

УДК 697.1:519.24

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕПЛОВИЗОРНОЕ УСТРОЙСТВО
КОЛИЧЕСТВЕННОЙ И КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ
ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ***

**AUTOMATED THERMAL VISUAL DEVICE
OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE EVALUATION OF HEAT LOSS
FOR TEXTILE ENTERPRISES**

*С.В. ФЕДОСОВ, В.Н. ФЕДОСЕЕВ, А.Б. ПЕТРУХИН, А.А. КРАСНОВ,
С.Л. КОСТИН, В.А. ЕМЕЛИН*

*S.V. FEDOSOV, V.N. FEDOSEEV, A.B. PETRUKHIN, A.A. KRASNOV,
S.L. KOSTIN, V.A. EMELIN*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: a.petruhin@mail.ru

В статье предложено оптоэлектронное решение определения геометрических параметров и вида тепловых потерь тепловизорным устройством с последующим развитием вычислений. Результатом тепловизионной съемки является интегральная характеристика количественной и качественной оценки теплопотерь участка ограждения исследуемой поверхности объекта и термограмма теплопотерь этого участка. Для решения предложенного алгоритма определен экономически целесообразный оптоэлектронный прибор с оптимальными параметрами.

The article proposes an optoelectronic solution for determining the geometric parameters and the type of thermal losses by a thermal imaging device, followed by the development of calculations. The result of thermal imaging is an integral characteristic of quantitative and qualitative assessment of the heat loss of the fencing area of the object surface under study and a thermogram of heat loss of this area. For the solution of the proposed algorithm identified economically viable optoelectronic device with the optimal settings.

* Статья выполнена в рамках проекта "Разработка технологии использования возобновляемой энергии аэротермических рециркуляционных воздушных тепловых насосов со встроенными рекуператорами" по государственному заданию Министерства образования и науки Ивановскому государственному политехническому университету.

Ключевые слова: тепловизор, теплопотери, алгоритм, программное обеспечение, термограмма, технологии.

Keywords: thermal imager, heat loss, algorithm, software, thermogram, technology.

Текстильное и швейное производства связаны с выделением в воздух производственных помещений избыточного тепла, пыли и т.п. В процессе развития современных строительных технологий при создании воздухо непроницаемых и паронепроницаемых ограждающих конструкций, в том числе в энергоёмких текстильных малоэтажных строениях, возникает настоятельная необходимость в диагностике потерь температурного состояния помещений. Сегодня в таких относительно вредных текстильных производствах аппаратный термометрический метод диагностирования на основе тепловизионного прибора востребован и субъективно, и объективно.

По результатам исследований, проведенных на кафедре организации производства и городского хозяйства ИВГПУ, предлагается усовершенствованный оптоэлектронный прибор – тепловизор, который может работать в реальном времени, сохранять и перерабатывать информацию и передавать полученные данные потребителю. Предлагаемое авторами решение – это создание модели – алгоритма с программным обеспечением для получения численных значений теплопотерь (сопутствующих характеристик), дифференцированных температурным состоянием с коэффициентом теплоотдачи поверхности. Вредные выделения от прядильного и ткацкого производства влияют на состояние воздуха и его химический состав, создавая тем самым дефекты в строительных ограждениях в виде тепловых потерь.

В этом случае анализ реальных тепловых потерь текстильного производства желательнее проводить по фактическому состоянию строения, при приемке объекта в эксплуатацию, после монтажа текстильного технологического оборудования, а также после ремонта строительных конструкций и при различных их комплексных обследованиях [1...10].

Получая, таким образом, температурное поле при тепловизионной съемке при нашем подходе к оценке, мы можем качественно и количественно характеризовать распределение теплопотерь и не только.

Для получения количественной оценки данных теплопотерь существующей тепловизионной съемки с учетом программно полученных термограмм недостаточно [4], [5]. Известно, что теплопотери с поверхности строения в окружающую среду определяются по формуле [3]:

$$Q = \alpha(t - t_B)S, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/м²·°С; t – средняя температура поверхности, °С; t_B – температура окружающего воздуха, °С; S – площадь поверхности, м².

Определение числовой или процентной величины теплопотерь связано с определением всех входящих в уравнение величин и выполняется в ходе рабочего режима, включающего как тепловизионную съемку, так и, при необходимости, контактные измерения. В исследовании использовали термометр (ТН90 компании AMTAST) с функцией измерения влажности воздуха, интегрированный в систему тепловизора (рис. 1).

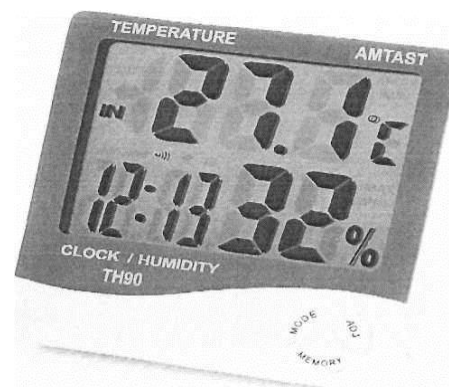


Рис. 1

Технические характеристики термометра типа ТН90:

- диапазон измерения температуры внутри помещения: от -50 до $+70^{\circ}\text{C}$.

- диапазон измерения относительной влажности внутри помещения от 10 до 99%.

Результатами тепловизионной съемки являются термограммы обследованных поверхностей оборудования, по которым определяются средние температуры поверхностей. Температура окружающего воздуха измеряется с помощью термометра. Для определения коэффициента теплоотдачи поверхностей используем табличные данные. В таком случае для комплексного определения показателей требуется при выборе модели тепловизора предусмотреть такие дополнительные функции, как: способ сохранения изображений (жесткий диск, карта памяти SD, USB, флеш-карта), способ обработки изображений и, наконец, усовершенствованное авторами программное обеспечение для анализа и вычисления величины теплопотерь.

Таким образом, результатом тепловизионной съемки будут являться интегральная характеристика количественной оценки теплопотерь участка исследуемой поверхности объекта и термограмма теплопотерь этого участка.

Для реализации предложенного алгоритма (подхода) диагностики наиболее удачно и, на наш взгляд, экономически целесообразно подходит оптоэлектронный прибор – тепловизор со следующими параметрами.

Модель УТИ 160 В, у которой температурный диапазон измерений в пределах от -20 до 300°C , с разрешающей способностью 160×120 пикселей, с видеовыходом на телевизионную систему NTSC и PaL. Обязательно наличие последовательного порта USB.

Рассмотрим подробнее возможность определения вида дефекта, используя матричную чувствительную площадку тепловизора. Тепловизионное изображение на экране – это температурная матрица, благодаря которой создается развитое программное обеспечение так, чтобы пользователь мог использовать обширные возможности

цифровой обработки данных с целью определения (в нашем случае) геометрических размеров площади S (дефекта).

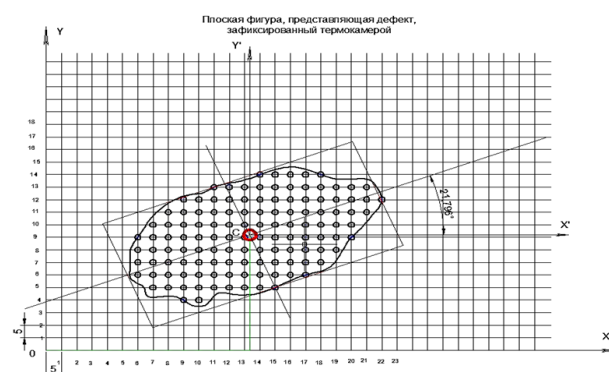


Рис. 2

Рассмотрим пример. Пусть с помощью термокамеры был зафиксирован дефект (рис. 2) в тепловом ограждении в виде плоской фигуры, а потом изображение оцифровано машинными методами таким образом, что оно может быть представлено в виде матрицы K , элементы которой $-k_{i,j}$ представляют построчно координаты центров тяжести точек изображения дефекта в системе координат XOY . Всего получилось 123 точки с двумя координатами. Кроме того, пусть машинными методами определена функция, описывающая контур плоской фигуры дефекта $L(x,y)=0$, которая может быть представлена в любом виде. В простейшем случае она может быть представлена в табличном виде:

$$L_{xy} = \begin{matrix} 6 & 7 & 8 & 9 \\ 7 & 5 & 10 & 0 \\ 8 & 5 & 11 & 0 \\ 9 & 4 & 12 & 0 \\ 10 & 4 & 12 & 0 \\ 11 & 5 & 13 & 0 \\ 12 & 5 & 13 & 0 \\ 13 & 5 & 13 & 0 \\ 14 & 5 & 14 & 0 \\ 15 & 5 & 14 & 0 \\ 16 & 6 & 14 & 0 \\ 17 & 6 & 14 & 0 \\ 18 & 7 & 14 & 0 \\ 19 & 8 & 13 & 0 \\ 20 & 9 & 13 & 0 \\ 21 & 11 & 13 & 0 \\ 22 & 12 & 12 & 0 \end{matrix}$$

Определим положение центра тяжести этой фигуры, используя (1) и матрицу K и принимая площади точек фигуры за единицу. В результате получаем:

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^{123} \Delta S_i = 123,$$

$$X_c = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^{123} (\Delta S_i A_{i,2}) = 13,341,$$

$$Y_c = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^{123} (\Delta S_i A_{i,3}) = 9,187.$$

где S – площадь фигуры; X_c , Y_c – координаты центра тяжести.

Связываем с центром тяжести плоской фигуры новую систему координат $X'CY'$ и

$$J_{C_{\max}} := \frac{J_{CX} + J_{CY}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(J_{CX} - J_{CY})^2 + 4(J_{CXY})^2} = 2,312 \cdot 10^3,$$

$$\bar{J}_{\min} := \frac{J_{CX} + J_{CY}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(J_{CX} - J_{CY})^2 + 4(J_{CXY})^2} = 628,731,$$

$$R_{ct} := \frac{-2J_{CXY}}{J_{CX} - J_{CY}} = 0,952 \frac{\text{atan}(0,952)}{2\text{deg}} = 21,796.$$

Отсюда находим уравнения главных

осуществляем расчет осевых и центробежных моментов инерции относительно новых осей, принимая $\delta_s = 1$. В результате получаем:

$$J_{CY} := \delta_s \sum_{i=1}^{123} (C_{i,2})^2 = 2,08 \cdot 10^3,$$

$$J_{CX} := \delta_s \sum_{i=1}^{123} (C_{i,3})^2 = 860,699,$$

$$J_{CXY} := \delta_s \sum_{i=1}^{123} (C_{i,2} C_{i,3})^2 = 580,146.$$

Используя полученные выражения, находим параметры эллипса инерции – направление главных осей инерции, значение главных центральных моментов инерции:

центральных осей эллипса инерции:

$$y_{\max} = 0,4x \text{ – уравнение большой оси эллипса инерции;}$$

$$y_{\min} = 2,501x \text{ – уравнение малой оси эллипса инерции.}$$

Решая эти уравнения совместно с функцией $L(x,y) = 0$, получаем значения координат точек пересечения осей эллипса с линией контура плоской фигуры, характеризующей дефект теплового ограждения, откуда находим габариты этой фигуры – длина - 17,6; ширина - 8,9 единиц. Таким образом, задача определения габаритов фигуры дефекта решена.

Сравнивая габариты между собой, приходим к выводу, что фигура вписывается в прямоугольник, размеры которого сравнимы между собой и площадь которого близка к площади самой плоской фигуры.

В работе показана возможность определения геометрических параметров и необходимой классификации простейших видов дефектов теплового ограждения зданий и сооружений. В итоге для получения количественной оценки какого-либо участка

теплопотерь тепловизорной съемкой с учетом полученной площади S дефекта, температуры t_b , t_n и табличного коэффициента теплоотдачи α , можно определить величину теплопотерь с учетом всех входящих в уравнение величин.

ВЫВОДЫ

Предложено оптоэлектронное решение определения геометрических параметров и вида тепловых потерь тепловизорным устройством с последующим развитием вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Экологические и энергосберегающие технологии в текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 6. С. 263...266.

2. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А. Организационно-технические решения снижения энергоемкости российской экономики на примере текстильной и строительной отраслей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №4. С. 301...304.

3. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н. Возможность внедрения экологической и энергосберегающей технологии в текстильной энергетике // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №2. С.188...192.

4. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Зайцева И.А., Иродова М.Р. Оптоволоконная томография как метод количественной оценки параметров микроклимата в рабочих помещениях автономных текстильных производств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №1. С.259...261.

5. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Краснов А.А., Костин С.Л., Виноградова Н.В., Иродова М.Р. Функциональные возможности тепловизионной диагностики тепловых потерь для малоэтажных текстильных строений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №3. С.200...203.

6. Патент № 4170419. Оптическая система контроля пороков ткани. 1979.

7. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Формирование интегрального показателя энергетической эффективности зданий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 3. С. 92...95.

8. Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А. Исследование социально-экономических эффектов от снижения энергоемкости российской экономики: суть, генезис и основные аспекты научной проблемы // Сб. научн. тр.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. – 2016. Вып. 2. С.14...18.

9. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Экологические и энергосберегающие технологии в текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 6. С. 263...266.

10. Федосеев В.Н. Автоматизация контроля в технологии поверхностной обработки текстильных материалов. – Иваново, 1990. С. 87.

REFERENCES

1. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vinogradova N.V., Fedoseev V.N. Ekologicheskie i energosberegayushchie tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti // Izv.

vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 6. S. 263...266.

2. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Fedoseev V.N., Oparina L.A., Chistyakova Yu.A. Organizatsionno-tekhnicheskie resheniya snizheniya energoemkosti rossiyskoy ekonomiki na primere tekstil'noy i stroitel'noy otrasley // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 4. S. 301...304.

3. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Fedoseev V.N. Vozmozhnost' vnedreniya ekologicheskoy i energosberegayushchey tekhnologii v tekstil'noy energetike // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №2. S.188...192.

4. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Zaytseva I.A., Irodova M.R. Optovolokonnaya tomografiya kak metod kolichestvennoy otsenki parametrov mikroklimate v rabochikh pomeshcheniyakh avtonomnykh tekstil'nykh proizvodstv // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, №1. S.259...261.

5. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Krasnov A.A., Kostin S.L., Vinogradova N.V., Irodova M.R. Funktsional'nye vozmozhnosti teplovizornoй diagnostiki teplovykh poter' dlya maloetazhnykh tekstil'nykh stroeniy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, №3. S.200...203.

6. Patent № 4170419. Opticheskaya sistema kontrolya porokov tkani. 1979.

7. Petrukhin A.B., Oparina L.A. Formirovanie integral'nogo pokazatelya energeticheskoy effektivnosti zdaniy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, № 3. S. 92...95.

8. Petrukhin A.B., Oparina L.A., Chistyakova Yu.A. Issledovanie sotsial'no-ekonomicheskikh effektorov ot snizheniya energoemkosti rossiyskoy ekonomiki: sut', genezis i osnovnye aspekty nauchnoy problemy // Sb. nauchn. tr.: Teoriya i praktika tekhnicheskikh, organizatsionno-tekhnologicheskikh i ekonomicheskikh resheniy. – 2016. Vyp. 2. S.14...18.

9. Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vinogradova N.V., Fedoseev V.N. Ekologicheskie i energosberegayushchie tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, № 6. S. 263...266.

10. Fedoseev V.N. Avtomatizatsiya kontrolya v tekhnologii poverkhnostnoy obrabotki tekstil'nykh materialov. – Ivanovo, 1990. S. 87

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства. Поступила 19.02.19.