

Совершенствование систем многоклассовой диагностики на сегодняшний день является очень актуальной задачей. В большинстве случаев оно происходит благодаря повышению точности первичных преобразователей, однако широкое использование микропроцессорной техники, мощная математическая база, развитие методов и средств обработки диагностической информации, стремительное развитие новых перспективных методов исследования объектов и процессов на основе имитационного моделирования, новые возможности многомерной визуализации диагностической информации способствуют совершенствованию с помощью возможностей современных компьютерных и информационных технологий. В данной работе рассмотрены основные направления совершенствования систем функциональной диагностики инженерных и строительных сооружений, а именно: реализация новых способов визуализации данных измерений, использование нейронных сетей, новейшие методы передачи питания. Цель работы заключается в построении информационной модели подсистемы визуализации данных измерений для совершенствования системы многоклассовой диагностики сложных пространственных объектов, которые находятся в труднодоступных местах или сложных условиях эксплуатации. Разработана информационная модель подсистемы визуализации данных измерений, которая содержит два модуля: модуль обработки сигналов вибрации и модуль имитационного моделирования. Данная модель предполагает наличие внешних (входящих) данных, которые являются сигналами из трех типов первичных преобразователей: акселерометра, тензорезистора и инклинометра. Кроме использования датчиков, как источники информации, необходимой для функционирования подсистемы визуализации, могут также использоваться математические модели каналов вибрации, тензометрии и инклинометрии или файлы с вибрационными, тензометрическими и инклинометрическими данными, полученными, например, с помощью других диагностических систем или для визуализации отдельного наиболее информативного набора измеренных данных.

Ключевые слова: информационная модель, подсистема визуализации, система багатокласової діагностики.

*Надійшла до редакції
03 квітня 2018 року*

*Рецензовано
12 квітня 2018 року*

УДК 620.179

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ СКАНУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ

Матущак І. Р., Протасов А. Г.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

E-mail: ilya7844@ukr.net

В статті першим кроком наведені приклади важливості вимірювання температури в неруйнівному контролі та виконана постановка проблеми шляхом переліку невирішених питань реконструкції теплових полів. Також, виконаний аналіз закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій: розглянуті різноманітні маніпулятори-сканери, оригінальні розробки тепловізорів та скануючих пірометрів.

Після постановки задачі запропонована комп'ютерна система, що виконує сканування теплового поля об'єкта контролю з наступною обробкою інформації для його згладжування і реконструкції. Розроблена конструкція пристрою забезпечує повторюваність вимірювань, автоматизацію, простоту конструкції та низьку вартість, крім того пристрій убезпечений від суб'єктивного впливу людини оператора. Електронна частина забезпечує керування пристроєм, збір, передачу інформації на персональний комп'ютер, її обробку, збереження та відображення. Система працює у двох режимах. У режимі сканування відбувається послідовне вимірювання температури в точках поверхні об'єкту із заданим кроком сканування та подальшим згладжуванням отриманого результату. Другий режим дозволяє виконати вимірювання температури у декількох точках на поверхні об'єкту з наступною реконструкцією повної картини поля шляхом використання методів інтерполяції.

Експериментальна реалізація та дослідження підтвердили можливість використання запропонованої комп'ютерної системи для отримання теплових полів об'єкта контролю. На завершення наведені перспективи та сказано про подальше використання розробленої системи.

Ключові слова: *пристрій для сканування, реконструкція теплового поля.*

Вступ, постановка проблеми

На сьогодні, при неруйнівному контролі різноманітного промислового обладнання дуже часто в якості інформаційного параметра використовують температуру, вимірювання якої дозволяє дізнатися про стан цього об'єкта. Також, під час контролю технологічних процесів, точність дотримання температурного режиму часто визначає не тільки якість виробу, але і можливість його використання за призначенням.

Вимірювання температури, як процес контролю стану об'єкту застосовується в багатьох галузях сучасного виробництва. Одним з найбільш поширених приладів, що використовують для безконтактних температурних вимірювань є пірометр. Безконтактний спосіб вимірювання давно зарекомендував себе, як єдино можливий при контролі металургійних процесів, що проходять при високих температурах, в будівництві, електроенергетиці та теплоенергетиці. При проведенні лабораторних досліджень активних речовин в агресивних середовищах можливо проводити тільки безконтактні вимірювання. Останнім часом знайшли своє використання портативні пірометри і у побуті.

Проте, досить часто при діагностуванні промислового обладнання буває недостатньо знати температуру в контрольних точках. Виникає необхідність побудови теплових полів, тобто побудови теплового зображення на основі вимірної температури в кожній точці. Для реалізації цієї мети вже протягом декількох років успішно використовуються тепловізійні системи, які відображують розподіл температури на поверхні об'єкту контролю. В той же час, тепловізійні системи є складним і дорогим устаткуванням, яке не завжди виправдовує свою вартість. Альтернативою застосування такої техніки може стати пірометричний прилад на базі скануючого маніпулятора з комп'ютерною обробкою результатів вимірювання. Такий маніпулятор значно дешевший, має просту конструкцію і дозволяє досягти автоматизації, прив'язки до координат, та виключити суб'єктивний вплив людини оператора.

Однак, на даний момент реконструкція теплових полів має багато невирішених питань: вибір оптимального методу реконструкції, визначення оптимальної кількості точок вимірювання температури залежно від розмірів ОК для реконструкції теплового поля з високою точністю, взаємного розташування вимірювальних точок, збільшення точності та швидкості реконструкції.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій

В системах збору інформації про тепловий стан об'єкту дуже часто використовують механічні маніпулятори, які здійснюють переміщення первинного перетворювача вздовж контрольованої поверхні, тобто вони забезпечують складні переміщення перетворювачів відносно об'єкта контролю з метою до-

сягнення необхідної точності і достовірності контролю [1].

Відома велика кількість різноманітних маніпуляторів-сканерів, що застосовуються на практиці. Найбільш універсальні сканери можуть мати 5 ступенів рухливості і більш. Наприклад, сканер MAXIM фірми «Sonomatic Ltd» здійснює лінійні переміщення по осях X; Y; Z, а також обертові рухи навколо заданої осі. При цьому може здійснюватися як безперервне, так і дискретне сканування [2]. Однак найбільш оптимальними і поширеними є двокоординатні сканери для плоских і циліндричних поверхонь. Слід враховувати, що кожна ступінь рухливості ускладнює конструкцію і суттєво підвищує вартість обладнання.

Сьогодні компанія «Scan Master Systems Ltd» використовує самохідні автономні рентгенівські маніпулятори-кроулери (crawler) для радіографічного контролю зварних трубопроводів в польових умовах з можливістю переміщення до 1000 м. Магнітні сканери серії ScM використовують для пошуку дефектів в стінках великих резервуарів і зварних швах, що забезпечують стійкий і достовірний збір і зберігання інформації при переміщенні по стінці контрольованого об'єкта зі швидкістю до 0,5 м/с і з шириною контрольованої зони від 50 до 130 мм. Ультразвукові сканери цієї компанії серії LS-200 мають можливість трикоординатного переміщення датчиків зі зміною їх кута повороту і окремим поворотно-підйомним столом з розташованим об'єктом контролю [3].

Компанія «Automated Inspection Systems» пропонує УЗ-скануючі системи типу NB-2000MC / NB-2000 для обстеження труб діаметром від 100 мм, а також для плоских поверхонь з довжиною сканування від 200 до 1000 мм [4].

Датська компанія «Force Technology» пропонує автоматизовані магнітні скануючі системи на колісному ході AGS-1 і AGS-2 для контролю труб великого перерізу і мініатюрний трубний сканер AUS-3. Автоматизований трековий сканер ATS-1 є багатоцільовим XY-маніпулятор з механізмом рейкової передачі, що переміщається на спеціальних прямих або викривлених напрямних для контролю великогабаритних виробів: вигнутих трубопроводів, крил пропелерів, наприклад, вітрових генераторів, де встановлюється на присосках в будь-якому просторовому положенні [5].

Одна з перших скануючих систем для вимірювання температури об'єкту була розглянута в патенті «Scanning pyrometer» у 1977 року, в якій запропоновано скануючий пірометр для вимірювання температури рухомого об'єкту [6]. Такий тип скануючого пірометра вимагає рухомого об'єкта контролю, та зазвичай може знайти своє застосування тільки на виробництві з конвеєрами.

Студентами з Німеччини був запропонований дешевий тепловізор на базі одного пірометричного датчика. Сканування виконувалось за допомогою

двох серводвигунів, які можуть обертатися на заданий кут [7]. Один з них забезпечував сканування по вертикалі, а інший – по горизонталі, таким чином датчик обертаючись сканував об'єкт точка за точкою, вимірюючи температуру. Але розроблена ними система має недоліки. По-перше, сканування займає багато часу приблизно 5 хвилин. По друге, ділянка з якої вимірюється температура, не точкова, а має круглу форму, площа якої зі збільшенням відстані до ОК зростає, а така реалізація сканування не дозволяє близько розташувати вимірювальний пристрій.

Компанія Luma Sense Technologies представила оригінальне рішення проблеми реконструкції теплового поля випустивши пірометр (ISR 6-TI Advanced), який має в своєму складі відеокамеру з інфрачервоним фільтром, довжина хвилі якого близько 1 мкм [8]. Теплове зображення пірометр формує шляхом об'єднання вимірної температури в центральній точці об'єкта і зображення з відеокамери, в результаті чого відбувається автоматичне калібрування теплового зображення. Цей варіант найдорожчий із запропонованих, але крім ціни до недоліків варто віднести: важкість автоматизації та забезпечення багаторазового вимірювання температури у тих же самих точках, тобто прив'язку до координат.

В роботі [9] була запропонована комп'ютерна система для експериментальних досліджень методики реконструкції теплового поля по точковим значенням температури. Система являє собою стаціонарну установку і передбачає ручне сканування, що унеможливило автоматизацію процесу.

Постановка задачі

Пропонується двох ступеневий маніпулятор з пірометричним датчиком та комп'ютерною обробкою інформації, який дозволяє отримувати теплові поля об'єктів контролю та проводити дослідження методів реконструкції теплових полів. Методи дослідження – математичні методи обробки даних.

Конструкція запропонованого пристрою

Метою дослідження є отримання оптимальної кількості точок вимірювань температури необхідних для реконструкції теплових полів з високою точністю та визначення кращого метода реконструкції та його вдосконалення. Тому, в першу чергу, пропонується такий скануючий пристрій, який дозволить багаторазово вимірювати температуру в одних і тих же заданих координатах, тобто забезпечить повторюваність вимірювань та автоматизацію, що важливо для проведення майбутніх досліджень. Це означає, що запропонований пристрій повинен забезпечити визначення точних координат точок, де вимірюється температура.

Щоб забезпечити контроль об'єкту прямокутної форми, потрібно організувати два рухи, тобто мати два ступені свободи. Для вирішення цієї задачі пропонується два кінематичні ланцюги, які забезпе-

чують покроковий рух з необхідною точністю позиціонування пірометричного датчика. Джерелами руху в таких ланцюгах обрано крокові двигуни.

Запропонована кінематична схема пристрою зображена на рис. 1. Схема містить дві муфти X1 і X2, два гвинти T1 і T2, дві напрямні H1 і H2 та гайки-платформи C1 і C2.

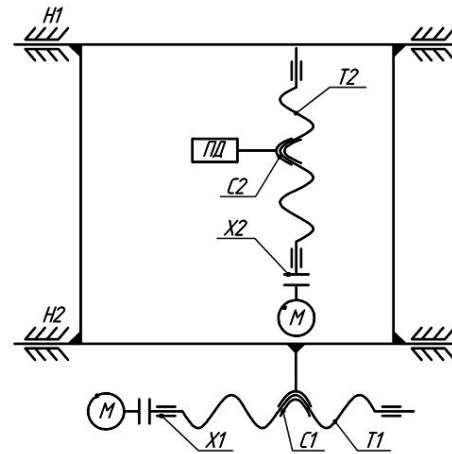


Рис. 1. Кінематична схема пристрою

Переміщення пірометричного датчика температури ПД за двома взаємно перпендикулярним напрямкам забезпечують крокові двигуни М. Дана конструкція забезпечує повторюваність позиціонування ПД, що, в свою чергу, забезпечує повторюваність отримання результатів вимірювання і дозволяє автоматизувати процес збору інформації з поверхні об'єкту.

Функціональна схема пристрою зображена на рис. 2.

Функціональна схема має наступні позначення: D1 і D2 – драйвери крокових двигунів, SM – крокові двигуни, MCU – мікроконтролер. Переміщення перетворювача забезпечують крокові двигуни типу 28BYJ-48 5В. Для керування кроковими двигунами був обраний драйвер типу ULN2003. Основним елементом електричної схеми є мікроконтролер AT-Mega 8, який зчитує вимірне значення температури з датчика MLX90614xCI та відправляє до комп'ютера для подальшої обробки інформації і керування драйверами крокових двигунів D1 і D2, що забезпечує переміщення датчика температури за будь-якою запрограмованою траєкторією. Зв'язок мікроконтролера з комп'ютером забезпечує електронна платформа компанії Arduino LLC.

Обраний пірометричний датчик MLX90614xCI представляє собою цифровий перетворювач температури і містить в собі: оптичну систему, термобатарею, що представляє собою основний вимірювальний елемент, терморезистор за допомогою якого вимірюється температура холодного спаю термобатареї, підсилювач, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та інтерфейс I2C для зручної передачі великої кількості інформації на мікроконтролер.

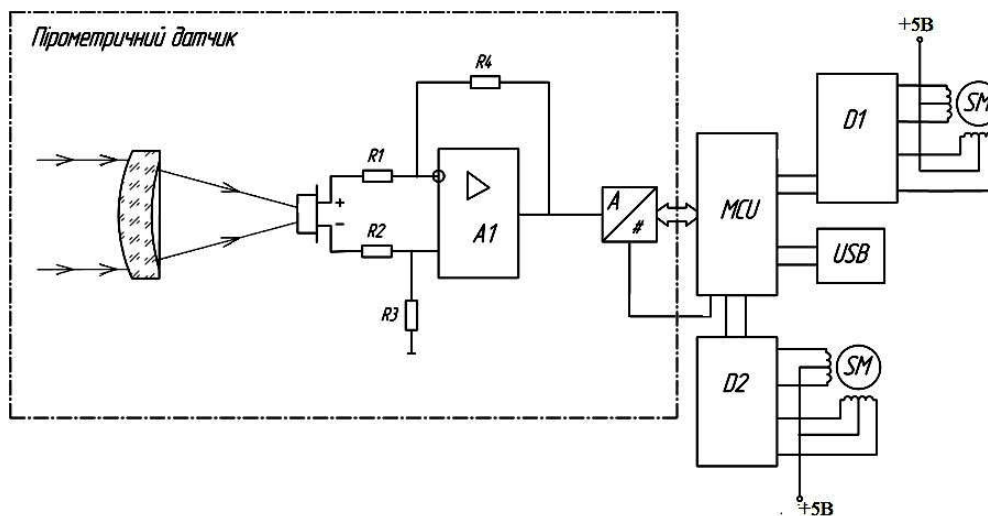


Рис. 2. Функціональна схема пристрою

Роботу розробленої системи можна умовно поділити на три етапи.

На першому етапі теплове випромінювання з певної невеликої площі (яка має форму кола радіусом 5 мм) об'єкта контролю фокусується за допомогою оптичної системи на чутливий елемент пірометричного датчика. Даний елемент представляє собою термобатарею, яка на виході генерує напругу пропорційну температурі об'єкта. Надалі, ця напруга підсилюється диференціальним підсилювачем та перетворюється за допомогою 16 розрядного АЦП в цифровий код, пропорційний напрузі. Мікроконтролер перетворює цифровий код спочатку в значення напруги, а після – в значення виміряної температури, яка передається до комп'ютеру через USB інтерфейс.

На другому етапі, за допомогою крокових двигунів і мікроконтролера, відбувається переміщення пірометричного датчика в наступне положення, після чого знову виконується перший етап і так далі, доки не буде просканий весь об'єкт контролю, тобто виміряна температура в усіх заданих положеннях.

На третьому етапі інформація з мікроконтролера передається на комп'ютер, де відбувається побудова теплового зображення об'єкта контролю в математичному середовищі MATLAB. Отримане теплове зображення буде розглядатися як еталонне. Окрім того, можливе виконання реконструкції теплового поля за обраними значеннями температури еталонного теплового поля [10]. Порівнюючи еталонне та реконструйоване теплове поле, можна зробити висновки про якість відновлення теплового поля.

Для управління роботою скануючого пристрою була запропонована комп'ютерна програма, яка реалізує виконання наступних функцій:

1) Подача сигналу про початок контролю з комп'ютера на мікроконтролер.

2) Проведення сканування за запрограмованою траєкторією.

3) Передача кожного виміряного значення температури з мікроконтролера на комп'ютер.

4) При завершенні сканування, проведення зчитування комп'ютером кожного отриманого значення та трансформація його в текстовий файл.

5) Обробка інформації та відображення теплового поля на екрані комп'ютера.

Експериментальна реалізація запропонованого пристрою

Для експериментальної перевірки запропонованої системи реконструкції теплового поля було розроблено макет пристрою. Загальний вид макету показано на рис. 3.



Рис. 3. Макет пристрою сканування

Запропонований макет системи дозволяє виконати дві операції по відновленню теплового поля об'єкта. Перше, отримати теплове поле шляхом сканування поверхні об'єкта з заданим кроком сканування і з наступним згладжуванням отриманого результату. Друге, виконати вимірювання температури у декількох точках на поверхні об'єкта з наступною реконструкцією повної картини поля, шляхом використання методів інтерполяції.

На рис. 4, а показано теплове поле об'єкту, що отримано шляхом сканування поверхні з кроком 10 мм. Площа об'єкту складає 150x300 мм².

В результаті сканування було отримано значення температури з 450 точок. На рис. 4, б зображено теплове поле, отримане після комп'ютерної обробки.

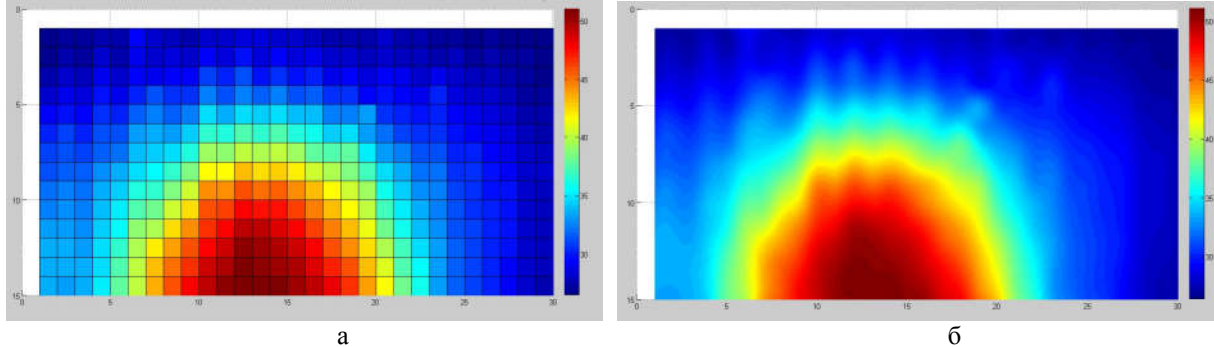


Рис. 4. Теплове поле, отримане після: а) сканування; б) комп'ютерної обробки теплового зображення об'єкту

Рис. 5, б демонструє реконструйоване по 25 точкам теплове поле зразка методом інтерполяції сплайнами. Середня квадратична похибка складала $\sigma = 1.22$.

Система може бути автоматизована і працювати без участі людини оператора.

Висновки

Запропонована комп'ютерна система, що дозволяє методом сканування отримувати теплове поле об'єкту з наступним виконанням операцій по його відновленню та реконструкції. Система працює у двох режимах. У режимі сканування відбувається

на рис. 5, а представлено еталонне теплове поле лабораторного зразка. Запропонований макет системи було використано для вимірювання температури в заданих 25 точках теплового поля зразка.

послідовне вимірювання температури в точках поверхні об'єкту з заданим кроком сканування та подальшим згладжуванням отриманого результату. Другий режим дозволяє виконати вимірювання температури у декількох точках на поверхні об'єкту з наступною реконструкцією повної картини поля шляхом використання методів інтерполяції.

Експериментальні дослідження підтвердили можливість використання запропонованої комп'ютерної системи для отримання теплових полів об'єкта контролю.

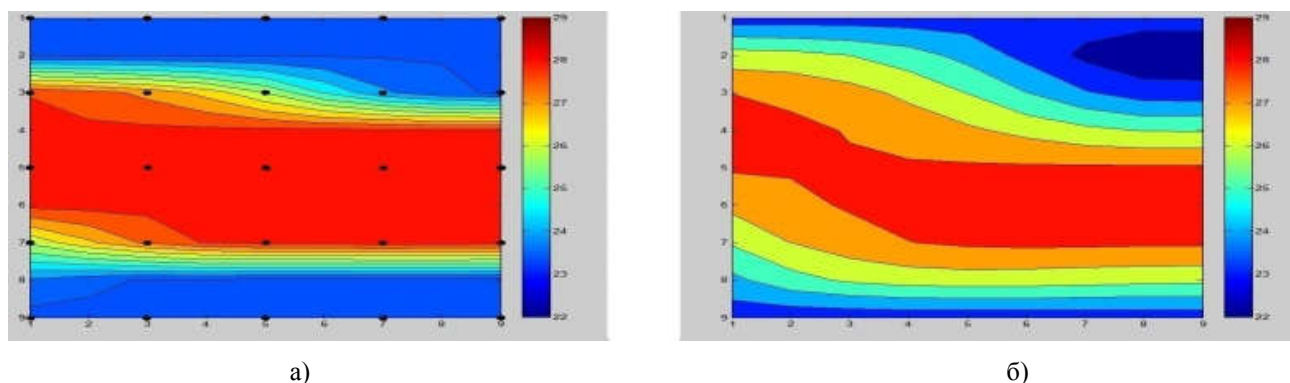


Рис. 5. Теплове поле: а) лабораторного зразка з позначеними точками; б) реконструйоване методом інтерполяції сплайнами по 25 точкам

При подальших дослідженнях запропонована система може бути використана для експериментального визначення оптимальної кількості точок вимірювання температури для відновлення картини теплового поля з необхідною точністю та для дослідження методів реконструкції теплових полів.

Література

1. Троицкий В. А. Основные тенденции развития неразрушающего контроля металлоконструкций // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2012. №3. С. 6 – 8.
2. Sonomatic Ltd. URL: <http://www.sonomatic.com> .

3. Scan Master Systems Ltd. URL: <http://www.scanmaster-irt.com> .
4. Automated Inspection Systems. URL: <http://www.ais4ndt.com> .
5. Force Technology. URL: <https://forcetechnology.com/>.
6. Scanning pyrometer / Т. Р. Murray. Патент США № 4008616. Публ. 22.02.77.
7. Тепловизор на базе Arduino. URL: <https://geektimes.ru/post/257850/>.
8. Luma Sense Technologies. URL: <http://info.lumasenseinc.com/igar6>.

9. Protasov A. Reconstruction of the Thermal Field Image from Measurements in Separate Points. / Conf. proceed. of IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, Aug 29-31, Kyiv, Ukraine. 2017, pp. 89-92.

10. Protasov A. Application of FEMLAB Software for Simulation of the Thermal Method for Nondestructive Testing // ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2009.

УДК 620.179

И. Р. Матушак, А. Г. Протасов

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев, Украина

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

В статье первым шагом приведены примеры важности измерения температуры в неразрушающем контроле и выполнена постановка проблемы путем перечисления нерешенных вопросов реконструкции тепловых полей.

Также, выполнен анализ зарубежных и отечественных исследований и публикаций: рассмотрены различные манипуляторы-сканеры, оригинальные разработки тепловизоров и сканирующих пирометров.

Следующим шагом предложена компьютерная система, которая выполняет сканирование теплового поля объекта контроля с последующей обработкой информации для его сглаживания и реконструкции. Разработанная конструкция устройства обеспечивает повторяемость измерений, автоматизацию, простоту конструкции и низкую стоимость, кроме этого устройство защищено от субъективного влияния человека оператора. Электронная часть обеспечивает управление устройством, сбор, передачу информации на персональный компьютер, ее обработку, хранение и отображение. Система работает в двух режимах. В режиме сканирования происходит последовательное измерение температуры в точках поверхности объекта с заданным шагом сканирования и последующим сглаживанием полученного результата. Второй режим позволяет выполнить измерения температуры в нескольких точках на поверхности объекта с последующей реконструкцией полной картины поля путем использования методов интерполяции.

Экспериментальная реализация и исследования подтвердили возможность использования предложенной компьютерной системы для получения тепловых полей объекта контроля.

В заключение приведены перспективы и сказано о дальнейшем использовании разработанной системы.

Ключевые слова: устройство для сканирования, реконструкция теплового поля.

I. R. Matushchak, A. G. Protasov

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

COMPUTER SYSTEM FOR SCANNING AND RECONSTRUCTION OF THERMAL FIELDS

In the article, the first step is to give different examples of the importance of measuring temperature and getting thermal fields in non-destructive testing, and the problem is set by the list of unresolved issues of the reconstruction of thermal fields: the choice of an optimal method of reconstruction, determination of the optimal number of points of temperature measurement, depending on the size of the control object for the reconstruction of the thermal field with high accuracy, the mutual arrangement of measuring points, increase of accuracy and speed of thermal fields reconstruction.

Also, the analysis of foreign and domestic investigations and publications is carried out: various mechanical manipulators and scanners, original development of thermal cameras and scanning pyrometers, another computer system for experimental research of the technique of thermal field reconstruction also are considered.

After formulation of the task have been proposed a computer system that scans the thermal field of the testing object with the further information processing for its smoothing and reconstruction. The developed structure of the device ensures repeatability of measurements, automation, simplicity of design and low cost, in addition the device is protected from the subjective influence of the operator's person. The electronic part provides control of the device, collecting, transferring information to a personal computer, processing, storing and displaying it. The system operates in two modes. In the scan mode, the sequential temperature measurement occurs at the points of the object surface with a given scanning step and further smoothing of the result. The second mode allows us to measure the temperature at several points on the object surface and reconstruct of the complete field picture using interpolation methods.

Creating device model, experimental implementation and studies confirmed the possibility of using the proposed computer system to obtain the thermal fields of the testing object.

After all in conclusion said about the further use of the developed computer system and the prospects of this.

Keywords: device for scanning, reconstruction of thermal field.

*Надійшла до редакції
21 грудня 2017 року*

*Рецензовано
14 січня 2018 року*