

ПРИЧИННІ ФАКТОРИ ТА ПОХИБКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДОСТОВІРНІСТЬ ОЦІНКИ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕФЕКТІВ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ВИРОБІВ

В.О. Троїцький, В.Ю. Глуховський, В.А. Литвиненко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: glukhovskyy@gmail.com

З метою підвищення достовірності оцінки теплофізичних і геометричних параметрів дефектів промислових об'єктів та виробів у процесі тепловізійного діагностування проведено аналіз причинних факторів та похибок, які впливають на результати процедури термографування. Визначено класи та вплив основних невизначеностей на параметри термографування. Бібліогр. 7, рис. 3.

Ключові слова: тепловізійний метод, причинні фактори, похибки, геометричні та теплофізичні параметри, неруйнівний контроль, промислові об'єкти, промислові димові труби

Вступ. Надійність системи контролю якості промислових об'єктів та виробів визначається функцією з виявлення та правильної оцінки кожного дефекту, вимірний параметр якого X дорівнює або перевищує значення X_0 , встановлене нормативно-технічною документацією. В результаті контролю у виробках, визнаних придатними, не повинно бути неприпустимих дефектів (за параметрами $X \geq X_0$), але при цьому мають бути забраковані лише ті об'єкти чи вироби, в яких є неприпустимі дефекти [1].

Відмовою системи контролю вважається невиконання нею своєї функції правильної оцінки придатності контрольованого об'єкту чи виробу. До відмов системи можна віднести випадки, коли за рахунок недобраковки до придатних виробів від-

носять ті, що містять неприпустимі дефекти. Іншою відмовою системи є перебраковка, тобто помилкове бракування виробу. Імовірності недобраковки та перебраковки часто використовують для оцінки працездатності системи контролю, її надійності, достовірності, ефективності.

Метою даної роботи є визначення загальної похибки із загальної кількості причинних факторів та похибок, що впливають на достовірність оцінки теплофізичних і геометричних параметрів дефектів промислових об'єктів та виробів на прикладі димових труб при їх діагностуванні тепловізійним методом [2, 3].

Методологія оцінки. Схематично процес визначення геометричних і теплофізичних параметрів дефектів багатошарової стінки димової труби

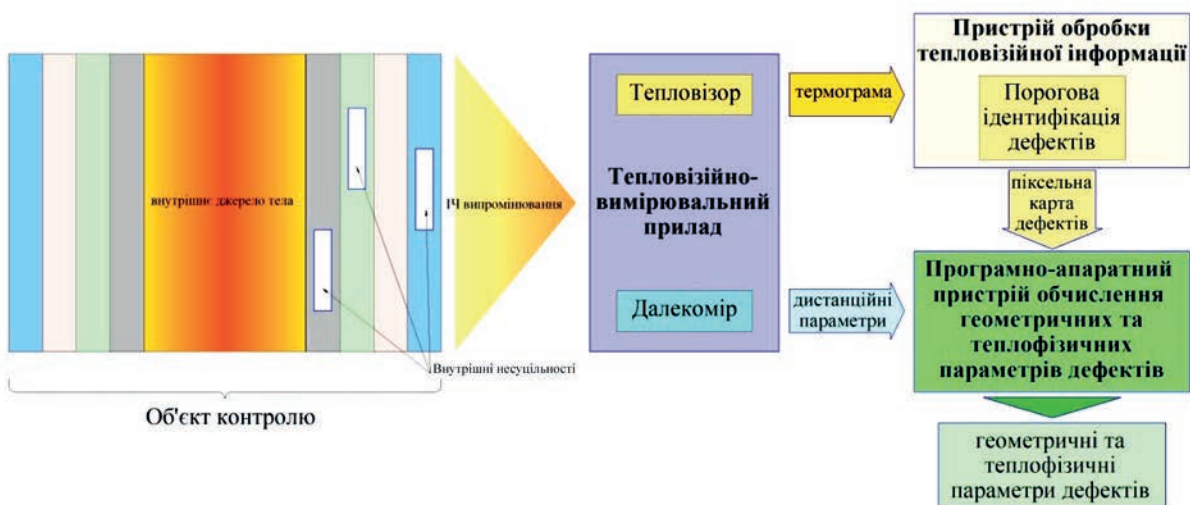


Рис. 1. Схема процесу визначення геометричних і теплофізичних параметрів дефектів при діагностуванні багатошарової стінки димової труби тепловізійним методом

Глуховський В.Ю. – <https://orcid.org/0000-0002-1969-495X>, Литвиненко В.А. – <https://orcid.org/0000-0003-3680-2198>
 © В.О. Троїцький, В.Ю. Глуховський, В.А. Литвиненко, 2024

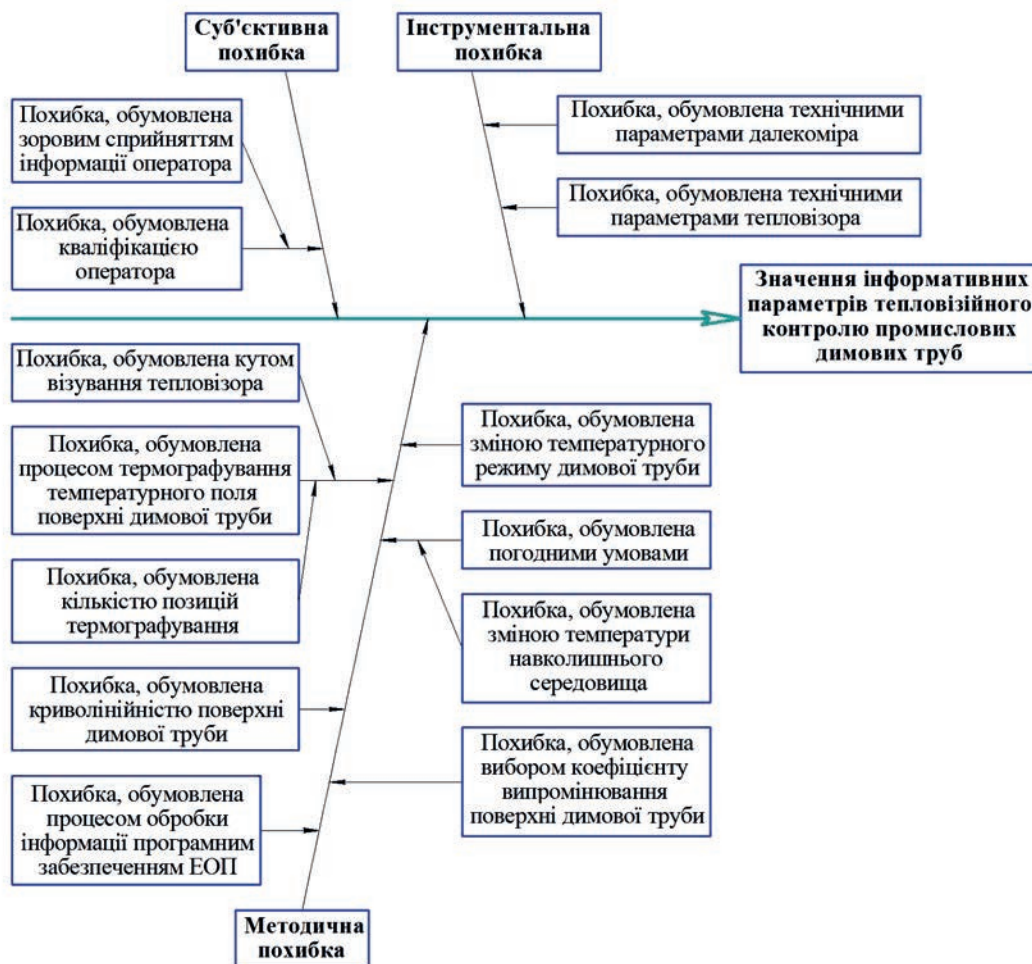


Рис. 2. Структурна схема причинно-наслідкової діаграми факторів та похибок, що впливають на кінцевий результат тепловізійного контролю

можна представити наступним чином (рис. 1), де в результаті процедури термографування поверхні виробу відбувається аналіз температурних полів з визначенням дефектних ділянок та обчисленням їх теплофізичних і геометричних параметрів.

Вплив причинних факторів на процедуру термографування температурного поля димової труби призводить до виникнення похибок, які, в свою чергу, впливають на достовірність порогової оцінки дефектів. Сукупність таких похибок можна умовно поділити на три класи: інструментальні, суб'єктивні та методичні.

Такий розподіл можна представити причинно-наслідковою діаграмою [4, 5], яка визначає взаємозв'язок між причинними факторами та похибками, які їх утворюють (рис. 2).

Горизонтальний вектор на діаграмі (рис. 2) позначає результат процедури термографування зовнішньої поверхні димової труби. Відгалуження від основного вектору є факторами похибок, що впливають на значення інформативних параметрів тепловізійного контролю.

Так, інструментальна похибка містить два причинних фактори, обумовлених параметрами техніч-

них засобів, а саме, технічними параметрами лазерного далекоміра та тепловізора.

Суб'єктивна похибка обумовлена, в основному, кваліфікацією оператора та його зоровим сприйняттям просторової інформації в процесі термографування.

Найбільший набір факторів похибок відноситься до методичної похибки, обумовлених процесом термографування температурного поля зовнішньої поверхні труби, погодними умовами під час термографування та процесом обробки отриманої інформації електронно-обчислювальним пристроєм (ЕОП) лазерно-термографічної системи.

Похибка, обумовлена процесом термографування зовнішньої поверхні димової труби, включає похибки, що виникають при визначенні геометричних параметрів термографування (дистанції контролю, кута візування та кута поля зору тепловізора) та кількості позицій термографування. Похибка, обумовлена погодними умовами, в основному пов'язана зі зміною температури навколишнього середовища та вологості в процесі термографування. До похибок, пов'язаних з параметрами димової труби, можна відне-

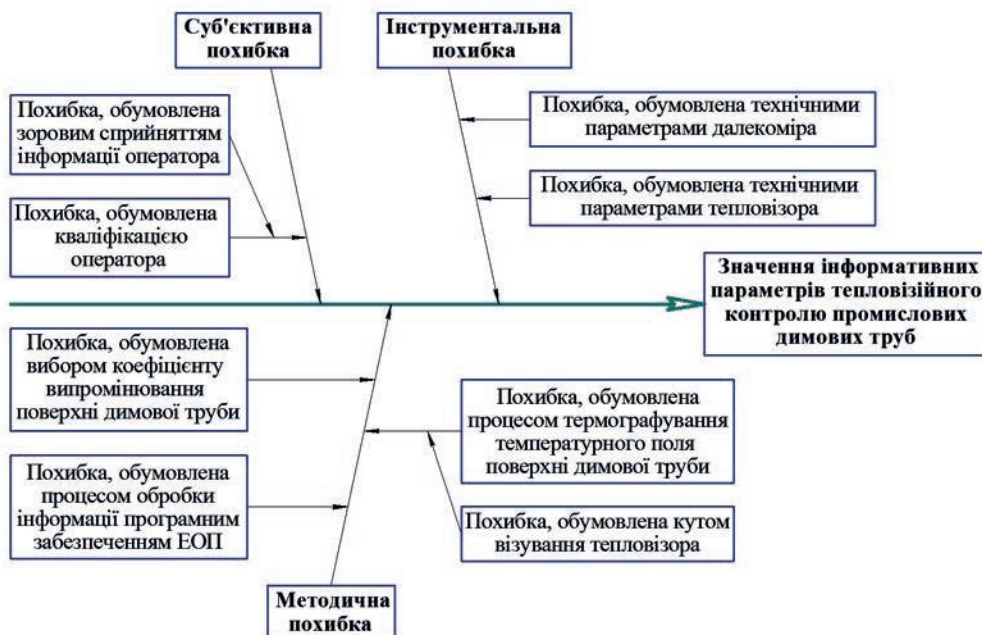


Рис. 3. Спрощена структурна схема причинно-наслідкової діаграми факторів та похибок, що впливають на кінцевий результат процесу термографування зовнішньої поверхні димової труби

сти похибки, пов'язані зі зміною температурного режиму всередині димової труби, вибором коефіцієнту випромінювання її зовнішньої поверхні та її криволінійністю.

Оцінку невизначеностей (непевностей) можна поділити на два типи:

- оцінка невизначеності за типом А – метод оцінювання невизначеності шляхом статистичного аналізу рядів спостережень, отриманих під час експерименту, що призводить до класичних в математичній статистиці оцінок: математичного очікування, дисперсії, кореляційного моменту;
- оцінка невизначеності за типом В – метод оцінювання невизначеності іншим способом, ніж статистичний аналіз, рядів спостережень.

Стандартну невизначеність за типом А отримують із функції щільності ймовірностей розподілу, що спостерігається, за частістю. Стандартну невизначеність за типом В, яку ще називають суб'єктивною ймовірністю, отримують із передбачуваної функції щільності ймовірностей, заснованої на впевненості в тому, що подія відбудеться [6].

Таким чином, на основі аналізу результатів термографування аномалій температурного поля на зовнішній поверхні димової труби визначено десять причинних факторів та обумовлених ними похибок, що можуть впливати на кінцевий результат. Визначивши малозначущі, загальну кількість факторів можна зменшити до семи, що спростують структурну схему причинно-наслідкової діаграми (рис. 3).

Як малозначущі виключені похибки, обумовлені такими причинними факторами: зміною температурного режиму димової труби, зміною тем-

ператури навколишнього середовища, кількістю позицій термографування зовнішньої поверхні димової труби та криволінійністю її поверхні. Відмовитись від урахування наведених причинних факторів та похибок нам дозволяє те, що ми в своєму дослідженні при пасивному термографуванні зовнішньої поверхні димової труби розглядаємо її стаціонарне температурне поле, яке не змінюється в момент термографування. При цьому стаціонарне температурне поле можна розглядати як нестаціонарне, але у випадку, коли значення часу нагріву стінки труби прямує до нескінченності. При проведенні процедури термографування ми можемо враховувати вплив коливань температури навколишнього середовища. Вибір кількості позицій термографування поверхні труби більше трьох (чотирьох, п'яти) дозволяє також зменшити похибку при визначенні інформативних параметрів тепловізійного контролю.

Таким чином, у процесі діагностування димової труби тепловізійним методом можна обмежитись сімома основними причинно-наслідковими факторами та похибками, що впливають на результати термографування.

Суттєвий вплив при визначенні параметрів температурного поля несущільностей має суб'єктивна похибка, що пов'язана з кваліфікацією оператора-дефектоскопіста. Похибка може виникати в тому випадку, коли оператор не дотримується рекомендацій щодо початку роботи з тепловізором від моменту його увімкнення. Так, рекомендоване очікування після увімкнення тепловізора становить не менше ніж 20 хв, при цьому відхилення від еталонного значення температури

становить 0,4...1,1 °C [7]. У випадку, коли час очікування становить менше 20 хв, похибка вимірювання температури становить 0,3...1,8 °C відповідно. Важливо також використовувати сучасні тепловізори з високою чутливістю температури та роздільною здатністю.

Висновки

1. Вплив причинних факторів на процедуру термографування температурного поля димової труби призводить на виникнення похибок, які, в свою чергу, впливають на достовірність порогової оцінки дефектів.

2. Визначено три загальні групи невизначеностей, що виникають в процесі термографування поверхні димової труби та впливають на результати контролю, а саме: суб'єктивна, інструментальна та методична.

3. Встановлено, що суттєвий вплив при визначенні параметрів температурного поля несучільностей в процесі термографування має суб'єктивна невизначеність, що пов'язано з кваліфікацією оператора-дефектоскопіста.

4. Сукупністю причинних факторів можна керувати, як процесом, для оптимізації значень похибок з метою зменшення їх впливу на кінцевий результат термографування.

Список літератури

1. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. (2016) *Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник*. Ужгород, Видавництво УжНУ.
2. Бондаренко О.Г., Глуховський В.Ю. (2022) Розробка способу термографування зовнішньої поверхні димових труб дистанційним пасивним тепловізійним мето-

дом. *Техн. діагност. та неруйнів. контроль*, **3**, 9–21. DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2022.03.03>

3. Троїцький В.О., Бондаренко О.Г., Глуховський В.Ю. (2020) *Спосіб дистанційної пасивної теплової діагностики важкодоступних та потенційно небезпечних промислових об'єктів*. Патент на винахід № 122355. Заявл. 27.06.2018. Опубл. 26.10.2020. Бюл. № 20.
4. Kauro Ishikawa (1985) *What is Totality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
5. Исикава К. (1988) *Японские методы управления качеством*. Москва, Экономика.
6. Демків І.Б. (2012) Вимоги щодо оцінки характеристик похибок (непевностей) вимірювання маси скраплених нафтових газів та їх інтегральних характеристик. (2012) *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, **6**, 14–20.
7. Вавилов В.П., Лариошина И.А. (2012) Методические погрешности тепловизионного энергоаудита строительных сооружений. *Вестник науки Сибири*, **5(6)**, 49–52.

References

1. Suslikov, L.M., Studenyak, I.P. (2016) *Nondestructive testing methods: Manual*. Uzhgorod, UzhNU [in Ukrainian].
2. Bondarenko, O.G., Glukhovskiy, V.Yu. (2022) Method of thermography of the outer surface of chimneys by remote passive thermal vision technique. *Tekh. Diagnost. ta Neruiniv. Kontrol*, **3**, 9–21. DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2022.03.03> [in Ukrainian]
3. Troitskiy, V.O., Bondarenko, O.G., Glukhovskiy, V.Yu. (2020) *Method of remote passive thermal diagnostics of difficult-to-access and potentially dangerous industrial objects*. Pat. 122355., fill. 27.06.2018; publ. 26.10.2020 [in Ukrainian]
4. Ishikawa, K. (1985) *What is Totality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
5. Ishikawa, K. (1988) *Japanese methods of quality management*. Moscow, Ekonomika [in Russian].
6. Demkiv I.B. (2012) To the questions of estimation of correlation of the separate measuring and dynamic errors of descriptions of measuring of mass of the condensate petroleum gases in the pumping mode. *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, **6**, 14–20.
7. Vavilov, V.P., Larioshyna, I.A. (2012) Procedural errors of TV energoaudit of buildings. *Vestnik Nauki Sibiri*, **5(6)**, 49–52 [in Russian].

CAUSAL FACTORS AND ERRORS AFFECTING THE RELIABILITY OF ASSESSMENT OF THERMOPHYSICAL AND GEOMETRIC PARAMETERS OF DEFECTS OF INDUSTRIAL FACILITIES AND PRODUCTS

V.O. Troitskiy, V.Yu. Glukhovskiy, V.A. Lytyvnenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU. 11 Kazymyr Malevych str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: glukhovskyy@gmail.com

In order to improve the assessment reliability of defects thermophysical and geometric parameters of industrial objects and products in the process of IR thermography testing, an analysis of causal factors and errors that affect the results of the thermography procedure was carried out. The classes and the influence of the main uncertainties on the parameters of thermography are defined. 7 Ref., 3 Fig.

Keywords: thermal imaging method, causal factors, errors, geometric and thermophysical parameters, non-destructive testing, industrial facilities, industrial smoke pipes

Надійшла до редакції 21.02.2024

Отримано у переглянутому вигляді 13.03.20

Прийнято 22.03.2024

**INTERNATIONAL CONFERENCE
ON WELDING AND RELATED
TECHNOLOGIES**

07-10.10.2024
wrt2024.com.ua
Kyiv, Ukraine