

УДК 620.179.13

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ ДЕФЕКТОМЕТРІЇ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕФЕКТІВ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАЖКОДОСТУПНИХ ОБ'ЄКТІВ

**В.Ю. ГЛУХОВСЬКИЙ**

*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України,  
вул. Боженко, 11, Київ-150, 03680*

*Запропоновано новий підхід для визначення геометричних параметрів тепловізійним методом контролю потенційно небезпечних важкодоступних об'єктів. Розроблено апаратну частину, алгоритм і відповідне програмне забезпечення для розрахунку в реальному часі геометричних параметрів виявлених дефектів тепловізійним методом. Проведено ряд екскрементів з метою визначення рівня похибки розрахунку геометричних параметрів виявлених дефектів.*

*Ключові слова: тепловізійний контроль, тепловізор, тепла дефектометрія, контрольний зразок, лазерний вимірювальний пристрій.*

*Предложен новый подход для определения геометрических параметров тепловизионным методом контроля потенциально опасных труднодоступных объектов. Разработан аппаратную часть, алгоритм и соответствующее программное обеспечение для расчета в реальном времени геометрических параметров обнаруженных дефектов тепловизионным методом. Проведен ряд экскрементов с целью определения уровня погрешности расчета геометрических параметров обнаруженных дефектов.*

*Ключевые слова: тепловизионный контроль, тепловизор, тепловая дефектометрия, контрольный образец, лазерный измерительный прибор.*

*A new approach for determining the geometric parameters teplovise by remote control potentially dangerous objects. A hardware algorithm and software to calculate in real time the geometric parameters defects teplovise method. A number excrement to determine the level of error calculating geometrical parameters defects.*

*Keywords: Thermal control, thermal imager, thermal defektometriya the reference sample, a laser measuring device.*

**Вступ.** Одним з основних напрямків неруйнівного контролю (НК) на сьогодні є створення автоматизованих систем і комплексів, що забезпечують отримання якісно нових результатів, а саме — геометричних параметрів дефектів. Це пов'язано з наступним визначенням фізико-механічних властивостей виробу з метою прийняття рішення про можливість їх використання за призначенням, визначення ресурсу їх функціонування. Методи теплового неруйнівного контролю є одним з найбільш продуктивних та економічних методів НК, що дозволяють визначати геометричні параметри дефектів на основі інформації про значення поверхневої температури в різні моменти часу [1].

В основі відомих методів НК теплофізичних характеристик матеріалів лежить активний тепловізійний метод НК, пов'язаний з попереднім тепловим впливом на поверхню об'єкту контролю (ОК) з наступним аналізом та

візуалізацією температурного поля [2].

На сьогоднішній день більшість науковців, що працюють в області неруйнівних методів контролю, в тому числі й теплових, використовують складний математичний апарат для визначення геометричних параметрів дефектів [1-4]. Проте недоліком математичних методів є трудомісткість і неможливість використання в системах тепловізійного контролю, що працюють в режимі реального часу. Тому розробка нових, більш ефективних методів визначення геометричних параметрів дефектів є актуальною.

**Комплекс для тепловізійної дефектометрії.** В роботах [5, 6] було розглянуто один з можливих напрямків реалізації методу тепловізійної дефектометрії, запропоновано принципову схему тепловізійного комплексу, до складу якого входить апаратна частина та програмний модуль.

Для реалізації запропонованого підходу з

метою визначення в реальному часі геометричних параметрів дефектів, був розроблений прилад для тепловізійної дефектометрії з відповідним програмним забезпеченням для розрахунку площі виявлених дефектів. Схема застосування та загальний вигляд апаратної частини комплексу представлені на рис.1-2.

Апаратна частина комплексу складається з тепловізійної камери 1, лазерного далекоміра 2; платформи 3, до якої монтується тепловізор і

далекомір; пристрою просторової орієнтації 4, за допомогою якого відбувається наведення лазерно-термографічного блоку на ОК; штативу 5.

В приладі використовується тепловізор марки Testo 876 виробництва фірми TESTO, Німеччина, та лазерний далекомір Disto-D3a виробництва фірми Leica, Австрія. Технічні параметри лазерно-термографічного приладу наведені в табл. 1.

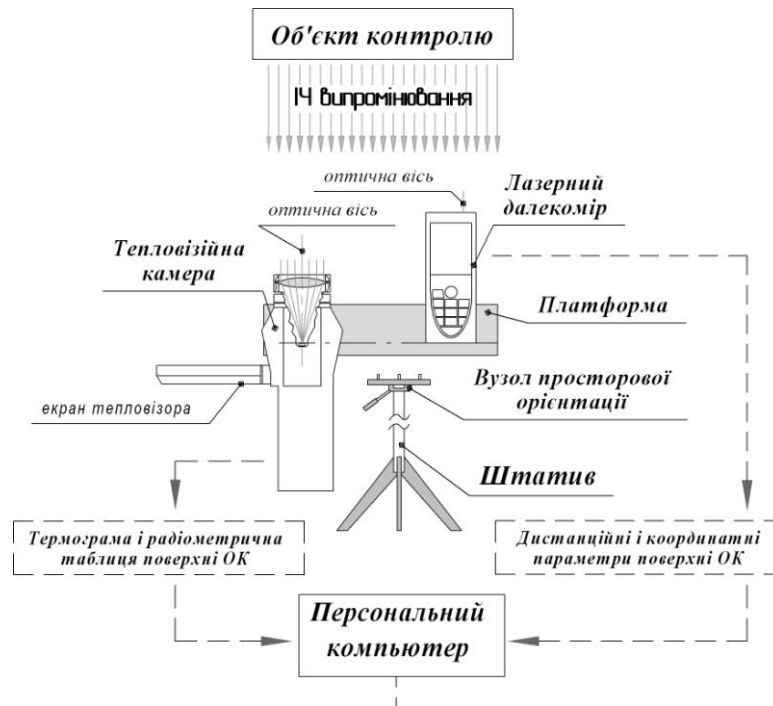


Рисунок 1 - Схема застосування комплексу для тепловізійної дефектометрії. Апаратна частина



Рисунок 2 - Загальний вигляд апаратної частини комплексу тепловізійної дефектометрії

Таблиця 1 - Технічні параметри комплексу тепловізійної дефектометрії

Лазерно-термографічний прилад				
№	Назва технологічного елементу	Марка	Технічні характеристики	
1	Тепловізійна камера	TESTO 876	Тип детектора Температурна чутливість Оптичне поле зору/мін. фокусна відстань Просторова роздільна здатність (IFOV) SuperResolution/IFOV Частота зміни кадрів Температурний діапазон Похибка вимірювання  Коеф. випромінювання	FPA 160x120 пікселів <80 мК, при 30° С 32°x23°/0,1 м  2,1 мрад 320x240 пікселів/2,1 мрад 9 Гц -20°...100°С/0°...280°С ± 2°С, ± 2% від вимір. значень 0,1...1
2	Лазерний далекомір	Disto-D3a	Відстань вимірювання Максимальна похибка Параметри вимірювання  Вимірювання кута нахилу	0,05...100 м ±1 мм - функція Піфагора; - розрахунок недосяжних відрізків; - площа; - об'єм; ± 45°

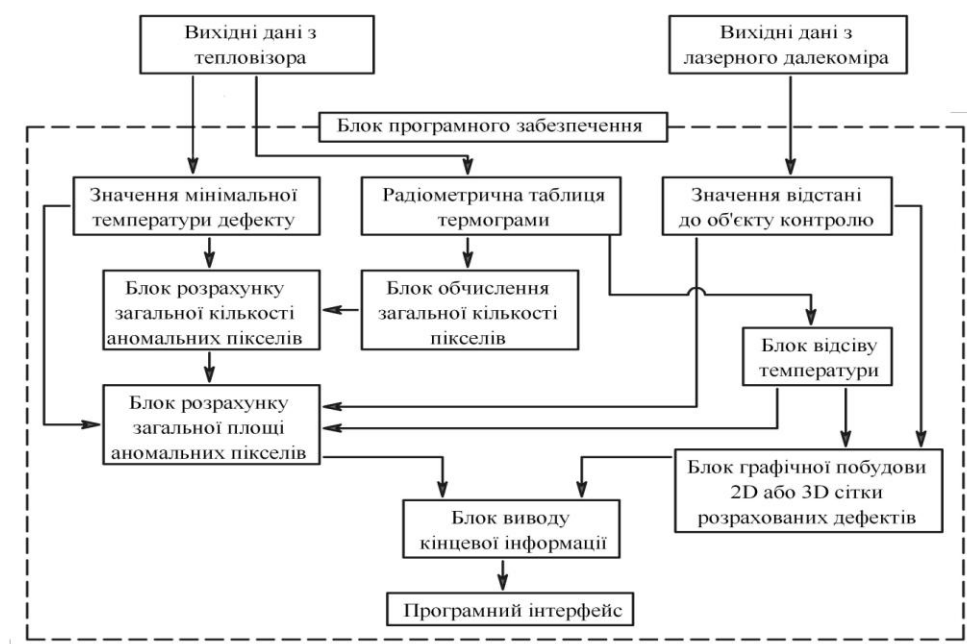


Рисунок 3 - Структурна схема програмного забезпечення приладу для тепловізійної дефектометрії

Під час проведення тепловізійного контролю тепловізійному контролю потенційно небезпечних і важкодоступних об'єктів виявляються дефектні ділянки і фіксуються у

вигляді термограм, при цьому визначається відстань до об'єкту контролю. Після чого, данні з тепловізійної камери та лазерного далекоміра передаються до програмного модулю, де

відбувається розрахунок площі дефектних ділянок контрольованої поверхні та побудова зображень 2D або 3D сітки об'єкту контролю з розрахованими дефектами. Структурна схема програмного забезпечення наведена на рис. 3.

**Візуалізація температурних полів об'єкту контролю і розрахунок геометричних параметрів виявлених дефектів.** У процесі візуалізації температурних полів об'єкта контролю використовується радіометрична сітка, яка виступає основним носієм інформації про температурного поля по поверхні і визначає температуру в кожній його точці. Побудова термографічного зображення будується наступним чином: після опромінення тепловими фотонами болометричної матриці, в наслідок фотоефекту, виникають електричні сигнали, що поступають до блоку обробки. Таким чином, з кожної комірки болометричної матриці виходить окремий електричний імпульс, що характеризується відповідною температурою. Блок обробки електричного імпульсу буде радіометричну таблицю значень температур поверхні об'єкту контролю.

Дані з тепловізора у вигляді радіометричної таблиці з розширенням ".xls" завантажуються до програми розрахунку площі дефекту. За допомогою блоку визначення мінімальної температури відбувається підрахунок мінімального значення температури, що має табличний розподіл. Дані радіометричної таблиці надходять до блоку обчислення загальної кількості пікселів.

Визначення розміру пікселя з загальної кількості яких складається термограма є однією з основних задач при розрахунку загальної площі дефектних ділянок поверхні об'єкту контролю. З цією метою був розроблений алгоритм обчислення розміру пікселя термографічного зображення, що включений до блоку обчислення загальної кількості пікселів.

Слід зазначити, що термограма є вторинним продуктом, який виникає при обробці даних, що поступають до блоку обробки електричних сигналів з болометричної матриці тепловізора після її опромінення. Основним носієм інформації про розподілення температурного поля поверхні, що контролюється, є радіометрична таблиця з масивом даних про температуру в кожній точці майбутнього термографічного зображення. Тому, для обчислення розміру окремо взятого пікселя термограми використовується радіометрична таблиця.

Основою для розрахунку вищезазначеної величини слугує алгоритм обчислення

розмірності радіометричної таблиці. Знаючи загальні розміри таблиці за двома координатами і відповідно її площу, можна розрахувати й розмірність одного окремого пікселя. Для цього визначається загальна кількість пікселів радіометричної матриці і за допомогою операції ділення визначаються геометричні параметри пікселя.

Даний алгоритм дозволяє проводити розрахунки, щодо визначення геометричних параметрів пікселя термограми, а саме висоту за вертикаллю і горизонталлю, що визначається у сантиметрах, або умовних одиницях, а також його площу. Таким чином, знаючи площу пікселя, можна визначити загальну площу дефектних ділянок на термограмі. Обчислені параметри з двох каналів попередніх каналів потрапляють до блоку розрахунку загальної площі аномальних пікселів.

Алгоритм обчислення розмірності радіометричної сітки, що міститься в блоці обчислення загальної кількості пікселів має наступні характеристики: кількість теплочувливих елементів болометричної матриці в двох координатах; кути розкриття оптичної системи тепловізора за горизонталлю і вертикаллю відповідно  $\beta$  і  $\epsilon$ ; відстань до об'єкту контролю, що задається в сантиметрах або умовних одиницях. Алгоритм працює за наступною схемою, з початку задається масив даних радіометричної таблиці, з наступним розрахунком кількості комірок за вертикаллю і горизонталлю, задається кути розкриття  $\beta$  і  $\epsilon$ , і також відстань до об'єкта контролю. За допомогою формули тангенса визначається розмірність радіометричної сітки в двох координатах. Розраховується загальна площа радіометричної таблиці і площа аномальних пікселів.

Дані з лазерного далекоміра у вигляді значення відстані до об'єкта контролю у сантиметрах потрапляють до блоку значення відстані до ОК. Переведені до коду програмування, дані про дистанцію контролю потрапляють до блоку розрахунку загальної площі аномальних пікселів, де відбувається їх підрахунок.

Переведені у програмний код значення радіометричної таблиці надходять до блоку відсіву температури. Після цього, оброблені дані надходять до блоку графічної побудови 2D або 3D сітки розрахованих дефектів. Для коректної роботи даного блоку, до нього направляється інформація з блоку значення відстані до ОК. Побудова відповідних сіток розрахованих дефектів має вигляд

термографічних знімків, кожен піксель якого має розмірність у сантиметрах в квадраті.

З блоку розрахунку загальної площі аномальних пікселів та блоку графічної побудови 2D або 3D сітки розрахованих дефектів оброблені дані потрапляють до блоку виводу кінцевої інформації з наступним надходженням до програмного інтерфейсу, що зображений на рис. 4 та рис.5.

Необхідно зазначити, що розроблена програма може будувати і відповідно розраховувати не тільки площинні величини дефекту, тобто його площу, а й об'ємні, а саме глибину залягання і об'єм дефектної порожнини. При побудові 3D сітки (рис. 3) параметри третьої координати були задані у градусах Цельсія.

На даному етапі розробки програмного продукту неможливо точно визначити об'ємні параметри дефекту, тобто глибину залягання

дефекту і його об'єм. Для розрахунку і побудови об'ємних параметрів необхідно провести ряд відповідних експериментів, за для визначення і узгодження остаточної математичної моделі і відповідних програмних блоків.

Для визначення рівня працездатності комплексу тепловізійної дефектометрії було проведено ряд експериментів із термографування пластини зі штучними дефектами складної геометричної форми на різних дистанціях з метою визначення працездатності комплексу тепловізійної дефектометрії, його ефективності та точності розрахунку площі виявлених дефектів. Так на рис. 6 – 9 представлені термограми об'єкту контролю та гістограми дефектних ділянок, що фіксувались на відстанях відповідно 1, 2, 3 та 5 метрів.

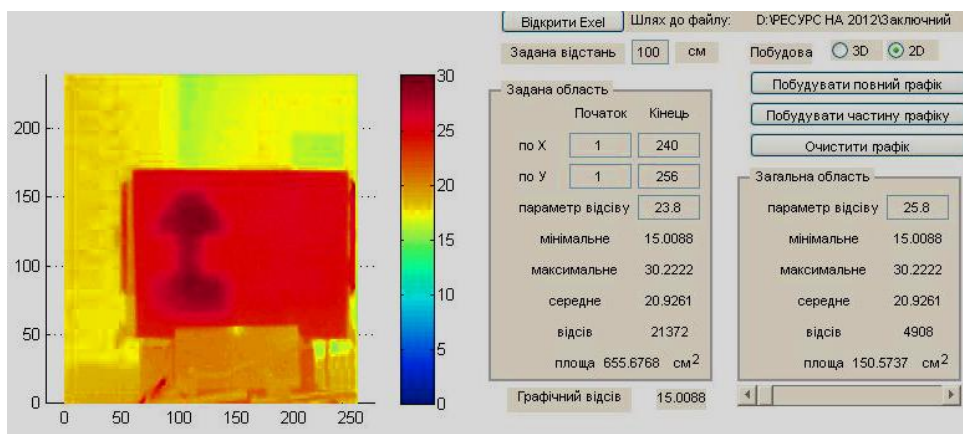


Рисунок 4 - Загальний вигляд програмного інтерфейсу з розрахованою площею дефекту і побудованою 2D сіткою

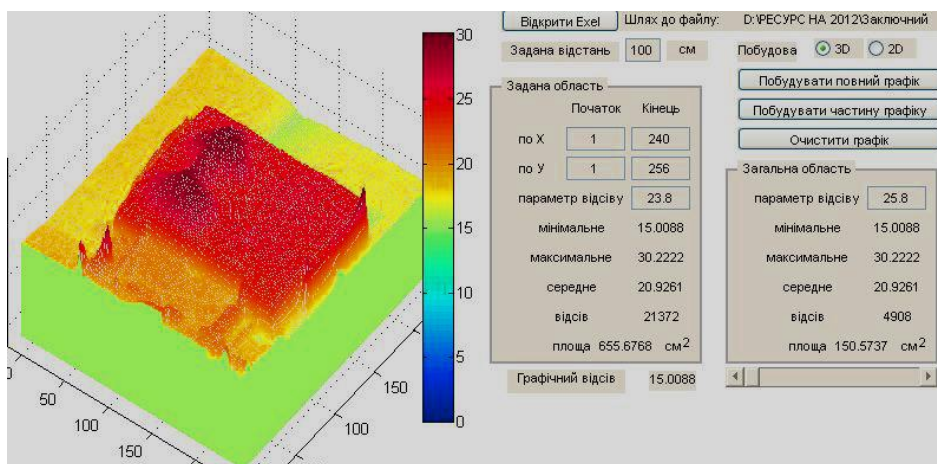
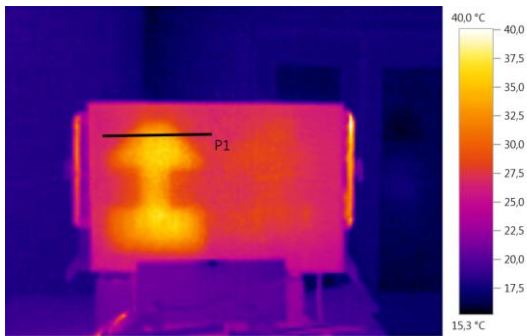


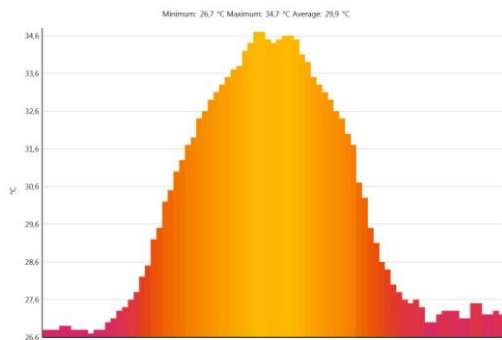
Рисунок 5 - Загальний вигляд програмного інтерфейсу з розрахованою площею дефекту і побудованою 3D сіткою. Третя координата задана у градусах Цельсія

Процес термографування відбувався під час динамічного нагрівання пластини від кімнатної температури до  $T_{max}$ , тобто за умов нестационарного теплового поля.

В залежності від дистанції термографування, розрахована площа виявленого дефекту і його відсоткова частка, що має спадний характер. Дані розрахованої площі дефекту і відповідно його відсоткової частки в залежності від дистанції термографування представлені в таб.2.

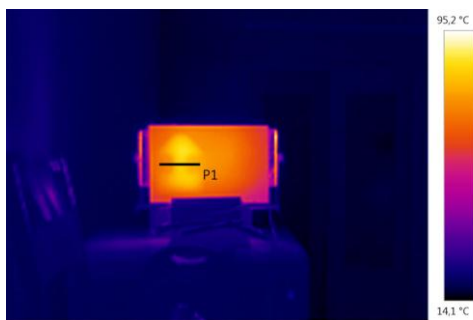


a)

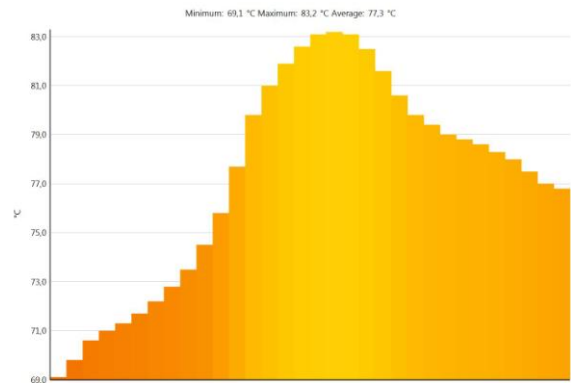


б)

**Рисунок 6 - Термограма пластини зі штучними дефектами складної форми a) і відповідна гістограма дефектної ділянки б) на дистанції 1 метр**

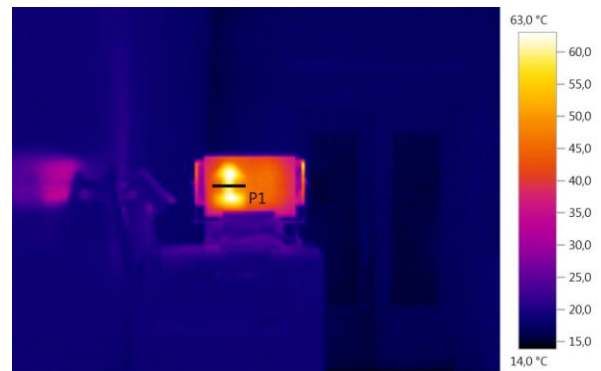


a)

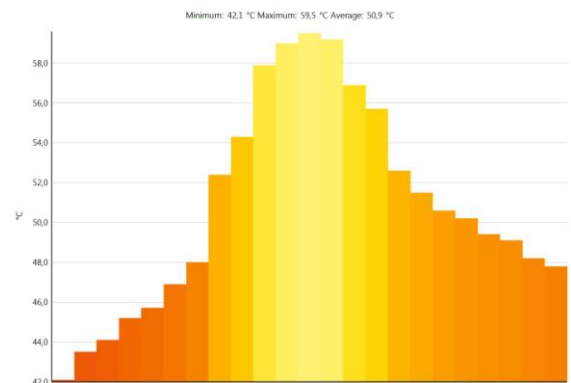


б)

**Рисунок 7 - Термограма пластини зі штучними дефектами складної форми a) і відповідна гістограма дефектної ділянки б) на дистанції 2 метри**



a)

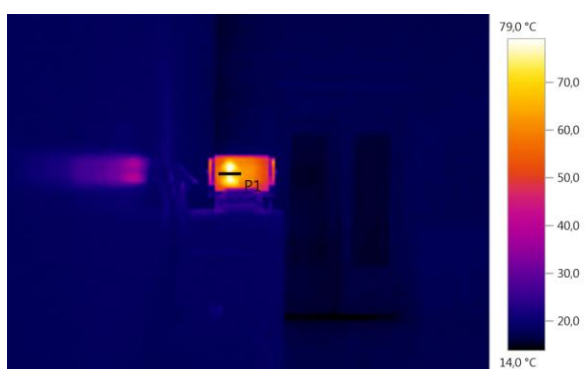


б)

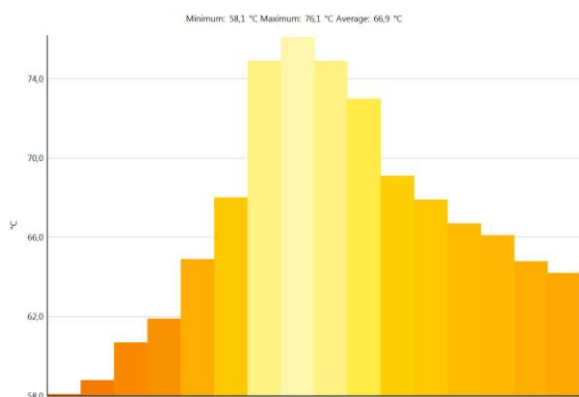
**Рисунок 8 - Термограма пластини зі штучними дефектами складної форми a) і відповідна гістограма дефектної ділянки б) на дистанції 3 метри**

Таблиця 2 - Результати розрахунку площі виявленого дефекту в залежності від дистанції термографування

№	Дистанція контролю, м.	Мін. температура дефекту, Т оС	Площа дефекту, см <sup>2</sup>	Відсоткова частка дефекту, %	Еталонна площа дефекту, см <sup>2</sup>
1	1	28,5	142,00	92,20	154
2	2	73,2	140,78	91,41	154
3	3	46,5	130,98	85,05	154
4	5	62,8	127,01	82,24	154



а)



б)

Рисунок 9 - Термограма пластини зі штучними дефектами складної форми а) і відповідна гістограма дефектної ділянки б) на дистанції 5 метрів

## ВИСНОВКИ

Розроблений комплекс для тепловізійної дефектометрії з відповідним програмним забезпеченням дає змогу проводити тепловізійну діагностику віддалених об'єктів і визначати геометричні параметри виявлених дефектів.

Точність розрахунку виявлених дефектів

залежить від дистанції термографування і має спадний характер, при цьому, точність розрахунку площі виявленого дефекту на дистанції 5 метрів від ОК становить 82,24% від еталонного.

Розроблений прилад для тепловізійної дефектометрії може успішно застосовуватись для діагностики потенційно небезпечних важкодоступних об'єктів з наступним розрахунком площі виявлених дефектів.

1. Повышение точности оценивания геометрических параметров дефектов тепловыми методами контроля. В. М. Синеглазов, А. Г. Протасов, *Техническая диагностика и неразрушающий контроль* 1992, №2.-С. 3-7. 2. Определение теплофизических характеристик в задачах активного НК. В. М. Синеглазов, А. Г. Протасов, *Техническая диагностика и неразрушающий контроль* 1990, №2.-С. 73-77. 3. Определение еометрических параметров дефектов тепловыми методами контроля. А. Г. Протасов, В. М. Синеглазов, *Техническая диагностика и неразрушающий контроль* 1991, №2.-С. 30-33. 4. Метод тепловой дефектометрии. О. Н. Будадин, Д. А. Рапопорт. *Дефектоскопия* 1984 №10.-С. 38-42. 5. Троицкий В.А., Глуховский В.Ю., «Повышение эффективности тепловизионной диагностики потенциально опасных и удаленных объектов», *Территория НДТ №3, 2014,-с. 36-38.* 6. Глуховський В.Ю., Трійцький В.О., «Особливості створення систем оцінки геометричних параметрів дефектів методом тепловізійного контролю», *Методи та прилади контролю якості No2(33) 2014.-с. 5-12.*

Поступила в редакцію 04.05.2015р.

Рекомендували до друку: докт. техн. наук, с. н. с. Трійцький В. О., докт. фіз.-мат. наук, проф. Снарський А. О,