

## АНАЛИЗАТОР ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ГОРДИЕНКО Э.Ю., ЕФРЕМЕНКО В.Г.,  
КЕРЕМЕТ Л.С., СКАРЖЕНЮК Ф.К.,  
ФОМЕНКО Ю.В., ШУСТАКОВА Г.В.

Описывается разработанный, изготовленный и апробированный анализатор тепловых полей (тепловизор), предназначенный для лабораторных исследований. Преимуществами анализатора являются возможность расширения спектрального диапазона и изменения других параметров за счет использования различных детекторов и модульной архитектуры прибора.

### 1. Введение

Общеизвестно, что любой физический, химический, механический или биологический процесс сопровождается выделением или поглощением тепла, а спектральное и пространственное распределение интенсивности такого теплового излучения содержит массу информации об этом процессе. Для получения этой информации используют тепловизионные системы. Однако современные серийные промышленные тепловизоры, обладая высокими техническими характеристиками, как правило, работают только в спектральных диапазонах 3–5 или 8–14 мкм (окна прозрачности атмосферы). Этих диапазонов вполне достаточно для большинства применений тепловизоров в различных сферах человеческой деятельности (промышленности, сельском хозяйстве, медицине и др.) [1]. Однако для решения некоторых нетипичных задач (например, очень высоко- или низкотемпературные процессы, явления, сопровождающие негетловое излучение, и др.) характеристик серийных тепловизоров недостаточно. Такого рода задачи, как правило, возникают при научных лабораторных исследованиях. Кроме изменения параметров прибора: расширения спектрального диапазона, увеличения чувствительности, изменения диапазона измеряемых температур зачастую требуется введение дополнительных функций в программное обеспечение тепловизионной системы или интеграция ее в единую систему с другой экспериментальной установкой с созданием общего интерфейса, что невозможно при использовании серийных тепловизоров, у которых приборная и программная части недоступны для изменений и модернизации.

Поэтому целью данного исследования было разработать и изготовить дешевый универсальный прибор, способный одновременно решать как стандартные, так и разноплановые нетипичные (научные) задачи тепловизионного анализа.

Поставленная цель может быть достигнута благодаря «открытой архитектуре» и модульной конструкции приборной и программной частей анализатора.

### 2. Разработка и изготовление анализатора тепловых полей

Специально для научных исследований в лабораторных условиях мы разработали и изготовили два макетных образца [2] широкополосного, высокочувствительного анализатора тепловых полей (АТП), который благодаря «открытой архитектуре» и модульной конструкции имеет ряд преимуществ перед серийными тепловизорами при решении «нестандартных» научных задач. К таким преимуществам можно отнести возможность использовать в АТП ряд охлаждаемых (в том числе и до гелиевого уровня) различных ИК приемников, легко изменяемый формат сканирования и наличие в измерительном канале калиброванного источника излучения.

Как показано на рис. 1, АТП состоит из трех основных модулей: 1) фотоприсмного устройства (ФПУ), включающего присмник, систему его охлаждения и предварительный усилитель; 2) оптико-механического блока, в состав которого входит модулятор, сканер и объектив; 3) электронного блока, в состав которого входит контроллер сканера и процессор обработки видеосигнала.

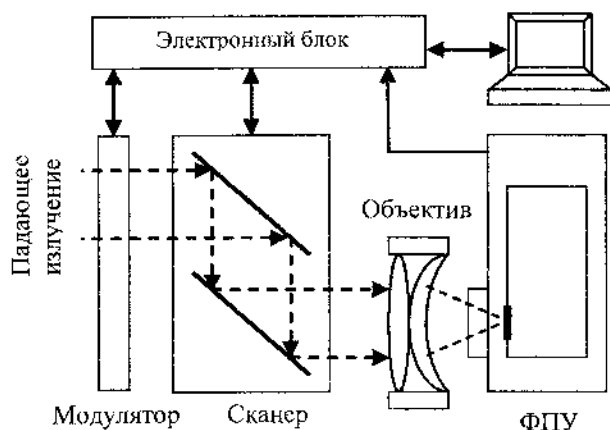


Рис. 1. Блок-схема АТП

Излучение от исследуемого объекта, попадая через фокусирующие зеркала или линзы на детектор, генерирует электрический сигнал. Так как механический сканер осуществляет перемещение мгновенного поля зрения детектора по исследуемому объекту, то пространственное распределение теплового поля объекта преобразуется в последовательность электрических сигналов, дальнейшую цифровую обработку которых, а также хранение и отображение полученных тепловых изображений (термограмм) в удобной графической форме осуществляет персональный компьютер (ПК) или «карманный» персональный компьютер (КПК). Такая конструктивная схема позволяет избежать присутствия оператора в зоне проведения физического эксперимента, а удобный интерфейс оригинального программного обеспечения и возможность расширения его функций способствуют гибкой трансформации системы при осуществлении разноплановых исследований. Спектральный диапазон АТП

определяется выбором детектора и оптической системы, которые могут быть легко изменены в соответствии с решаемой задачей.

Наиболее привлекательной особенностью АТП является возможность использования различных детекторов. Конструкция и размеры механического крепления криостатов позволяют использовать два вида коммерческих фотоприемных устройств – азотного и гелиевого уровня охлаждения [3,4]. В дополнение мы разработали и изготовили такого же размера (диаметром 50 и высотой 150 мм) разборной оптический криостат азотного уровня охлаждения. Детектор (от 1 до 8-ми чувствительных элементов) располагается в вакууме на платформе с контролируемой температурой. В соответствии с выбранным детектором и оптической системой устанавливается холодная диафрагма (или фильтр) и входное окно. Вакуумные соединения наружного и внутреннего стаканов криостата и входного окна осуществляются болтами. Благодаря слоисто-вакуумной изоляции (тридцать слоев перфорированного майлара ПЭТФ30, чередующегося со специальной синтетической низкотемпературной бумагой СНТ10) и специально подобранным трем сортам адсорбента, 150 мл жидкого азота достаточно для поддержания одиночного чувствительного элемента при рабочей температуре в течение 8 часов.

Для усиления сигнала фотоотклика одного чувствительного элемента используется маломощный предварительный усилитель (коэффициент усиления  $K=200$ ,  $U_{ш} \leq 2$  нВ·Гц<sup>-1/2</sup>). Это позволило достичь ограничения пороговой чувствительности фотодетекторов только естественными флуктуациями окружающего фона (BLIP-режим) [5]. Предварительный усилитель осуществляет также согласование электрического сопротивления фотоприемника с последующей электроникой и формирование необходимой амплитудно-частотной характеристики всего сигнального тракта (0 ÷ 100 кГц). Фотоприемное устройство размещено в металлическом экране, к которому также крепится шасси ИК объектива.

Разработанный АТП обладает возможностью дистанционного измерения пространственного распределения абсолютной температуры исследуемых объектов. С этой целью на оптической оси перед сканером располагается модуль гор теплового потока, представляющий собой металлическую шторку с известным коэффициентом излучения ( $\approx 0,98$ ). В конце каждого кадра (во время обратного хода зеркала кадровой развертки) поле зрения системы полностью перекрывается шторкой и на детектор поступает только поток излучения с ее поверхности. Температура шторки контролируется сигнальным процессором электронного блока при помощи полупроводникового микротермометра. Это позволяет программному обеспечению АТП поставить в соответствие величине потока излучения, регистрируемого детектором, абсолютное значение температуры. Другими словами, измерение температуры объектов, попадающих в поле зрения системы, производится относительно эталонного из-

лучателя с известными параметрами (температура, коэффициент излучения). То обстоятельство, что шторка располагается на входе всей оптической системы, позволяет исключить погрешность измерения, связанную с температурными колебаниями поверхностей сканирующих зеркал и оптики. Положение шторки, соответствующее ее закрытому состоянию, фиксируется оптоэлектронным датчиком.

Для регистрации пространственного распределения теплового поля исследуемых объектов используется строчный алгоритм сканирования, который наиболее предпочтителен в системах с однопиксельным сенсором теплового излучения. Полное изображение прямоугольного формата достигается путем использования комбинации двух разверток – строчной (горизонтальной) и перпендикулярной к ней кадровой.

Сканирование в горизонтальной плоскости производится при помощи колеблющегося зеркала размером (36 x 50) мм<sup>2</sup>, закрепленного на плоской стальной пружине. Резонансные колебания такой системы достигаются путем подачи последовательности прямоугольных импульсов на катушки электромагнитов, расположенных под металлической платформой, на которой закреплено зеркало. В данной конструкции резонансная частота, задаваемая массой зеркала, геометрией и жесткостью пружины, составляет  $\approx 100$  Гц. Последовательности импульсов управления электромагнитами формируются контроллером сканера. Мгновенное положение зеркала отслеживается при помощи датчика, представляющего собой оптопару светодиод-фотодиод с открытым оптическим каналом, на выходе которого формируется электрический сигнал, пропорциональный углу поворота зеркала.

Другое зеркало размером (60 x 60) мм<sup>2</sup> производит сканирование в вертикальной плоскости. Привод вертикального сканирующего зеркала осуществляется от униполярного четырехфазного шагового двигателя с угловым значением шага 1,8 град. Для обеспечения требуемого мгновенного угла поворота изображения в плоскости фотоприемника и заданного полного угла зрения используется редуктор с коэффициентом деления 30. Управляющая последовательность электрических импульсов для вращения двигателя в прямом и обратном направлениях генерируется сигнальным процессором электронного блока по заложенному программному алгоритму. Для обозначения крайнего положения зеркала используется оптоэлектронный датчик.

Оба зеркала покрыты алюминиевой пленкой для обеспечения хорошего отражения в широком спектральном диапазоне. Закон сканирования может быть изменен в зависимости от используемого приемника (одиночный или массив до 8-ми элементов) и решаемой задачи.

Для целей лабораторных исследований были разработаны, изготовлены и опробованы два взаимозаменяемых объектива. Первый объектив, предназначенный для работы АТП в диапазоне (2 ÷ 18) мкм, состоит из

2-х сменных просветленных германиевых линз (материал просветления  $\text{SiO}_2$  – для диапазона  $(2 \div 5)$  мкм и  $\text{ZnS}$  – для  $(8 \div 14)$  мкм). Апертура этого объектива  $D=32$  мм, светосила 1:1 и коэффициент пропускания изображения  $\approx 0,9$ . Другой объектив (зеркальный объектив Кассегрена) имеет такую же апертуру  $D=32$  мм, светосилу 1:1,5 и предназначен для решения задач в коротковолновой и длинноволновой части ИК спектра. Линзовый и зеркальный объективы имеют одинаковое механическое крепление к экрану фотоприемного устройства и взаимозаменяемы. Фокусировка изображения осуществляется вручную перемещением объектива вдоль оптической оси системы с помощью специального редуктора.

Электронный модуль выполнен на базе сигнального процессора ADSP-2188, представляющего собой 16-ти разрядный микрокомпьютер с высокой скоростью выполняемых команд и развитым интерфейсом для подключения периферийных устройств, таких как аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Блок-схема электроники приведена на рис. 2.

Конструктивно электронный модуль может быть условно разделен на следующие функциональные блоки: блок управления сканером, блок обработки видеосигнала и интерфейсный контроллер для обмена данными с PC через универсальную последовательную шину (USB).

При включении питания на катушках электромагнитов строчной развертки появляются броски электрического тока, которые приводят к возникновению слабых затухающих резонансных колебаний зеркала. При помощи 12-разрядного АЦП сигнал датчика положения зеркала преобразуется в цифровую форму (частота выборок 200 кГц) и далее в реальном времени обрабатывается процессором, программное обеспечение которого отслеживает мгновенное положение зеркала и вырабатывает последовательность управля-

ющих электрических импульсов, обеспечивающих поочередное включение электромагнитов. Благодаря такой электромеханической положительной обратной связи фаза и частота управляющих импульсов автоматически устанавливаются таким образом, что возбуждаются и поддерживаются незатухающие резонансные колебания зеркала с большой амплитудой (полный угол отклонения  $\approx 0,8$  рад). Кроме того, сигнальный процессор отслеживает интегральное значение амплитуды колебаний за несколько периодов и по специальному алгоритму производит регулирование подводимой к электромагнитам мощности путем изменения длительности импульсов управления, тем самым осуществляя стабилизацию амплитуды колебаний зеркала на заданном уровне. Установка необходимой амплитуды колебаний осуществляется изменением коэффициента передачи усилителя датчика положения. Такая схема включения позволяет поддерживать стабильным заданный полный угол поворота зеркала при изменении резонансной частоты вследствие колебаний температуры окружающей среды ( $\approx 5$  Гц в температурном интервале  $0 \div 40$  С).

Начальное и конечное угловое положение горизонтального зеркала, соответствующее началу и концу строки формируемого раstra сканирования (строке изображения), сопровождается сигналами строчной синхронизации, генерируемыми процессором. Временная зависимость угла поворота зеркала является синусоидальной и имеет сильную нелинейность на краях. Чтобы избежать видимых геометрических искажений на тепловом изображении, сигналы строчной синхронизации формируются на квазилинейном участке этой зависимости. При этом угловой размер строки изображения примерно в два раза меньше полного угла отклонения зеркала. Для увеличения коэффициента использования строчной развертки ( $\approx 0,5$ ) сканирование объекта в горизонтальной плоскости производится во время прямого и обратного ходов зеркала.

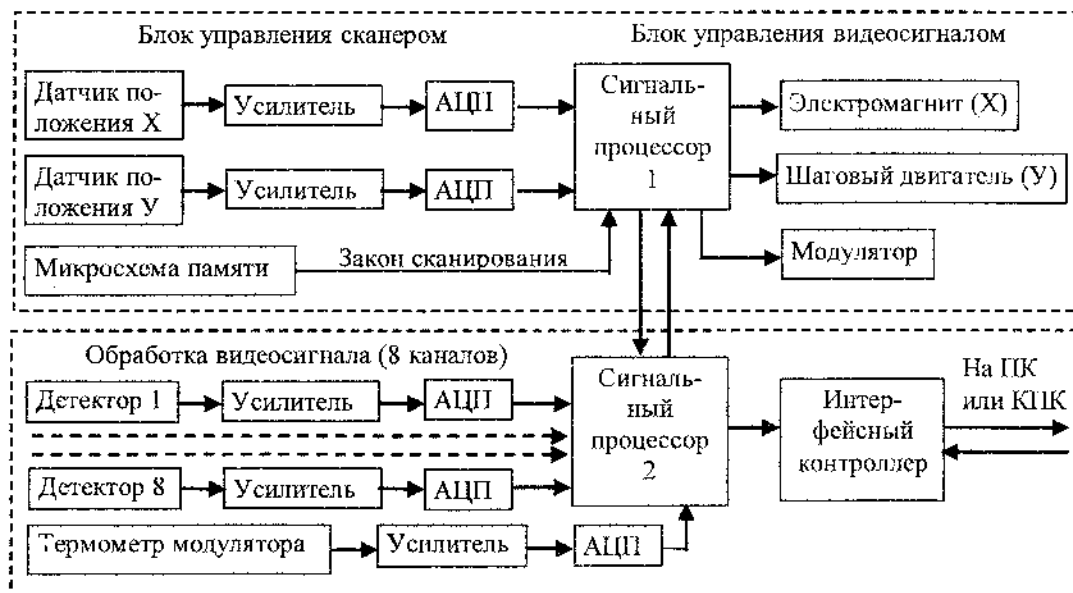


Рис. 2. Структурная схема электронного блока

Управление шаговым двигателем привода зеркала вертикальной развертки также осуществляется сигнальным процессором. Во время сканирования с приходом каждого импульса строчной синхронизации, соответствующего концу строки, ротор двигателя поворачивается на один шаг. При этом кадровое зеркало совершает угловое перемещение на 1,5 мрад. Двигатель имеет довольно высокую скорость переключения ( $\approx 1,8$  мс). В связи с этим к моменту прихода импульса синхронизации, соответствующего началу следующей строки сканирования, ротор успевает занять устойчивое положение. Кроме того, редуктор привода кадровой развертки демпфирует паразитные колебания зеркала во время переключения. Геометрических искажений на тепловом изображении, соответствующих переходным процессам при работе двигателя, не наблюдается.

В телемикропрограмме процессора организован счетчик строк, который получает приращение на 1 после сканирования каждой строки формируемого раstra. Количество строк в растре задается программно и может достигать 256. При переполнении счетчика строк под управлением процессора кадровое зеркало возвращается в исходное крайнее положение (обратный ход), которое фиксируется оптическим датчиком. Во время обратного хода сигналы строчной синхронизации игнорируются и перемещение кадрового зеркала в исходное состояние происходит быстро ( $\approx 500$  мс). После этого программный счетчик строк обнуляется, генерируется сигнал кадровой синхронизации и сканер начинает формирование нового раstra. Во время обратного хода кадрового зеркала также на короткое время закрывается шторка модулятора теплового потока, что сопровождается соответствующим сигналом.

Обработка видеосигнала полностью осуществляется в цифровой форме. С этой целью сигнал с чувствительного элемента преобразуется в 12-битный цифровой поток данных (частота выборок 100 кГц). Согласование динамических диапазонов фотоприемного устройства и аналого-цифрового преобразователя осуществляется при помощи малошумящего масштабирующего усилителя. Электронный модуль включает 8 независимых параллельных каналов обработки видеосигнала, так что одновременно можно снимать и обрабатывать информацию с 8-ми детекторов. Сигнальный процессор осуществляет цифровую фильтрацию видеосигнала в реальном времени, вычитание составляющей сигнала, соответствующей фону, а также формирование двумерного массива числовых данных о пространственном распределении интенсивности регистрируемого теплового поля для передачи в персональный компьютер и вывода ИК изображения соответствующего формата в пикселях. Формат изображения по вертикали и горизонтали определяется числом строк раstra сканирования (256 строк) и частотой выборок видеосигнала соответственно. За один период колебаний зеркала строчной развертки

(10 мс) формируется 2 строки изображения. Так как коэффициент использования строчной развертки равен 0,5, то частота выборок 100 кГц обеспечивает 256 элементов в каждой строке изображения.

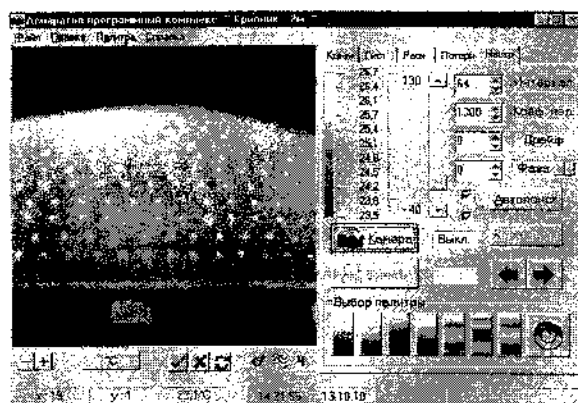
В оперативной памяти данных процессора организовано два буфера (для строк с четными и нечетными номерами) размером по 256 x 2 байт каждый для временного хранения числовой информации о каждом элементе строки изображения. Заполнение буферов синхронизируется сигналами строчной синхронизации, генерируемыми блоком управления сканером. После заполнения каждого из буферов (окончания сканирования строки) генерируется сигнал интерфейсному контроллеру для инициализации обмена данными с персональным компьютером и передачи текущей строки изображения. Также передается номер строки. Это позволяет легко синхронизировать формирование ИК изображения и его визуализацию. Использование отдельной буферизации данных для четных и нечетных строк позволяет значительно ослабить требования на скорость обмена данными с ПК.

Последняя строка каждого кадра заполняется данными с микротермометра, закрепленного на поверхности модулятора теплового потока. С этой целью по сигналу датчика положения модулятора, соответствующему его закрытому состоянию (во время обратного хода кадрового зеркала), электронный мультиплексор MUX на короткое время переключает АЦП к выходному усилителю микротермометра. В качестве микротермометра используется эмитерный переход безкорпусного транзистора, запитанный от термостабилизированного источника постоянного тока. Кроме того, программное обеспечение процессора сохраняет усредненное значение сигнала фототклика на излучение с поверхности шторки, которое вычитается из общего видеосигнала во время сканирования следующего кадра. Это позволяет привязку сигналов на регистрируемые потоки излучения к абсолютным значениям температуры. Блок обработки видеосигнала формирует также сигнал об окончании сканирования кадра, он передается интерфейсному контроллеру для синхронизации обмена данными с ПК.

Интерфейсный контроллер сопряжен с внутренним контроллером прямого доступа к памяти сигнального процессора и осуществляет формирование и передачу цифрового потока данных в ПК или КПК в соответствии со спецификацией стандарта USB 2.0 (High Speed) или USB 1.0. Интерфейсный контроллер выполнен на базе FT245R чипа, включающего в себя параллельный интерфейс с FIFO буфером и USB высокую скорость передачи информации ( $\approx 1$  Мбайт/с). Передача информации осуществляется построчно по управляющему импульсу блока обработки видеосигнала, соответствующему заполнению строчного буфера сигнального процессора.

Получение теплового изображения объектов на мониторе ПК или КПК, а также управление видеоблоком

АТП осуществляется через пользовательский интерфейс оригинального программного обеспечения, разработанного на языке DELPHI под операционную систему Windows (рис.3,а) и PPL (Pocket Programming Language) под операционную систему Windows Mobile (рис.3,б).



а



б

Рис. 3. Пользовательские интерфейсы программного обеспечения АТП: а – для ПК, б – для КПК

При разработке программного обеспечения использовался модульный принцип построения программного кода. Это позволяет сравнительно легко расширять или изменять набор функций пользовательского интерфейса в зависимости от направления и конкретных задач тепловой диагностики.

Пользовательский интерфейс программного обеспечения ПК имеет широкий набор основных функций (около 20-ти) [6]. При работе тепловизора совместно с КПК (в данной работе использовался Fujitsu Siemens Pocket Loox C550 с интегрированным USB хост-контроллером) программное обеспечение имеет существенно меньшие возможности. Это связано, в первую очередь, с удобством управления, так как выбор функций осуществляется только при помощи четырех кнопок навигатора КПК. Тем не менее, совместимость форматов сохраняемых файлов термограмм позволяет производить последующую обработку тепловых изображений средствами программного обеспечения для ПК, имеющего существенно больший набор функций. Интерфейс пользователя КПК Software package позволяет производить: визуализацию теплового изображения объектов в реальном времени; индикацию абсолютной температуры в любой точке теплового изображения; изменение активной цветовой палитры изображения; ручное или автоматическое управление яркостью и контрастностью изображения; индикацию минимальной и максимальной температуры; сохранение отдельных термограмм или динамического фильма на Memory Card; запись и воспроизведение голосового комментария; быстрый просмотр сохраненных термограмм.

### 3. Апробация и практическое использование

Изготовленные макетные образцы разработанного АТП были успешно опробованы в сочетании с: (1) промышленным ФПУ [2, 3], (2) одиночным CdHgTe (КРТ) фоторезистором, (3) линейкой из 8-ми КРТ фоторезисторов, (4) высокотемпературным сверхпроводниковым (ВТСП) болометром (пленочный мандр YBaCuO на подложке LaAlO<sub>3</sub>) [7]. Приемники (2) ÷ (4) помещались в разборной азотный криостат, описанный выше. Для приемника (3) был изменен формат сканирования. Приемник (4) использовался в сочетании с зеркальным объективом Кассегрена и окном из KRS-5. Некоторые сравнительные характеристики системы с различными приемниками приведены в таблице.

Макетные образцы разработанного АТП (рис.4,а) в сочетании с различными приемниками уже активно используются при решении научных задач, таких как:

Параметры АТП при использовании различных приемников

Тип приемника	Коммерческое ФПУ	Одиночный КРТ приемник	Линейка КРТ приемников	ВТСП болометр
Параметр АТП				
Размер чувствительного элемента, мкм	50x50	40x40	(50x50) x 8	50x50
Рабочая температура, К	77,8	77,8	77,8	83,0
Спектральный диапазон, мкм	8-14	8-14	8-14	1-30
Поле зрения, град	24x24	22x22	22x22	14x14
Угловое разрешение, мрад	1,6	1,5	1,6	1
Температурная чувствительность при 30°C, С	0,06	0,1	0,1	?1,0
Время кадра, сек	1,5	1,3	0,15	60
Примечания	Базовая конструкция	Базовая конструкция	Изменен формат сканирования	Установлен объектив Кассегрена

измерение абсолютной температуры взвешенных в жидкости магнитных паночастиц, нагреваемых высокочастотным электромагнитным полем, и другие применения [2], изучение распределения температурных полей на поверхности макетов солнечных батарей в Национальном педагогическом университете г.Киева (термограмма на рис. 3,а), выявление методами активной термографии [8] в научной лаборатории при Харьковском авиационном заводе внутренних дефектов (непроклеев) многослойных материалов (рис.4,б), изучение методов ранней диагностики новообразований и динамики развития радиационных кожных дерматитов в Харьковском институте медицинской радиологии [9], исследование температурных полей растущих монокристаллов в Харьковском институте монокристаллов (рис.4, в).

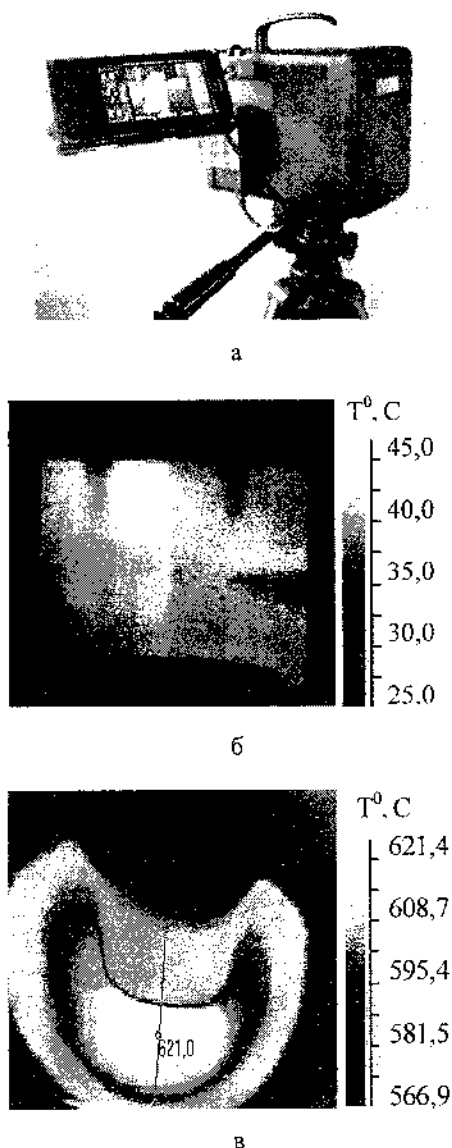


Рис.4. Внешний вид АТП с КПК (а); выявление дефектов в слоистых материалах: присмник – КРТ линейка (б); контроль температурных полей при выращивании монокристаллов CsI: момент касания затравки с расплавом (в)

#### 4. Выводы

Научная новизна исследования заключается в том, что разработанный анализатор тепловых полей имеет «открытую архитектуру», которая достигается модульной конструкцией как аппаратной, так и программной частей прибора. Такая конструкция позволяет в лабораторных условиях достаточно легко менять приемники, оптику, блоки программы, что дает возможность варьировать параметрами прибора в соответствии с решаемой задачей.

Практическая значимость результатов исследования подтверждается приведенными выше примерами использования разработанного анализатора для решения разнообразных научных задач.

**Литература:** 1. <http://www.ircam.ru/> 2. Yefremenko V., Gordiyenko E., Shustakova G. et al. A Broadband imaging system for research applications // Review of Scientific Instruments. 2009. Vol. 80, N.5. P.056104-056104/3. 3. Judson Technologies, #J15D12, <http://judsontechnlogis.com>. 4. Oxford Instrument, OptistatCV, <http://oxford-instruments.com>. 5. Сизов Ф.Ф. Фотоэлектроника для систем видения в невидимых участках спектра. Киев: Академперіодика, 2008. 460 с. 6. [http://www.ilt.kharkov.ua/bvi/technology/tk1/tk1\\_r-1.html](http://www.ilt.kharkov.ua/bvi/technology/tk1/tk1_r-1.html). 7. Гордиенко Э.Ю., Ефре́менко В.Г., Новосад В.А. Технология изготовления высокотемпературного сверхпроводникового микроболометра // Технологии приборостроения. 2003. N1. С.15-17. 8. Xavier P.V. Maldague. Theory and practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. New York. John Wiley & Sons, Inc. 2001. 562 p. 9. Ефимова Г.С., Шустакова Г.В., Гордиенко Э.Ю., Фоменко Ю.В. Диагностические возможности тепловидения в онкологии. // Сб. трудов 5-го Съезда онкологов и радиологов СНГ. Ташкент, 2008. С.119.

Поступила в редколлегию 16.08.2010

Рецензент: д-р физ.-мат. наук Шнырков В.И.

**Гордиенко Эдуард Юрьевич**, канд. техн. наук, ведущий инженер отдела сверхпроводниковых и мезоскопических структур (ОСМС) ФТИНТ НАН Украины. Научные интересы: инфракрасная техника. Адрес: Украина, 61072, Харьков, ул.23 Августа, 29/А, кв.42, тел.(057)340-6771.

**Ефре́менко Владимир Геннадиевич**, канд.техн.наук, инженер Аргопнской Национальной лаборатории, США. Научные интересы: сверхпроводниковые болометры. Адрес: 1446, Carriage Ln, Apt.5, Westmont, IL, 60559, USA, тел.:(001)630-209-3430.

**Керемет Леонид Степанович**, специалист высокой квалификации ОСМС ФТИНТ НАН Украины. Адрес: Украина, 61103, Харьков, пр.Ленина, 67, кв.34, тел. (057)340-8444.

**Скарженюк Федор Кузьмич**, ведущий инженер ОСМС ФТИНТ НАН Украины. Научные интересы: инфракрасная техника. Адрес: Украина, 61129, Харьков, ул. Межлаука, 3, кв.59, тел. (057)716-1932.

**Фоменко Юлия Викторовна**, ведущий инженер ОСМС ФТИНТ НАН Украины. Научные интересы: инфракрасная техника. Адрес: Украина, 61001, Харьков, ул. Плехановская, 73, кв.48, тел. (057) 737-2943.

**Шустакова Галина Владимировна**, ведущий инженер ОСМС ФТИНТ НАН Украины. Научные интересы: инфракрасная техника. Адрес: Украина, 61128, Харьков, ул.-Танкопия, 6, кв.429, тел. (057)716-1862.