

## АЕРОПОРТИ ТА ЇХ ІНФРАСТРУКТУРА

УДК 629.139

М.М. Дмитрієв, д-р техн. наук, проф.

О.М. Папченко, д-р техн. наук, проф.

О.Б. Деркачов, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

І.А. Рутковська, канд. техн. наук, доц.

### АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ ТЕРМОГРАМИ ПОВЕРХНІ АЕРОДРОМНОГО ПОКРИТТЯ

*Запропоновано метод розшифровки термограм аеродромних покриттів, які реєструються для виявлення їх прихованих вад.*

*There are worked out scientific-methodical aspects of detection of airfield covering's latent damages by non-destructive heat method. The method is based on mathematic model of the heat field of covering, depending from seasons and time of the day. There are no problems for its automation. The real example of analysis is given.*

#### Постановка проблеми

Тепловий контроль аеродромних покриттів передбачає запис термограм поверхні покриття за допомогою тепловізора та їх наступне розшифрування. Для цього необхідно знати, по-перше, як змінюється температура поверхні неушкодженого покриття протягом доби для певної пори року за певних погодних умов, і, по-друге, які температурні аномалії спричиняють дефекти на різній глибині товщі покриття. Потрібну інформацію отримують математичним моделюванням температурного поля аеродромного покриття з урахуванням природних та штучних чинників [1].

#### Послідовність дій під час запису та аналізу термограми

Поверхні всіх плит контрольованої ділянки покриття фотографують та записують термограми щонайменше два рази з інтервалом у часі.

Плиту обирають, яка не має зовнішніх пошкоджень і термограма якої рівномірно забарвлена, що свідчить про відсутність прихованих вад. Її температуру визначають за допомогою температурної шкали («термоклин»), яка завжди наявна на термограмі.

Заміряні значення поміщають поряд з розрахунковим графіком добової зміни температури.

Ці значення суттєво відрізняються від розрахункових через дві причини:

- 1) тепловізор не ураховує коефіцієнта випромінювальної здатності матеріалу покриття і тому показує температуру, еквівалентну абсолютно чорному тілу;
- 2) оскільки в теоретичних розрахунках неможливо врахувати дію багатьох природних та штучних чинників, які щоденно непередбачено змінюються, реальна крива може дещо відрізнятись від розрахункової.

Це не має суттєвого значення, якщо експериментальний та розрахунковий графіки подібні. У разі ж їх значної несхожості достовірне діагностування не можливе.

Для перевірки цієї обставини належить сумістити обидва графіки за допомогою коефіцієнтів випромінювальної здатності покриття  $\epsilon$ .

Якщо три точки експериментальної кривої незначно відрізняються від відповідних точок розрахункової кривої, це означає, що розрахункова залежність різниці температур від глибини залягання дефекту та часу доби відповідає дійсності.

На термограмі ділянки покриття з тепловими аномаліями виділяють місця температурних контрастів, які збігаються з розрахунковими для певного часу доби, і тим самим визначають місце дефекту. Розглянемо конкретний приклад.

На аеродромі аеропорту Київ проводили термографування бетонного аеродромного покриття 7 липня 2006 р.

Розрахункову криву зміни температур поверхні від часу показано на рис. 1.

Розрахунки виконували для певних погодних умов, характерних для цього місяця.

Розрахункові графічні залежності проявів дефектів від часу доби наведено на рис. 2.

Фотографію і термограму неушкодженої аеродромної плити о 19 год 20 хв, показано на рис. 3, а, б; термограму та фотографію неушкодженої плити о 21 год 30 хв – на рис. 3, в, г.

За допомогою термоклин визначаємо, що теплове випромінювання на незабрудненій поверхні плити (рис. 3, а) о 21 год 30 хв відповідає 25 °С для абсолютно чорного тіла.

Аналогічно на рис. 3, в визначаємо теплове випромінювання о 19 год 20 хв, яке відповідає 35 °С.

На розрахунковому графіку цим точкам відповідають значення 35 та 45 °С відповідно.

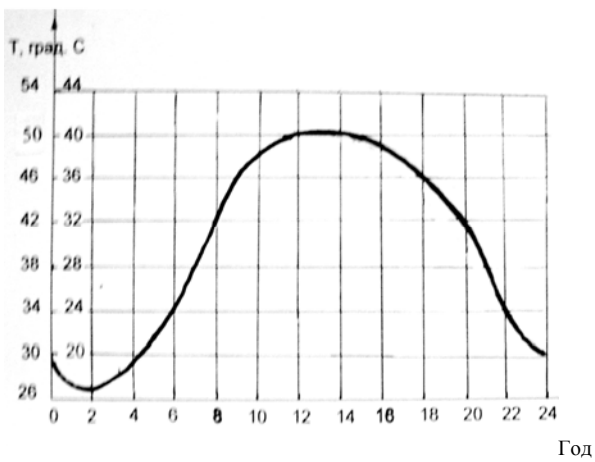


Рис. 1. Добовий перерозподіл температур поверхні аеродромного покриття на липень

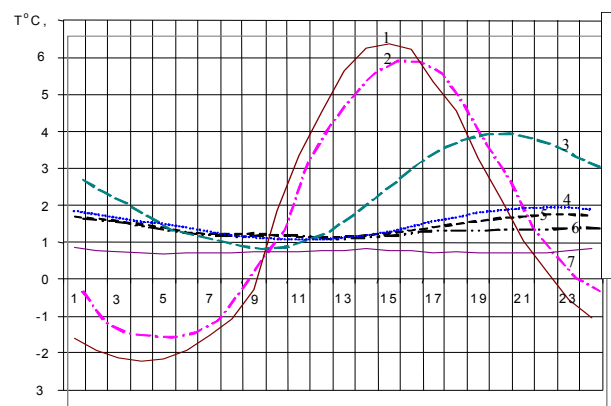
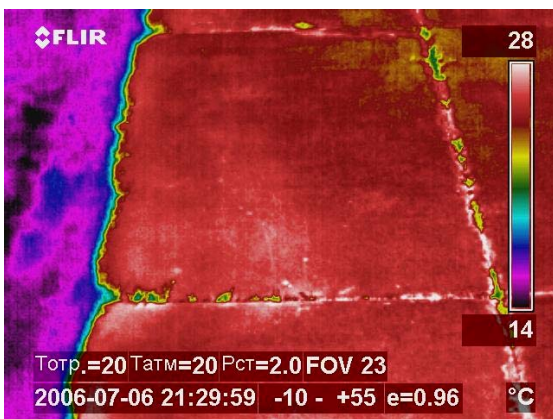


Рис. 2. Температурні контрасти на поверхні покриття залежно від часу доби та глибини верхньої межі дефекту:

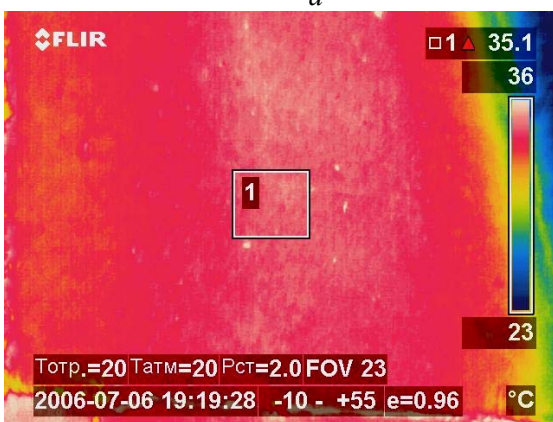
- 1 – дефект на глибині 5 см;
- 2 – дефект на глибині 10 см;
- 3 – дефект на глибині 12 см;
- 4 – дефект на глибині 15 см;
- 5 – дефект на глибині 20 см;
- 6 – дефект на глибині 30 см;
- 7 – дефект на глибині 40 см



а



б



в



г

Рис. 3. Неушкоджена аеродромна плита та її термограма, записана о 21 год 30 хв (а, б) та 19 год 20 хв (в, г)

Зіставимо значення заміряної та розрахованої температур о 21 год 30 хв, припускаючи, що остання дорівнює істинній, визначаємо випромінювальну здатність покриття  $\varepsilon$ , яка для бетонного покриття за різними даними [2; 3] становить від 0,7 до 0,92 і залежить від стану поверхні покриттів, умов їх роботи, часу експлуатації тощо. Тому завжди буде існувати певна невизначеність щодо похибок розрахунку  $\varepsilon$  та добового перебігу істинних температур. Але загалом вони компенсують одна одну.

Згідно із законом Стефана – Больцмана випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла [2]

$$u = \sigma T^4, \quad (1)$$

де  $u$  – потужність випромінювання абсолютно чорного тіла, Вт/м<sup>2</sup>;

$T$  – температура, К;

$$\sigma = 5,67032 \times 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4).$$

Температура абсолютно чорного тіла

$$T_{\text{а.ч.т}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

відповідає температурі 298 К. Підставляючи це значення у вираз (1), отримуємо

$$u_1 = 447 \text{ Вт/м}^2.$$

Для того щоб не чорне тіло з випромінювальною здатністю  $\varepsilon$  випромінювало з такою ж потужністю, як абсолютно чорне тіло, має бути задоволено рівність

$$u_1 = \varepsilon \sigma T_1^4.$$

Звідси знаходимо

$$\varepsilon = \frac{u}{\sigma T_1^4} = 0,88.$$

Тепер перевіримо відповідність виміряної температури розрахованій для іншого часу вимірювань (19 год. 30 хв).

Потужність випромінювання для абсолютно чорного тіла

$$u_2 = \sigma T_{2\text{а.ч.т}}^4;$$

$$u_2 = 510 \text{ Вт/м}^2.$$

Еквівалентну температуру тіла з  $\varepsilon = 0,88$  визначаємо з рівняння

$$T_2 = \sqrt[4]{\frac{u_2}{\varepsilon \sigma}}. \quad (2)$$

Підставляючи в рівняння (2) відповідні значення, отримаємо

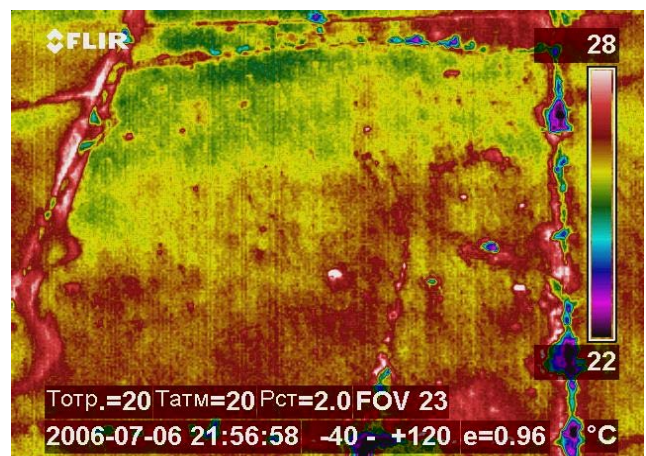
$$T_2 = 317\text{K} = 44 \text{ }^\circ\text{C},$$

що добре збігається з розрахунковим значенням температури. Це свідчить про те, що й інші точки розрахункового графіка відповідають реальним температурам, отже, розрахункові графіки на рис. 2 відображають реальні дефекти покриття.

Фотографію аеродромної плити, яка можливо має приховані дефекти типу порожнин, розкриттів та несучільностей, і термограму, записану о 21 год 58 хв показано на рис. 4.



*a*



*б*

Рис. 4. Фотографія (а) та термограма (б) аеродромної плити з прихованими дефектами

Заміряна температура 24 °С згідно з рис. 1 становить істинну температуру неушкодженого покриття 34 °С. Надалі для зручності будемо використовувати значення температур згідно з термоклинном.

Плями перевищують рівень нормальної температури на 4, 2 та 1 °С.

Аналізуючи рис. 2, видно, що о 22 год різниця температур 4 °С відповідає дефекту типу порожнини, верхній край якої розміщено на глибині 12 см (графік 3).

Верхня межа дефектів міститься на глибині 15 см (графік 4), а причиною їх дифузного зовнішнього вигляду може бути часткове розкриття матеріалу на цій глибині.

Забарвлення свідчить про нерівномірність теплофізичних характеристик на глибині понад 30 см (графіки 6 та 7).

Дефекти верхнього шару покриття (до 10 см) о 22 год не проявляються, і тому для їх виявлення найкращий час – від 13 до 17 год та від 1 до 7 год.

## Висновки

1. У процесі застосування запропонованого методу було виявлено, що за математичною моделлю просторово-часового перебігу температур упродовж доби, принаймні в літні місяці та за стійкої погоди, можна отримати добовий розподіл температур, близький до реального.
2. Розподіл відображення температур на термограмах дозволяє робити чіткі висновки про характер та глибину залягання дефектів.
3. Процес аналізу термограм можна автоматизувати.
4. Для визначення можливостей методу треба руйнівними методами перевіряти правильність зроблених діагнозів.

## Література

1. *Дмитриев Н.Н.* Основы контроля и диагностики аэродромных покрытий. – К.: УТУ, 1998. – 240 с.
2. *Брамсон М.А.* Инфракрасное излучение нагретых тел. – М.:Наука, 1964. – 308 с.
3. *Блохин В. И., Белинский И. А., Циприанович И. В., Билеуш А. И.* Аэродромы гражданской авиации. – М.: Воздуш. трансп., 1996. – 400 с.

Стаття надійшла до редакції 22.05.08.