

$$\alpha = \frac{k}{\omega^2 \tau},$$

где  $k$  – коэффициент наклона прямой.

По формуле рассчитываем  $\alpha_x$  для каждой  $i$ -ой частоты и находим среднее значение коэффициента температуропроводности по оси  $X$ . Аналогично находятся значения для температуропроводности по оси  $Y$ .

### Список литературы

1. Вавилов В.П. Тепловой контроль изделий авиакосмической техники // В мире неразрушающего контроля. – 2003. – 2[20]. – С. 4–10.
2. Павлов И.В. Композиционные материалы и неразрушающий контроль // В мире неразрушающего контроля. – 2003. – 3[21]. – С. 4–7.
3. O.A. Sidulenko, V.P. Vavilov: Research services for termography NDT of thick composites. (2005)

## ЛАБОРАТОРИЯ ТЕПЛОВЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТПУ

*Д.А. Нестерук*

*Старший преподаватель кафедры ФМПК, ТПУ, г. Томск*

Лаборатория тепловых методов неразрушающего контроля организована в рамках реализации инновационной образовательной программы ТПУ. В 2007–2008 годах осуществляется закупка оборудования и программного обеспечения, разрабатываются учебно-методические пособия.

Лаборатория готова к сотрудничеству в задачах разработки программных средств для обработки данных теплового контроля, моделированию тепловых процессов, проведению лабораторных исследований и решению задач тепловизионной диагностики. Лаборатория расположена в НИИ Интроскопии при Томском политехническом университете по адресу Савиных, 7, г. Томск. Подробная информация доступна по электронной почте: [nden@sibmail.com](mailto:nden@sibmail.com), Нестерук Денис Алексеевич, старший преподаватель кафедры ФМПК, ТПУ.

### Оборудование

Основное оборудование лаборатории составляет: тепловизор ThermaCam P65 HS, пирометр Optris Laser Sight, измеритель плотности тепловых потоков, установка импульсного нагрева на основе компонент Bowers, излучатель в виде модели АЧТ для поверки ИК оборудования, термоанемометр, несколько видов нагревателей, обеспечивающих продолжительный оптический нагрев (рис. 1).

**Тепловизор ThermaCam P65 HS.** Неохлаждаемый тепловизор фирмы FLIR Systems, США. В качестве детектора используется высокочувствительная микроболометрическая матрица размером 320×240 элементов. Температурная чувствительность составляет 0,05 °С.

Оптическая система тепловизора (объектив 24° x 18°/0,3 м, мгновенный угол зрения 1,3 мрад) позволяет использовать его как для научных исследований, так и для тепловизионного контроля удаленных объектов (например, для зданий). Запланировано приобретение длиннофокусного объектива, предназначенного специально для контроля удаленных объектов (дымовые трубы, линии ЛЭП). Тепловизор позволяет сохранять термограммы с частотой до 12 Гц на жесткий диск персонального компьютера, с использованием интерфейса FireWire или USB.

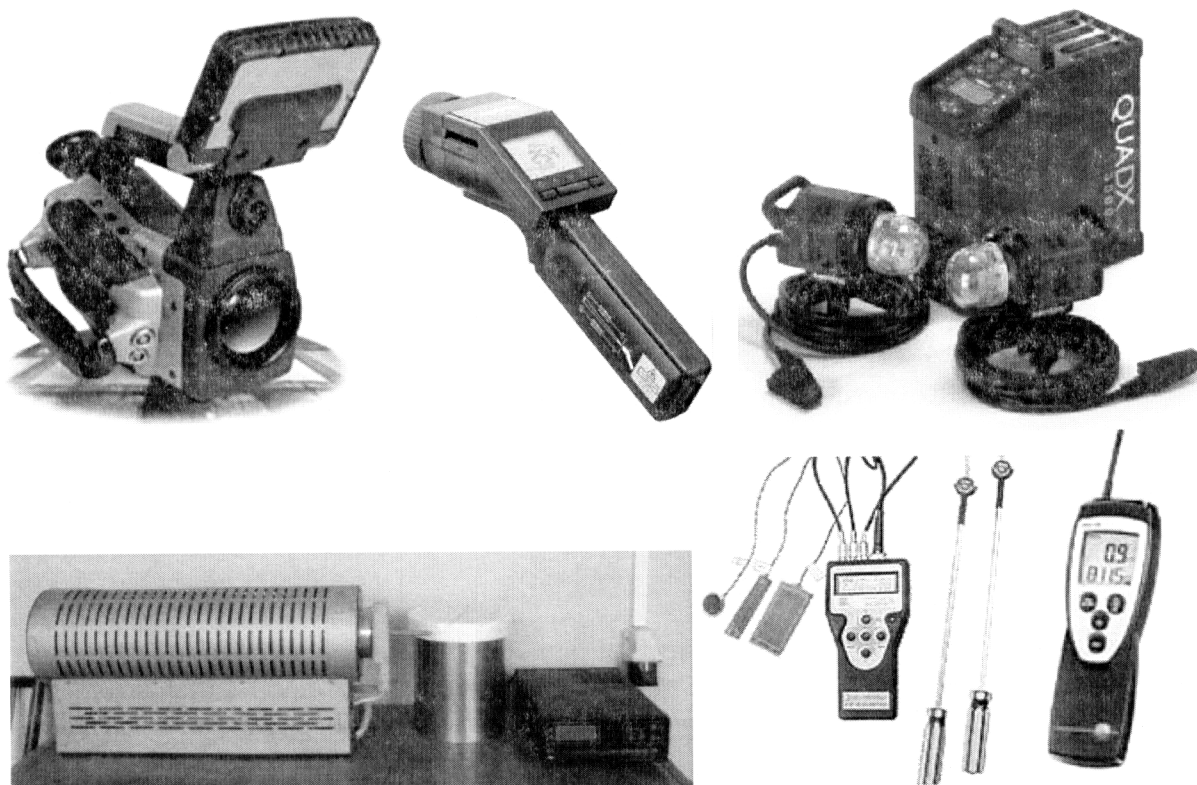


Рис. 1. Оборудование лаборатории

**Пирометр Optris Laser Sight.** Высокоточный пирометр, позволяет проводить измерения температуры в диапазоне температур от  $-35^{\circ}$  до  $900^{\circ}\text{C}$  с погрешностью 0,75 %. Изменяемый фокус позволяет проводить измерения температуры, как для удаленных поверхностей (с показателем визирования 75:1), так и для близкорасположенных, с расстояния до 6 мм (может быть использовано для измерения температуры корпусов микросхем). Поставляемое с пирометром программное обеспечение позволяет проводить запись температуры на персональный компьютер.

**Установка импульсного нагрева на основе компонент Bowens.** В основе установки лежит генератор QUADX 3000, позволяющий запастись энергией до 3000 Дж и обеспечивающий подключение до 4 оптических головок. Мощный импульсный оптический нагрев используется в задачах динамической тепловой термографии, а также при оценке теплофизических характеристик материалов.

**Излучатель в виде модели АЧТ.** Данная установка используется для поверки ИК оборудования. В состав входят термостат, термопара, излучатель и источник питания. Установка позволяет проводить поверку ИК оборудования в диапазоне температур от  $100^{\circ}$  до  $1100^{\circ}\text{C}$ .

**Измеритель плотности тепловых потоков.** Прибор позволяет регистрировать плотности тепловых потоков с 3-х каналов, а также температурные значения по 2 дополнительным каналам с заданным интервалом времени. Прибор может использоваться для оценки теплового сопротивления ограждающих конструкций и для оценки теплопотерь зданий. Диапазон измерений плотности тепловых потоков  $2 \dots 999 \text{ Вт/м}^2$ . Основная относительная погрешность измерения теплового потока не более 7 %.

**Термоанемометр.** Для измерения температуры воздуха, скорости ветра используется термоанемометр Testo 425. Прибор снабжен стационарно подсоединенным обогреваемым зондом температуры/скорости воздуха и телескопической рукояткой. Точный расчет объемного расхода возможен благодаря тому, что зонд легко помещается в воздуховоды. Функция усреднения по времени и количеству замеров, позволяет получить усредненные значения объемного расхода, скорости потока и температуры.

### Опыт проведения работ. Учебно-методическое обеспечение

Накоплен опыт, связанный с проведением тепловизионных обследований зданий, оценке теплопотерь, обнаружения воды в сотовых авиационных конструкциях. Проводились многочисленные обследования зданий городов Томска и Северска, дымовых труб на крупнейших предприятиях, хранилищ аммиака в г. Кемерово. Совместно с городской больницей г. Сургут проведен ввод в эксплуатацию тепловизионного комплекса для обследования и диагностика сосудистых заболеваний у пациентов больницы. Проведен комплекс исследований по анализу ТФХ композиционных материалов с использованием метода Паркера и Фурье-анализа. Проведены обследования 6 самолетов Ту-204, Ил-86 в аэропортах городов Новосибирска, Красноярска и Москвы, показавшие пригодность использования тепловизионной диагностики для обнаружения воды в сотовых авиационных конструкциях. Разработана методика тепловизионного контроля воды в сотовых авиационных конструкциях, которая на данный момент находится на утверждении в ГосНИИ ГА (рис. 2).

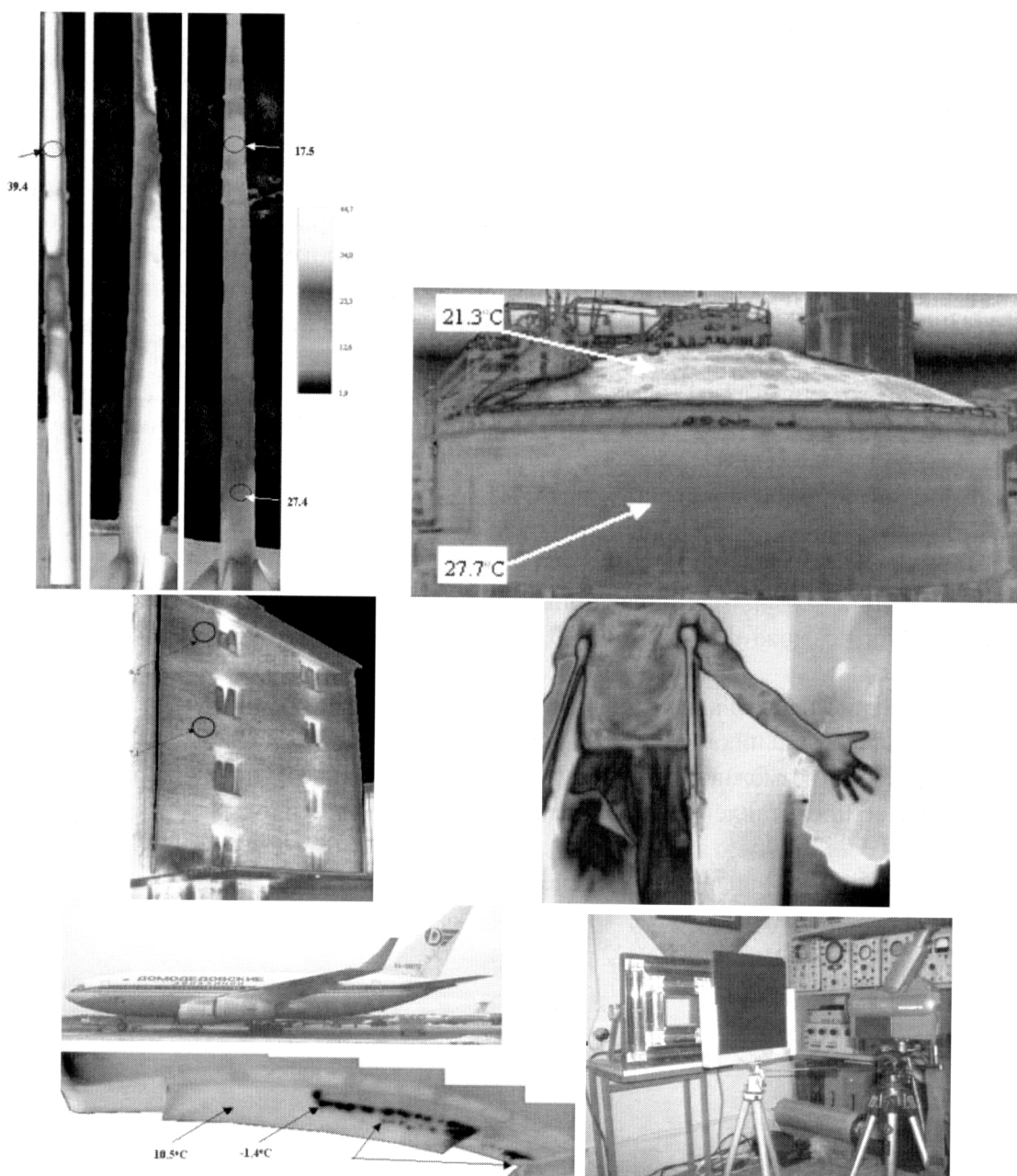


Рис. 2. Иллюстрации проведенных работ

Накоплен большой опыт по программной реализации основных и развитых алгоритмов обработки тепловизионных данных. В процессе работы широко используется математический пакет MATLAB и среда разработки Borland C++ Builder.

Для осуществления учебного процесса совместно с профессором Вавиловым В.П. разработано учебное пособие «Тепловой контроль и диагностика», рассчитанное на проведение лекций с бакалаврами и магистрами, обучающимися по специальности «Физические методы и приборы контроля качества». Готовится сборник лабораторных работ по тепловому контролю. В сборник планируется включение следующих работ: «Работа в среде MATLAB», «Анализ классических решений теории теплопроводности», «Численное моделирование обнаружения дефектов в импульсном тепловом контроле», «Проведение тепловизионных обследований. Составление отчетов. Расчет стационарных процессов», «Инфракрасная термография. Законы теплового излучения», «Тепловидение в энергетике», «Определение ТФХ материалов. Метод Паркера и использование преобразование Фурье».

### **Программное обеспечение**

В рамках реализации инновационной образовательной программы ТПУ закуплено следующее программное обеспечение: математический пакет MATLAB 7.0, среда разработки C++ Builder 2007, программа для моделирования тепловых процессов ThermoCalc 6L для трехмерного моделирования тепловых процессов в изделиях с дефектами, программа ThermoCam Researcher, позволяющая осуществлять ввод в реальном масштабе времени тепловизионных изображений с тепловизора в персональный компьютер и осуществлять управление тепловизором с персонального компьютера.

Ряд программного обеспечения разрабатывается самостоятельно. В процессе подготовки студентов при проведении лабораторных работ широко используется программы:

#### **1. MultiLayer1D**

- решение нестационарной одномерной задачи теплопроводности для многослойной структуры (неограниченное число слоев в структуре) при граничных условиях 3-го рода;
- учет фазовых переходов в слоях структуры;
- одновременное решение задачи теплопроводности для нескольких структур;

#### **2. Visual Matrix**

- визуализация неограниченного количества термограмм;
- реализация возможности «сшивки» термограмм, для создания панорамных изображений;
- использование визуальных инструментов: «точка», «линия», «прямоугольник», «эллипс», «многоугольник», «надпись» для получения и представления информации;
- предоставление возможностей для создания отчетов по тепловизионным обследованиям;
- трехмерное представление термограмм;

#### **3. ThermoFit**

- визуализация тепловизионных последовательностей;
- преобразование Фурье;
- анализ главных компонент;
- полиномиальная подгонка;
- статистический анализ;
- возможности измерения ТФХ.