісту роботи

Аналіз матеріалів дисертаційної роботи Довгановського М.О. засвідчує її глибоку структурованість, системність та послідовну реалізацію визначених завдань за окремими розділами:

У *вступі* висвітлено науково-прикладний контекст теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, аргументовано наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів.

У *першому розділі* здійснено ґрунтовний аналіз чинної нормативної бази у сфері цивільного захисту, оцінено чинники впливу теплового та інфрачервоного випромінювання на людину й об'єкти, а також узагальнено сучасні досягнення у створенні термоізоляційних покриттів. Доведено, що більшість існуючих засобів є масивними й вартісними, що обґрунтовує доцільність використання тонких волокнистих композицій на основі вітчизняної скло- та базальтосировини.

У *другому розділі* сформовано фізико-математичний апарат для розрахунку складеного кондуктивно-радіаційного теплообміну в шаруватих середовищах із заданням граничних та крайових умов. Розроблено та апробовано експериментальний вимірювальний комплекс з використанням сертифікованих тепловізорів Testo 881-2 і UNI-T UTi120S, що забезпечило достовірність оцінювання розподілу температурних полів.

У *третьому розділі* наведено результати випробувань багатошарових тканин із модифікуючими високодисперсними додаваннями (магнетит, нітрид бору, оксид хрому, графіт). Експериментально доведено, що захисний шар товщиною 1–2 мм із поверхневою густиною 200 г/м² забезпечує ефективне екранування ІЧ-випромінювання за температурних градієнтів 20–30 К, а також висвітлено ефекти використання базальтових волокон для розмиття інфрачервоної сигнатури.

У четвертому розділі реалізовано обчислювальні алгоритми в середовищах MATLAB та COMSOL для розрахунку 2D та 3D полів тепломасопереносу у шаруватих конструкціях із урахуванням повітряних зазорів. Проведено успішну верифікацію математичних моделей із даними натурних випробувань та наведено документальне підтвердження впровадження розробок у ТОВ НВП «Талан-Пожтех» та в навчальний процес КНУБА.

9. Зауваження до дисертації

1. У оглядовій частині розділу 1.2 необхідно було б розглянути зв'язок нормативів з теплового захисту з іншими нормативами, які регламентують електромагнітну безпеку.

2. Частина математичних функцій розділу 3.1 дублює співвідношення розділу 2.1. Достатньо надати посилання на номери формул.

3. При здійсненні моделювання поширення тепла (рис. 3.3–3.4) не вказано, з яких міркувань обиралася кількість шарів з різними фізичними показниками.

4. У розділі 3.3 наведено фото промислового зразка інфрачервоного захисту об'єктів та результати його випробувань. Не сказано, чи виробляється він і використовується у практичній діяльності.

5. При описі матеріалу для одночасного екранування інфрачервоного випромінювання і випромінювання радіочастотних діапазонів наведено тільки ефективність екранування електромагнітного випромінювання радіочастот. Не вказано, чим ця ефективність забезпечена – відбиттям, поглинанням.

6. При наданні результатів верифікації результатів моделювання теплопереносу у шарах захисного одягу (рис. 4.7) надання температури зовнішнього повітря недостатнє. Необхідно надати температурну шкалу для порівняння з температурою незахищених ділянок тіла.

7. У розділі 4 доцільно було б навести порівняння результатів досліджень і ефективності захисту з відомими рішеннями у цій галузі.

8. У загальних висновках по роботі (п. 5) доцільно навести переваги запропонованого підходу до моделювання термічного опору матеріалу у порівнянні з існуючими рішеннями.

10. Висновки по дисертації

Аналіз дисертаційної роботи Довгановського Максима Олександровича свідчить про те, що вона є послідовним, логічно завершеним та самостійним науковим дослідженням актуального завдання підвищення рівня енергоефективностей будівель, захисту людей від впливу низьких та високих температур.

Наукова цінність праці полягає у розробці фізико-математичного та методичного інструментарію для розрахунку шаруватих композитних екранів, що поєднують високі термоізоляційні характеристики із здатністю розмивати й блокувати спектральну сигнатуру в інфрачервоному діапазоні. Експериментальні дані, отримані з використанням сучасного тепловізійного обладнання, підтверджують високу відповідність розроблених 2D/3D моделей реальним фізичним процесам. Практичне застосування розроблених матеріалів дозволить

значно знизити термічні ризики для особового складу рятувальних служб та підвищити енергоефективність захисних споруд.

Висвітлення результатів дослідження у фахових виданнях, патентах та на міжнародних наукових форумах свідчить про їх належну апробацію та повноту викладення.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, рівнем та обсягом проведених досліджень, якістю оформлення дисертаційна робота відповідає вимогам, що передбачені пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, а її автор Довгановський Максим Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека».

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри безпеки праці
і життєдіяльності людини
Національного університету
«Львівська політехніка» Борис БОЛІБРУХ

Підпис професора, д.т.н. Бориса Болібруха **засвідчую**
Вчений секретар НУ «Львівська політехніка»
к.т.н., доцент Юрій ЯТЧИШИН