

Корисна модель належить до способів контролю температури льодової зони тепловізійним методом під час локального низькотемпературного впливу (кріовпливу) і може бути використана в різних галузях, в тому числі у кріобіології та кріомедицині, для вирішення задач контролю температури об'єктів в режимі реального часу під час кріовпливу.

Контроль ефективності кріовпливу повинен включати як моніторинг руху фронту заморожування (який описується об'ємною ізотермою з температурою $T \approx 0^\circ\text{C}$), так і контроль динаміки температурного поля всередині замороженої зони (спостереження за рухом ізотерми з заданою температурою). Більшість завдань сучасної теплової діагностики потребує як якісного відображення теплових полів, так і отримання абсолютного значення температури об'єкта з мінімальною похибкою. При використанні інструменту, що охолоджується рідким азотом, температура тканини може досягати -150°C та нижче. Але під час зниження температури об'єкта приблизно до -50°C , тепловий потік з його поверхні вже настільки малий, що стає зрівняним з тепловим потоком з поверхні оптичних елементів інфрачервоної тепловізійної камери (тепловізора). Для досягнення достатньої точності вимірювання температури необхідно застосування спеціальних методів та засобів в конструкціях апаратної та програмної частини приладу для виключення впливу теплового випромінювання оптичних елементів і, особливо, коливань його інтенсивності в процесі роботи прибору.

Відомий спосіб неінвазійного вимірювання температури серця в умовах штучного кровообігу [Шлыков В.В. Система неінвазивного контролю температури біологічних об'єктів /В.В. Шлыков, В.А. Данілова //Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2017. - № 5. – С. 12-17. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJKN/vvpi_2017_5_4], який включає використання термографічних камер, які працюють у діапазоні довжин хвиль 7,5-13 мкм і мають температурну чутливість не нижче $0,5^\circ\text{C}$. Похибка вимірювання температури складає не більше ніж $\pm 0,7^\circ\text{C}$ за температур складає $10-40^\circ\text{C}$.

Недоліком відомого способу є вимірювання теплових полів об'єктів з температурою лише до -40°C .

Як найближчий аналог взято спосіб неінвазійного контролю температури об'єкта [V. Yefremenko, E. Gordiyenko, G. Shustakova et al. A Broadband imaging system for research applications. //Review of Scientific Instruments. 2009. V.80, PP.056104], який включає проведення калібрування інфрачервоної тепловізійної камери, виведення теплового зображення з відображенням некротичної ізотерми у реальному часі на моніторі персонального комп'ютера та наступне збереження термограм на жорсткому диску, проведення низькотемпературного впливу на об'єкт квазіточковим кріоаплікатором, що охолоджувався рідким азотом.

Недоліком способу є те, що при дослідженні об'єктів з низькою температурою (при температурі об'єкту -150°C) відносна похибка температурних вимірювань перевищує 20 %. Також, отримання теплового зображення кожні 30 секунд не дозволяє своєчасно закінчити кріовплив.

В основу корисної моделі поставлена задача розробити спосіб неінвазійного контролю температури об'єкта під час локального кріовпливу, що дозволить збільшити точність вимірювання температури холодних об'єктів за температурою до -150°C .

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб неінвазійного контролю температури об'єктів під час локального низькотемпературного впливу, що включає проведення калібрування інфрачервоної тепловізійної камери, виведення на моніторі персонального комп'ютера цієї камери теплового зображення з відображенням некротичної ізотерми у реальному часі з наступним збереженням на жорсткому диску, проведення низькотемпературного впливу на об'єкт квазіточковим кріоаплікатором, що охолоджують рідким азотом, згідно з корисною моделлю, виведення теплового зображення проводять у вигляді послідовних кадрів зі швидкістю 25-35 зображень за хвилину та починають його за 60 секунд до початку низькотемпературного впливу.

Виведення теплових зображень, отриманих зі швидкістю 25-35 зображень за хвилину у вигляді масиву послідовних кадрів, починаючи за 60 секунд до початку кріовпливу, дозволяє підвищити достовірність отриманих даних за рахунок виявлення можливих сторонніх впливів безпосередньо перед початком кріовпливу і таким чином збільшити точність контролю температури об'єктів за температурою до -150°C , що надає можливість оцінювати та завчасно реагувати на швидкі зміни температурних полів об'єктів та є вкрай важливим для контролю низькотемпературного впливу в режимі реального часу.

На фотографії показано контроль температури на моніторі комп'ютера у зоні охолодження до температури $-146,8^\circ\text{C}$.

Спосіб неінвазійного контролю температури під час локального кріовпливу об'єктів ілюструється прикладом.

Приклад.

Проведення контролю температури під час локального кріовпливу ізольованої печінки свині.

За допомогою моделі абсолютно чорного тіла (далі АЧТ) з регульованою температурою, яка вимірюється за допомогою контактного термометра, будують калібровочну характеристику $U_{\text{АЧТ}}=f(T_{\text{АЧТ}})$ в дискретних температурних точках, де $U_{\text{АЧТ}}$ - значення сигналу, $T_{\text{АЧТ}}$ - температура АЧТ.

Для розрахунку значення сигналу використовують усереднене значення для масиву пікселів в центрі теплового зображення АЧТ. Далі інверсну калібровочну характеристику $T_{АЧТ}=f(U_{АЧТ})$ апроксимують кубічною поліноміальною залежністю:

$$T_{АЧТ}(U_{АЧТ}) = a_0 U_{АЧТ}^3 + a_1 U_{АЧТ}^2 + a_2 U_{АЧТ} + a_3,$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 - коефіцієнти поліному.

В приміщенні, де знаходиться об'єкт - печінка свині, перевіряють відсутність впливу факторів, які можуть вплинути на результати вимірювання температури поверхні об'єкта (прямого сонячного випромінювання, джерел тепла або холоду та ін.). Температуру в приміщенні контролюють шляхом прямої термометрії повітря у його центрі.

Температура об'єкта $T_{Об_ху}$ для будь-якого пікселя зображення із застосуванням апроксимації інверсної калібровочної характеристики розраховують із наступного вираження:

$$T_{Об_ху} = \frac{T_{АЧТ}(U_{АЧТ})}{\sqrt[4]{\epsilon_{Об_ху}}},$$

де $\epsilon_{Об_ху}$ - коефіцієнт випромінювання поверхні об'єкта для відповідного пікселя зображення.

Розчином 5 % йоду на поверхні об'єкта позначають площу діаметром 15 мм та знаходять її центр. За 60 секунд до початку кріовпливу починають виведення на екран комп'ютера послідовних кадрів теплового зображення з відображенням некротичної ізотерми зі швидкістю 30 зображень за хвилину та з автоматичним записом на жорсткий диск. Курсор мишки, що з'єднана з персональним комп'ютером, встановлюють у центрі теплового зображення позначеної ділянки.

Кріовплив проводять контактним кріоаплікатором (фіг. 1), що охолоджують рідким азотом. Протягом кріовпливу на моніторі контролюють поточні значення температури у центрі теплового зображення ділянки, позначеної розчином йоду. Припиняють кріовплив, коли температура у вибраній точці досягає $-146,8$ °С - температури первинного некрозу та фіксують тривалість настання цієї температури, яка складає 30 хв.

Обробку базових термограм здійснюють за допомогою функцій інтерфейсу користувача програмного забезпечення тепловізора.

Відносна похибка вимірювання температури складає 2,6 %, та розраховується із наступного вираження:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{Об_ху}}{T_{Об_ху}} \times 100\%$$

де $T_{Об_ху}$ - істинна температура об'єкта, за яку приймається температура об'єкта, виміряна за допомогою контактного повіреного термометра, $\Delta T_{Об_ху}$ - різниця між істинною температурою об'єкта та температурою, виміряною тепловізійним методом.

Розроблено спосіб неінвазійного вимірювання температури об'єктів під час локального кріовпливу, відносна похибка якого не перевищує 3 % за температури охолодження об'єкта до -150 °С.

