

## **ВІДГУК**

**офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Шликова Владислава Валентиновича на тему  
«Інформаційна технологія неінвазивного контролю  
температури серця людини в умовах регульованого  
охолодження та зігрівання під час штучного кровообігу»,  
що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних  
наук за спеціальністю 05.13.09 – медична та біологічна  
інформатика і кібернетика**

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність розробки, що спрямована на удосконалення методів та засобів для розробки інформаційної технології неінвазивного контролю температури серця людини в умовах регульованого охолодження та зігрівання під час штучного кровообігу, не викликає сумнівів.

За температурними даними при оперативних витручаннях на серці можливо прогнозувати рівень кровопостачання. Це дає змогу неінвазивно прогнозувати ушкодження, що пов'язані з розвитком ішемії, та є абсолютно безпечною для пацієнта. Комплексність проведених досліджень полягає в поєднанні методів і засобів неінвазивного вимірювання температури в умовах штучного кровообігу, що дозволяє підвищити ефективність інтраопераційного захисту серця та зменшити кількість післяопераційних ускладнень за рахунок повноцінного відновлення порушених функцій міокарду після відновлення кровопостачання. Тому, розробка методів обробки термографічних зображень для динамічного оцінювання і регулювання співвідношень температури і кровообігу контрольованої ділянки серця і підвищення вірогідності прогнозування ускладнень є достатньо актуальною науковою проблемою.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Роботу виконано на кафедрі біомедичної інженерії НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сикорського відповідно до державних програм та планів науково-дослідних робіт: "Дослідження динамічних властивостей та адаптаційних

резервів системи кровообігу людини та розробка критеріїв їх оцінки із застосуванням математичного моделювання" (№ д/р 0110U001467) та "Інструменти для керованої гіпотермії пацієнтів з серцевосудинною патологією"; а також НДР Національного інституту серцевосудинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН України "Медико-інженерна розробка технічних засобів керованого термічного впливу та його контролю для хірургічного лікування серцево-судинних захворювань" (№ д/р 0111U009102); НДР Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України "Дослідження технологій і матеріалів виконання реконструктивно-відновлювальних операцій в ортопедії, загальній та щелепно-лицьовій хірургії із застосуванням синтетичних остеотропних матеріалів та апаратури для контактного і безконтактного з'єднання та обробки живих тканин" (№ д/р 0115U006698) та НДР Національного інституту раку "Розробка біоінженерної технології магнітної нанотераностики злоякісних новоутворень", у яких дисертант був відповідальним виконавцем.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Отримані наукові результати є суттєвим внеском у подальший розвиток методів медичної термометрії, а саме:

- удосконалено модель розподілу температури для ділянки міокарда на основі теплової RC-мережі та схеми Дюфорта-Френкеля для рівняння теплопровідності шляхом введення термоконтакту між міокардом і коронарними судинами, який враховує зміни температури у вузлах теплової RC-мережі в попередній момент часу, додаткові джерела тепла у тканинах і умови перенесення тепла від судин у глибину міокарда та дає змогу контролювати виникнення ішемічних ушкоджень;

- вперше розроблено моделі поширення тепла у поверхневих та внутрішніх шарах міокарда за умов штучного кровообігу в діапазоні температур від  $+4^{\circ}\text{C}$  до  $+38^{\circ}\text{C}$ , які ґрунтуються на тепловій RC-мережі та враховують виміряні характеристики розподілу температури на поверхні серця пацієнта під час регульованого охолодження і зігрівання як початкові параметри моделей та змінний показник температурного опору міокарда, що уможливило дослідження динаміки температурного поля серця за цих умов;

- вперше із застосуванням методів термографії визначено закономірності змін температурного поля серця людини в умовах штучного кровообігу: під час охолодження градієнт температур на поверхні серця (в середньому  $3^{\circ}\text{C}/\text{см}$ ) більше за градієнт температур у разі зігрівання (в середньому  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{см}$ ), що дає змогу виявляти порушення кровоплину в коронарних судинах під час проведення кардіохірургічних втручань;

- удосконалено метод визначення циркуляторної дисфункції коронарного кровоплину, який на основі розподілу температур на поверхні серця за допомогою запропонованої моделі поширення тепла у поверхневих та внутрішніх шарах міокарда дає змогу визначити співвідношення площ з різною температурою під час штучного кровообігу, що уможлиблює дослідження порушень рівномірності кровопостачання в поверхневому шарі міокарда та виділення контурів ділянок на поверхні міокарда з нерівномірним розподілом температури в умовах регульованого охолодження та зігрівання серця;

- удосконалено метод оцінювання рівномірності охолодження та зігрівання серця для біологічної системи "міокард-коронарні судини", який використовує запропоновану модель розподілу температури для процесів охолодження та зігрівання серця для розрахунку мінімальної та максимальної різниці температур у ділянці міокарда відносно середнього значення температури на поверхні серця під час гіпотермії та гіпертермії, що дає змогу визначити час зігрівання і запропоновані коефіцієнти охолодження та зігрівання серця для реалізації керування температурою в контурі штучного кровообігу;

- удосконалено метод виявлення малих температурних неоднорідностей, який поєднує термографічний метод і метод Ейлера та за рахунок вилучення візуального фону та рекурсивного оновлення його моделі забезпечує оброблення в реальному часі відеопотоку термографічних даних, що дало змогу підсилити та візуалізувати малі зміни температури на різних стадіях проведення перфузії, гіпотермії та гіпертермії;

- запропоновано критерій оцінювання нерівномірності розподілу температури в міокарді, який обчислюється за рівнянням температурного поля відносно залежності коефіцієнта температуропровідності від температури і відстані до області реєстрації та є об'єктивним маркером

визначення циркуляторної дисфункції коронарного кровоплину у міокарді під час штучного кровообігу;

запропоновано критерій ефективності захисту серця, який обчислюється як співвідношення геометричних площ охолоджених та прогрітих ділянок міокарда, що є об'єктивним маркером ефективного захисту серця в умовах штучного кровообігу та дає змогу здійснювати прогноз і виявлення зон ішемічного пошкодження в серці.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що:

Реалізовано систему підтримки прийняття рішень для автоматичного регулювання температури в контурі штучного кровообігу під час керованої гіпотермії та гіпертермії серця дає змогу підвищити достовірність контролю температури.

Реалізовано режим візуалізації в реальному часі судин та зон ішемії у міокарді за рахунок використання компонентів інформаційної технології, що поєднує розроблені методи обробки термографічних зображень і технічні засоби неінвазивного вимірювання температури відкритого серця.

Реалізовано програмні засоби для створення інформаційної технології неінвазивного контролю температури серця людини в умовах регульованого охолодження та зігрівання під час штучного кровообігу

Створено клінічну базу термографічних зображень серця для аналізу температурних полів міокарда у разі порушень кровоплину забезпечує об'єктивізацію і виявлення патології та компенсаторних можливостей серцевосудинної системи.

Результати дисертаційної роботи використано та впроваджено в Національному інституті серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН України, Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Національному інституті раку, що підтверджується відповідними актами. Матеріали дисертації використано у навчальному процесі на кафедрі біомедичної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського у вигляді лекцій і практичних занять з дисциплін за спеціальністю 163 "Біомедична інженерія", що підтверджується відповідними актами впровадження.

Практичні результати роботи не викликають сумнівів та підтверджуються відповідними актами впровадження.

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій,** що викладені у роботі забезпечується завдяки коректному формулюванню задач щодо проведених досліджень, підтвердженням адекватності запропонованих методів та математичних моделей, коректним застосуванням методів моделювання та проведення експериментальних досліджень щодо досліджень температурних полів міокарда, апробацією та впровадженням результатів дослідження. Основні наукові результати обговорювалися на різних вітчизняних та закордонних науково-технічних конференціях і семінарах.

### **Оцінка основного змісту дисертації.**

Дисертаційну роботу Шликова Владислава Валентиновича спрямовано на розробку методів та відповідної інформаційної технології неінвазивного контролю температури серця людини в умовах регульованого охолодження та зігрівання під час штучного кровообігу.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел 4 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 347 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 40 таблицями, 110 рисунками. Загальний обсяг дисертації складає 431 сторінку тексту.

У вступі наведено актуальність роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет і основні методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача та відомості про впровадження результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено огляд літературних джерел та визначено основні напрями розвитку методів і засобів термографічної діагностики. Обґрунтована необхідність застосування і вдосконалення методу інфрачервоної термографії в кардіології, що дає змогу досліджувати морфологічні особливості серцевого м'яза і підвищити вірогідність діагностики патологічних процесів у серці в умовах штучного кровообігу, сформульовано мету і задачі дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено дослідженню методичних особливостей застосування термографічних методів у кардіохірургії та розробці функціональної схеми

біомедичних досліджень серця засобами інфрачервоної тепловізійної діагностики. а Наведено основні термодинамічні характеристики міокарда за допомогою фізичної та математичної моделі процесу теплообміну між коронарними судинами, кров'ю і оточуючими тканинами.

**Третій розділ** присвячено розробці та дослідженню математичної моделі процесів теплопереносу в серці пацієнта, які дають змогу теоретично дослідити розподіл глибинних і поверхневих температур у тканинах а також підвищити точність виділення градієнтів температур для розподілу температурного поля у серці, що сприяє адекватної інтерпретації результатів діагностики.

**У четвертому розділі** розглянуто розроблені методи, що входять до складу інформаційної технології неінвазивного контролю температури серця для визначення температурних характеристик серцевого м'язу під час гіпотермії та гіпертермії в умовах штучного кровообігу.

**У п'ятому розділі** наведено структуру інформаційної технології неінвазивного контролю температури в умовах штучного кровообігу і експериментальний зразок програмно-апаратної термографічної системи, запропоновано апаратно-програмні засоби та алгоритми, які розширюють можливості застосування термографії в кардіохірургії.

**У шостому розділі** наведено результати клінічного застосування інформаційної технології неінвазивного контролю температури серця людини в умовах штучного кровообігу та в деяких інших галузях хірургії. Здійснено перевірку роздільної здатності запропонованого методу термометрії.

**У висновках** сформульовано основні теоретичні положення та результати роботи.

**У додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи у відділенні хірургічного лікування патологій аорти та відділенні хірургічного лікування набутих вад серця Національного інституту серцевосудинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН України; у відділі фізики газового розряду і техніки плазми №56 Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України; у науково-дослідній лабораторії медичної фізики та біоінженерії Національного інституту раку МОЗ України та у навчальному процесі кафедри біомедичної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського.

## **Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України**

Текст дисертації в цілому викладено досить логічно і обґрунтовано. Кожен з розділів має чітку специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи.

Представлений рукопис дисертаційної роботи є завершеним науковим дослідженням, який написаний науковим стилем. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи. Робота відповідає сучасним вимогам МОН України, які пред'являються до докторських дисертацій.

## **Повнота викладення результатів в опублікованих працях.**

За матеріалами дисертації опубліковано 46 наукових праць, в тому числі 24 статті у наукових фахових виданнях (з них 7 статей у виданнях іноземних держав, 17 у виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз WorldCat, Google Scholar, OpenAIRE, EBSCO, Scopus, Index Copernicus), 7 статей в інших виданнях, 12 тез доповідей в збірниках матеріалів наукових конференцій та отримано 3 патенти України на корисну модель. Представлені публікації повністю відображають повноту і новизну наукових положень, а також зміст дисертаційної роботи. Авторський внесок в публікації є очевидним.

Автореферат за змістом, науковою новизною, практичною значимістю отриманих результатів та висновками повністю адекватний рукопису дисертаційної роботи і відповідає сучасним вимогам МОН України.

Основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертації обґрунтовано коректним використанням математичного апарату, постановою та отриманням експериментальних їх результатів та підтвержені впровадженням в практичну діяльність результатів дисертації. Отримано збіг теоретичних положень із експериментальними результатами. Тематика дисертації, її зміст і форма викладання матеріалу в повній мірі відповідають паспорту спеціальності 05.13.09 – медична і біологічна інформатика та кібернетика.

### **Недоліки та зауваження до роботи:**

1. В тексті роботи багато виразів щодо підвищення точності методів вимірювання температури та ефективності методів лікування та ін. температури не несуть чіткого смислового навантаження.

2. Не достатньо обґрунтовано, яким чином за отриманими термодинамічними характеристиками міокарда визначається функціональний стан гемодинаміки у серці в цілому.

3. Формулювання деяких пунктів наукової новизни потребують додаткових пояснень та уточнень.

4. Формулювання пунктів практичної цінності роботи у багатьох пунктах повторює, або розкриває тільки наукову складову роботи.

5. Потребує додаткових пояснень вимір температури поверхні міокарда побутовим тепловізійним пристроєм FLIR з відповідною похибкою вимірів.

6. Для експериментальної перевірки адекватності моделей теплових полів доцільно було б провести додатковий вимір глибинної температури серця методом радіотермометрії.

7. Потрібно уточнити, чим структура інформаційної технології неінвазивного контролю температури в умовах штучного кровообігу, що зображена на рис 16 автореферату, відрізняється від алгоритму реалізації відповідного методу.

8. Потребує додаткових клінічних випробувань та пояснень отримання високої вірогідності контролю температури серця (98%) і тем більш запобігання розвитку ішемічних ушкоджень міокарда під час штучного кровообігу.

9. Більшість загальних висновків по роботі не носять характеру рекомендацій.

10. Потрібно було б більшу увагу приділити патентуванню розроблених способів, а не лише отриманню патентів на корисні моделі без проведення експертизи по суті винаходу.

11. В переліку літератури, що опублікована автором за темою дисертації, потрібно чітко указувати фахові видання та дотримуватись діючих стандартів оформлення.

Наведені зауваження не зменшують наукової новизни і практичної значимості дисертаційної роботи, але і не прикрашають її.



### Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційну роботу слід оцінити як завершену наукову працю, що містить нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, які, в сукупності, дозволяють вирішити завдання щодо розробки методів для неінвазивного контролю температури серця людини в умовах регульованого охолодження та зігрівання під час штучного кровообігу, робота відповідає сучасним вимогам МОН України щодо докторських дисертацій, зокрема п. 9, 10, 12-14 "Порядку присудження наукових ступенів" (зі змінами), що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567. Зміст автореферату повністю відображає основні положення дисертації та отримані наукові і практичні результати. Робота повністю відповідає паспорту спеціальності 05.13.09 – медична і біологічна інформатика та кібернетика, а її автор Шликов Владислав Валентинович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.13.09 – медична і біологічна інформатика та кібернетика

### Офіційний опонент,


завідувач кафедри  
біомедичної інженерії  
Харківського національного університету  
радіоелектроніки МОН України,  
доктор технічних наук, професор

  
О.Г. Аврунін

Підпис Авруніна О.Г. засвідчую.

Учений секретар



  
І.В. Магдаліна