

СОВРЕМЕННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ТЕПЛОВИЗОРЫ

Г.С. Мельников, В.М. Самков, Ю.И. Солдатов, В.В. Коротаев
ФГУП НПК ГОИ им. С.И. Вавилова, СпбГУ ИТМО

В докладе проводится анализ возможностей современных медицинских тепловизоров таких, например, как тепловизор ТН9100SL. Материалы исследований с прототипом последнего - тепловизором NEC ТН7102МХ легли в основу обоснования по постановке работ по созданию отечественной измерительной тепловизионной техники.

В соответствии с терминологией ГОСТ Р 8.619-2006 ГСИ тепловизионный измерительный прибор (тепловизор): Оптико-электронный прибор, предназначенный для бесконтактного (дистанционного) наблюдения, измерения и регистрации пространственного/пространственно-временного распределения радиационной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора, путем формирования временной последовательности термограмм и определения температуры поверхности объекта по известным коэффициентам излучения и параметрам съемки (температура окружающей среды, пропускание атмосферы, дистанция наблюдения и т.п.). Первые тепловизионные системы были созданы в конце 30-х гг. 20 в.

Наиболее ценную информацию содержат термограммы человеческого тела, т.е., распределение температуры по его поверхности. Визуализированные температурные поля позволяют судить о состоянии периферийного кровотока и получать информацию о глубинных процессах, протекающих в организме. Тепловизионные системы на современном уровне нашли применение и широко апробированы в следующих направлениях медицинской диагностики [1]:

1. Онкология (опухоли молочных желез, щитовидной железы, лимфатических узлов, костей и т.д.).
2. Неврология (патология периферических нервов конечностей, неврологические синдромы остеохондроза различных отделов позвоночника).
3. Ангиология (различные заболевания магистральных артерий и вен конечностей).
4. Травматология и ортопедия, в том числе гнойная остеология и комбустиология (сколиозы, неосложненные и осложненные переломы позвоночника, деформирующие артрозы крупных суставов, остеомиелиты длинных трубчатых костей на этапах лечения, ранняя диагностика глубины ожогового поражения и т.д.)
5. Общая хирургия (острая воспалительная патология брюшной полости, особенно у детей).
6. Реконструктивно-восстановительная хирургия (диагностика жизнеспособности пересаженных и реимплантированных сегментов, трансплантатов, филатовского стебля).
7. Артрология (заболевания крупных и мелких суставов конечностей различного генеза).
8. Оториноларингология (воспалительные заболевания придаточных пазух).
9. Эндокринология (заболевания щитовидной железы, сосудистые и невральные осложнения сахарного диабета). [1]

Начало развития тепловизионной техники было положено в начале 60-х гг. XX столетия исследованиями и разработкой приборов по двум основным направлениям:

- с использованием дискретных приемников излучения совместно с системами сканирования (развертки) изображения;

- с использованием аппаратуры без механического сканирования на базе двумерных ИК-приемников.

Сегодня можно условно выделить четыре поколения развития такой техники [2,4].

Нулевое поколение основано на применении единичных охлаждаемых приемников и двумерной (строчной и кадровой) развертки с помощью сканирующей оптико-механической системы [5];

Первое поколение - на применении строчных линеек приемников и упрощенной кадровой развертки [5];

Второе поколение - на использовании сгруппированных нескольких линеек (с временной задержкой и накоплением) и низкоскоростной системой развертки. Ко второму поколению относят вакуумные приборы с электронным сканированием приемной мишени –пироконы [5].

Принципиально новое третье поколение основано на применении «одновременно смотрящих» - фокально-плоскостных (FPA - Focal Plate Area) и двумерных твердотельных многоэлементных (матричных) приемников излучения (МПИ), то есть без использования оптико-механических систем развертки [6];.

Первые тепловизионные приборы для медицинской диагностики использовали одноэлементные или линейные матричные приёмники излучения.

Это потребовало разработки сканирующих тепловизоров, в которых использовался метод развертывающего преобразования, предложенный советским ученым Ф. Е. Темниковым.

Одной из главных характеристик таких систем сканирования является время, необходимое для анализа теплового поля. С этой точки зрения оптико-механические системы сканирования условно классифицируют на три вида: низкоскоростные (время анализа поля $T_k > 20$ с), среднескоростные ($0,5 < T_k < 20$ с) и высокоскоростные ($T_k < 0,5$ с).

В ГОИ им С.И. Вавилова под научным руководством члена корреспондента РАН М.М. Мирошникова [2] с 60 годов прошлого столетия проводились последовательные разработки всех типов сканирующих тепловизоров. Результатом этих разработок для применения в народном хозяйстве и медицине в промышленность были внедрены разработки тепловизоров «Янтарь-МТ», «Статор-1», Вулкан, Тайга-2 , «Рубин-1» («Рубин-МТ»), «Радуга-2», «Радуга-МТ» [5]

На современном этапе широко используются матричные тепловизоры

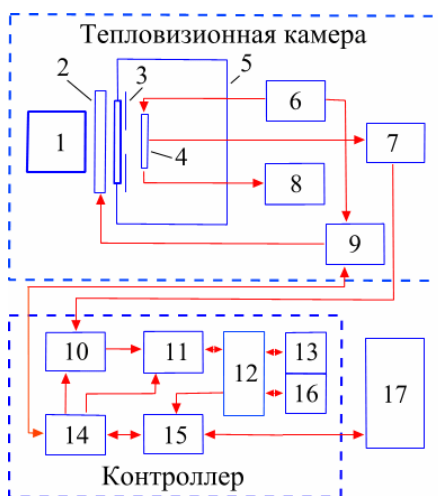


Рис.1 Типовая блок-схема матричного тепловизора [4,5,6,7]

с неохлаждаемыми болометрическими матрицами 4^{го} и 5^{го} поколения. Типовая блок-схема современных тепловизоров представлена на рисунке 1.

Среди зарубежных тепловизионных систем можно отметить тепловизоры:

- Тепловизор IR235B, позволяющий высокоэффективно выделять объекты с повышенной температурой из движущейся толпы
- Новые тепловизоры TH9100SL и TH9100MR/WR разработанные специально для применения в медицине. Уникальная лицензионная матрица 5-го поколения совместного производства США/Япония позволила добиться температурного разрешения в 0,06°C и 0,02°C, соответственно, при погрешности измерения в пределе ±1°C. (см Табл.1)

Табл.1.

	
<p>Тепловизор IR235B Источник http://teplovizor.com/images/catalogue/index.php4?sel=1181045317 Спектральный диапазон 8-14 мкм. Размер элемента 35x35 мкм. Температурная чувствительность 0.08°C. Температурный диапазон +20°C - +45°C. Частота кадров 50 Гц/60 Гц. Поле зрения 20°x15°. Пространственное разрешение 1 мрад.</p>	<p>Тепловизор NEC TH9100 MR/WR Источник http://www.necsan-ei.ru/TH9100WR.php Спектральный диапазон 8 - 14 мкм Диапазон измерений -20°C - +100°C*. Минимально различаемая разность температур 0.02°C при 30°C. Детектор (микроболометр), 320x240эл. Угловое поле зрения 21.7°x 16.4°. Поле зрения IFOV 1.2 мрад Диапазон фокусировки От 30 см до ~</p>

В связи с использованием принципа накопления информационного сигнала матричные тепловизоры при прочих равных условиях выигрывают у сканирующих систем по совокупности таких параметров, как надежность, чувствительность, быстрдействие и пространственное разрешение.

С помощью современных тепловизоров можно обнаружить опухоли размерами в несколько миллиметров, чего не позволяет сделать никакой другой метод.

Однако дальнейшее совершенствование медицинских тепловизоров и тепловизоров для оперативного контроля и выявления инфицированных больных в аэропортах, на паромных причалах, железнодорожных станциях обусловлено следующими новыми тенденциями в развитии тепловизионной техники для военных применений: так, в последние годы

- разработан унифицированный ряд многооконных модулей, предназначенных для использования в ОЭС различного назначения;

- созданы макетные образцы модулей матричных двухоконных устройств (ФПУ) на 3–5 и 8–12 мкм на основе структур с квантовыми ямами (КЯ) и матричных микроболометрических приемников излучения.

В наибольшей степени требованиям на разработку многооконных систем удовлетворяют фотоприемники на основе квантово-размерных эффектов (КРЭ), физические структуры которых могут быть получены методами молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), позволяющей формировать на подложке монокристаллические п/п слои с необходимыми свойствами вплоть до моно атомной толщины. В качестве технологического обеспечения для указанных работ могут быть использованы, например, результаты разработки гетеро-эпитаксиальных структур GaAs/AlGaAs и GaAs/CdHgTe методом молекулярно лучевой эпитаксии МЛЭ. Такие структуры были названы матричными ИК- приемниками на квантово-размерных колодцах - QWIP матрицами. В 90-е годы XX века появились тепловизионные приборы на QWIP-матрицах с высокой технологичностью, воспроизводимостью, однородностью параметров по элементам с форматом 256x256, 320x240, 320x256, 640x512 и 1024x1024 элемента. Полученная чувствительность довольно высока: у лучших приборов NETD даже ниже 10 мК, типовых – 20 мК, средних – 35 мК. QWIP-матрицы обладают способностью управления спектральной чувствительностью и возможностью перейти в будущем от гибридных структур фокальных матриц к монолитным [10...17].

Расширение области чувствительности этих фокальных фотоприемных матриц, первоначально названных QD оптоэлектронными приборами (наноструктуры с так называемыми квантовыми точками - quantum dots), получившими в последствии название QWIP матрицы, - матрицы ИК-фотоприемников с множественными квантовыми ямами (структура AlGaAs/GaAs), осуществлялось постепенно.

Принципы расширения чувствительности QWIP матриц были описаны в статьях Российских исследователей и в исследовании зарубежных специалистов и заключаются в том, что варьированием размеров двух квантовых колодцев, расположенных на нанометровых расстояниях друг от друга и управлением электрических смещений в каждом из колодцев, можно добиться взаимодействия удерживаемых электронов с фотонами разных областей спектра.

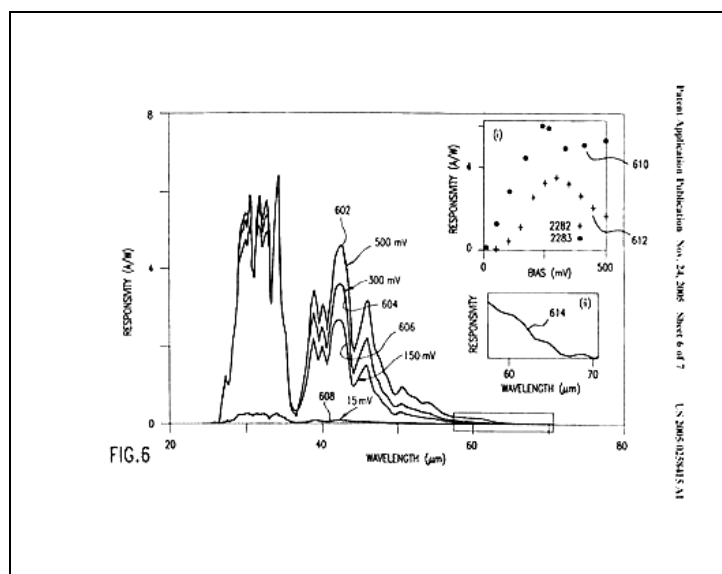


Рисунок 2 - Области чувствительности двухспектральной QWIP матрицы по патенту USP 20050258415, November 24, 2005, [17]

Как видно из рисунка 2 новые QWIP матрицы уже имеют области чувствительности в длинноволном ИК- диапазоне и в дальнем ИК- диапазоне-ТГц

диапазоне спектра электромагнитных колебаний. В соответствии с работой [19] интерес к терагерцовому излучению обусловлен следующими его свойствами:

- это неионизирующее излучение (энергия фотонов 0,04 – 0,004 эВ);
- это излучение хорошо проходит через мутные среды и

мелкодисперсные материалы из-за резкого подавления рэлеевского рассеяния ($1/\lambda^4$);

- это область вращательных спектров молекул, колебаний биологически важных коллективных мод ДНК и белков, колебаний твердотельной плазмы;

- это область водородных связей и вандерваальсовских сил межмолекулярного взаимодействия;

Другими словами, применение дополнительных диапазонов анализа тепловых полей человека позволит регистрировать не только поверхностную радиационную температуру, но и выявлять новые данные по тепловым полям, ответственным за подповерхностные процессы в организме.

В результате последних отработок в ГОИ подошли к построению тепловизионных систем 3 поколения [21] и выработаны технологические и конструктивные решения по построению комплексированных систем широкой области спектра. Основываясь на патенте [20], коллективом авторов настоящей статьи отработаны алгоритмические задачи совместного представления информации, формируемой двумя различными потоками, дифракционные пределы которых отличаются на порядки [18]. В ходе проведенных исследований осуществляется поиск прорывных технических и конструктивных решений, разработка новой элементной и технологической базы, совершенствование программного обеспечения, оптимизация массогабаритных характеристик и стоимостных показателей по построению медицинской аппаратуры пассивно- активного наблюдения в ИК и ТГц диапазонах электромагнитных колебаний (ЭМК). Активный подсвет в ТГц диапазоне может позволить анализировать глубинные воспалительные процессы в организме человека.

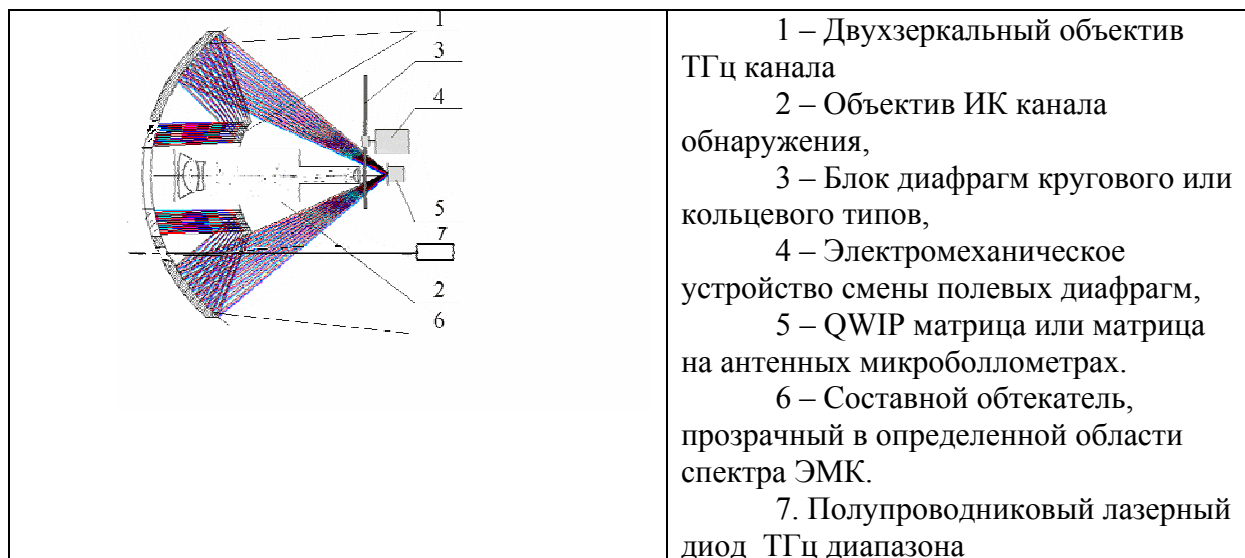


Рис 3. Схема активно-пассивной комплексированной системы ИК и ТГц диапазонов спектра ЭМК [23] .

Основной ИК канал работает на трёх, четырёх линзовом широкоугольном германиевом объективе, который встраивается в свето-пустотелую область двух зеркального объектива предназначенного для ТГц диапазона. Решение задачи с дифракционным пределом (т.е. получение изображений со сверх-разрешением в ТГц

диапазоне, по сравнению с длинноволновой областью ИК излучения изложены в статье авторов [18].

Решение задачи использования активного подсвета в ТГц области открываются с созданием лазеров на полупроводниковых лазерных диодах [22] и позволяет построить конструкцию с отдельным окном вывода ТГц излучения из оптической головки комплексированной системы (см. Рис 3).

Применение новых тепловизионных систем, чувствительных в области спектра длинноволнового ИК-диапазона (7,5...14 мкм) и ТГц- диапазона (30...300 мкм) может привести к существенному расширению возможностей и увеличению точности постановки медицинской диагностики и выявления инфекционных больных, т.к. тепловое излучение ТГц- диапазона (30...300 мкм) позволяет принимать информацию от областей тела человека, расположенных под кожным покровом.

Список использованной литературы:

- 1 Тепловизор в медицине. Буклет фирмы Flir, <http://www.flir.ru/art/9/13/37.html>
- 2 М.М. Мирошников Теоретические основы оптико-электронных приборов : учебное пособие для втузов / М. М. Мирошников . – Л. : Машиностроение, 1977 . – 600 с.
- 3 Волков В. Г., к. т. н. Многоканальные приборы ночного видения наземного применения. журнала «Специальная техника» http://st.ess.ru/publications/2_2001/volkov/volkov.htm
- 4 Волков В. Г, Ковалев А. В, Федчишин В. Г. Тепловизионные приборы нового поколения file, журнала «Специальная техника». http://st.ess.ru/publications/6_2001/volkov/volkov.htm
- 5 Схемы и параметры тепловизоров с оптико-механическим сканированием – Тепловизоры Сайт электрические сети <http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/teplovizory-5.html>
- 6 Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. -М.: Логос, 2004
- 7 Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Некоторые пути совершенствования тепловизионных систем, "Специальная Техника" №2 2004 год.
- 8 Alan H Lettington, Isaiah M Blankson, Magdy Attia, Dennis Dunn *Review of imaging architecture*, Proceedings of SPIE Vol. 4719 (2002) p.327
- 9 Певцев Е., Чернокужнин В. Матричные ИК-приемники для малогабаритных тепловизионных камер.//Электронные компоненты. 2001, № 1, с. 32 – 36, 2001, № 2, с. 30 – 34, 2001, № 3, с. 12 – 20.
- 10 Antoni Rogalski, Infrared detectors: status and trends, Review, Progress in Quantum Electronics 27 (2003) 59–210. <http://www.antoni.rogalski.strona.pl/Status.pdf>
- 11 Г.С. Мельников. Квантовые точки и квантовые колодцы – нанотехнологии. Портал МГУ Нанометр, 2009 г., http://www.nanometer.ru/2009/02/18/kvantovanie_60223.html
- 12 Г.С. Мельников, Нанотехнологии «идут» к тепловидению, Российская национальная нанотехнологическая сеть , <http://rusnanonet.ru/articles/25715/>
- 13 Gilad Almogy, Yuanjian Xu, Andrew Tong, Ali Shakouri, and Amnon Yariv Monolithic integration of quantum well infrared photodetector and modulator 1996 American Institute of Physics., S0003-6951~96!00415-5

- 14 К. Л. Литвиненко, Й.М. Хвам, В.Г. Лысенко Влияние свободных электрон дырочных пар на насыщение экситонного поглощения в GaAs/AlGaAs-квантовых ямах Физика твердого тела, 1998, том 40, № 6
- 15 Nishino Hiroshi. Photodetector, Patent JP2002320148, 2002-10-31 (Priority number: JP20010126282 20010424)
- 16 Gunapala, Sarath D. ; et al. Multi-quantum-well detector for low-background applications USP 20020074542, June 20, 2002
- 17 Perera, A.G. Unil ; et al. Heterojunction far infrared photodetector. USP 20050258415, November 24, 2005
- 18 Г.С. Мельников, Н.А. Клишо, В.М. Самков, Ю.И. Солдатов, Э.Д.Панков, В.В. Коротаев Метод реализации режима сверхразрешения при комплексировании субмиллиметрового и ИК-диапазонов на двух диапазонных QWIP матрицах. Известия ВУЗов, Серия Приборостроение №9, 2008 г., г. Санкт-Петербург.
- 19 Отчет за 2005 г., Российская Академия Наук, Программа фундаментальных исследований Президиума РАН N29 «Электромагнитные волны терагерцового диапазона»
- 20 Мельников Г.С., Донцов Г.А., Попов А.С., Ошарин А.А., Серов И.Н., Снурницына Н.Б., Архипова Л.Н., Гальперн Л.А., Тарабукин В.В., Васильев Е.А., Белобородов В.П., Козырева Т.А. «Способ создания семейства комплексированных систем наблюдения распознавания и прицеливания, на основе семейства универсальных объективов и комплексированная система для его реализации». Патент РФ ОАО «ТКС-Оптика», Патент РФ №2273036 по Заявке № 2003125383, Приоритет изобретения 18 августа 2003 г.
- 21 Сайт НПК ГОИ им. С.И. Вавилова. Направление деятельности -> Оптико-электронные приборы -> Тепловизионная техни...
<http://www.npkgoi.ru/?module=articles&c=profil&b=3&a=5>
- 22 В.Я.Алешкин, А.А. Афоненко , А.А.Бирюков, А.А. Дубинов, В.И.Гавриленко, Вл.В.Кочаровский, К.В.Маремьянин, С.В.Морозов, С.М.Некоркин, Б.Н.Звонков, Н.Б.Звонков Проект 1.3. Параметрическая генерация излучения терагерцового диапазона в полупроводниковых лазерных диодах и волноводах, В сб. Программа фундаментальных исследований Президиума РАН №29, «Электромагнитные волны терагерцового диапазона» , Отчет за 2005 г., Новосибирск 2005 г
- 23 V.V. Korotaev (1), G.S. Melnikov (2), V.M. Samkov (2), Y.I. Soldatov (2). Active / passive combination of IR and THz surveillance/ODF'10 Yokohama