

УДК 621.035

ВОЗДУШНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ИСТОЧНИКОВ В ГРУНТЕ (Аналитический обзор исследований в России)

В. И. Барин

Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации, Москва, Россия

Дан обзор современного состояния конверсионных исследований и разработок в России инфракрасной аппаратуры и бортовых комплексов для оперативного обнаружения тепловых источников в грунте с борта летательного аппарата.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Успехи, достигнутые за последние полвека в освоении инфракрасного (ИК) диапазона электромагнитного спектра, привели к созданию разнообразной аппаратуры научного, промышленного и военного назначения.

К разработке и эксплуатации этой аппаратуры во всем мире привлечен большой круг специалистов, объединяющих в своем лице достижения в области физики, прикладной оптики и электроники.

Можно сказать, что эра ИК-техники началась в 1940 г. после изобретения в Германии чувствительного к ИК-лучам фотоприемника на базе PbS [1]. В дальнейшем, особенно в послевоенное время, последовательно появились полупроводниковые фотоприемники (с внутренним фотоэффектом) на базе PbSe, InSb, тройного соединения типа CdHgTe, т. е. кадмий — ртуть — теллур (КРТ), на основе германия и кремния, легированных различными примесями, и ряд других материалов, чувствительных ко все более длинноволновой части ИК-спектра.

С точки зрения задач тепловидения и дистанционного обнаружения тепловых источников, наиболее интересен участок спектра 3—12 мкм, включающий в себя несколько окон прозрачности в атмосфере и соответствующий квантовому максимуму излучения многих типовых “теплых” (не слишком горячих!!) объектов (с температурой от комнатной до нескольких сотен градусов Цельсия). Вышеуказанные приемники, т. н. фотоэлектрические, как основанные на внутреннем фотоэффекте и полупроводниковой технологии (в виде фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов и тому подобных элементов), отличаются относительно резко выраженной спектральной селективностью в соответствии со своими фундаментальными принципами действия. Наиболее представительными из них для сегодняшних задач тепловидения являются фотоприемники на основе антимонида индия InSb, функционирующие обычно при температуре жидкого азота и применяющиеся в диапазоне 3—6 мкм, а в диапазоне 8—12 мкм — на базе вышеупомянутого тройного соединения CdHgTe при криогенных температурах, вплоть до температуры жидкого гелия (4,2 К). Современным этапом развития этой техники является создание фотоприемных устройств, состоящих из одного или множества фотоэлектрических элементов, преобразующих оптическое излучение в электрический сигнал, и схемы предварительной обработки фотосигнала (например, схем сопряжения, усиления, коммутации, стабилизации рабочей точки и так далее), объединенных в единый корпус и выполненных на основе гибридной или интегральной технологии [2]. Высшим уровнем этого направления считаются т. н. фоточувствительные многоэлементные приборы с переносом заряда, в которых функции коммутации сигнала осуществляются в самом объеме полупроводникового материала. Различают две разновидности

этих приборов — фоточувствительные с зарядовой связью и фоточувствительные с зарядовой инжекцией.

Одновременно развивались и неселективные фотоприемники, т. е. тепловые фотоприемники, где основополагающим является термическое воздействие излучения, изменяющее какой-либо параметр материала. Для названных целей наиболее важными оказались пироэлектрические приемники излучения, использующие пироэлектрический эффект ряда кристаллов, а также термоэлектрические (т. е. использующие эффект возникновения термоЭДС). Хотя их чувствительность ниже охлаждаемых полупроводниковых фотоприемников, но они могут использоваться без охлаждения и в очень широкой полосе ИК-излучения (вплоть до микроволновой области спектра). Здесь реализуется также технология тепловых приемных устройств, объединяющих в едином корпусе один или несколько чувствительных элементов и схемы предварительного усиления и обработки электрического сигнала.

Не потеряли своего значения (в коротковолновой части ИК-диапазона или для ночных условий) и фотоэлектронные приемники (с внешним фотоэффектом), особенно в виде электронно-оптических преобразователей (ЭОП), которые являются основой ночных биноклей и прицелов.

В настоящее время можно говорить о новом этапе в развитии ИК-техники. Первые и наиболее очевидные применения ИК-техники относились к военной области — наблюдение и разведка зоны боевых действий, инфракрасные (ночные) прицелы и бинокли, ИК-головки самонаведения ракет типа “воздух — воздух”, тепловизионные головки наведения управляемых ракет типа “воздух — земля” и т. д. Однако потребности развития промышленности, медицины, космических исследований и многих других направлений деятельности чрезвычайно расширили потенциальную область применения разработанной ИК-техники, более того, уже стали во многом предопределять наиболее существенные линии ее совершенствования.

Проблема воздушного (т. е. с авиационного борта) обнаружения тепловых источников также возникла первоначально из потребностей военной разведки и наблюдения. Однако сейчас эта технология считается незаменимой при создании теплового кадастра городских кварталов, обнаружении утечек в нефтегазопроводах и теплотрассах, фиксации потерь тепла на электро- и теплоэнергетических предприятиях. Эта задача близко примыкает к проблеме дистанционного зондирования Земли из космоса — примыкает как по аппаратурным признакам, так и по методическим, так как часто результаты воздушного наблюдения в ИК-диапазоне являются исходными данными для абсолютной калибровки соответствующих оптических приборов на космических аппаратах.

В настоящее время уровень развития ИК-техники, ее элементной и аппаратурной базы, а также комплексного сопряжения ее с другой измерительной техникой, особенно базирующейся на мобильных носителях, является своеобразным мериллом технического и технологического развития любой промышленно развитой страны.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ

Инфракрасная техника — составная часть электронной техники и опирается, в конечном итоге, на ее общие достижения. По квантовой электронике, микрофотоэлектронике, микроволновой технике, средствам отображения информации, полупроводниковым приборам российская промышленность занимает одно из ведущих мест в мире. В последние годы наметилось отставание в микроэлектронике, что связано с отсутствием, в первую очередь, заводов со сверхчистыми

условиями производства [3]. Можно ожидать, что для дальнейшего прогресса отечественной электроники чрезвычайно важную роль сыграет Российская Государственная Программа развития электронной техники, одобренная Правительством Российской Федерации в 1994 г. [4].

По словам А. С. Андреева, начальника Департамента электронной промышленности Миноборонпрома, Программа предусматривает выход к 2000 г. отечественной электроники на уровень, обеспечивающий производство законченной продукции на ее основе, соответствующей мировым стандартам и конкурентоспособной, необходимой для сохранения и развития экономического и оборонного потенциала России и вместе с тем кардинального структурного изменения существующего экспорта.

Для этого требуется:

разработать новые технологии создания электронной техники, определяющие технический уровень систем информатики, управления, связи, транспорта, медицины, вооружения и военной техники, товаров народного потребления, приборов и устройств топливно-энергетического комплекса и других важных приложений;

разработать субмикронные технологии с минимальными топологическими размерами (0,3—0,1 мкм), обеспечивающие создание схем с уровнем интеграции до 10 млрд. элементов на кристалл (в настоящее время этот показатель не превышает 5 млн. элементов на кристалл на базе технологий уровня 2—1,5 мкм);

создать новое поколение СВЧ-приборов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов с повышенной выходной мощностью, плоские экраны для телевизоров и мониторов, крупноформатные кинескопы с высоким разрешением, твердотельные лазеры с повышенным КПД;

организовать современные производства конкурентоспособных на мировом рынке изделий электронной техники;

создать производственные мощности, обеспечивающие к 2000 г. увеличение объемов производства с учетом их новых технологических модификаций:

интегральных схем — в 5,7 раза;

полупроводниковых приборов — в 1,7;

резисторов — в 1,4;

конденсаторов — в 2,5;

кинескопов — в 2,1;

соединителей — в 4,4 раза.

Программа включает в себя четыре взаимовязанные подпрограммы, определяющие ее основные задачи и пути их решения:

электронная элементная база;

фундаментальные и поисковые исследования;

электронные технологии;

ресурсное обеспечение.

Программа, наряду с электронизацией народного хозяйства, предусматривает обеспечение систем оружия и военной техники современными изделиями электронной техники, так как электронная технология по своему содержанию универсальна и является технологией двойного применения.

Не имея здесь возможности детально анализировать всю Программу, отметим, что в области ИК-техники поставлена задача создания базовых технологий для разработки фотоприемных устройств (ФПУ) на основе материалов КРТ (кадмий — ртуть — теллур), группы A_3B_5 и других с предельной пороговой чувствительностью до $2 \cdot 10^{-15}$ Вт/элемент, областью спектральной чувствительности в диапазоне 1,5—25,0 мкм и числом элементов матричных ФПУ до $4 \cdot 10^6$, что:

позволит в десятки раз увеличить способность обнаружения объектов на фоне излучения Земли и холодного неба, дефектов тепло- и газопроводных сетей.

Реализация всей Программы потребует вложения инвестиций на период 1994—2000 гг. в объеме около 15 000 млрд. руб. в ценах I квартала 1994 г., в том числе на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) предусматривается 7300 млрд. руб. Финансирование Программы обеспечивается как за счет государственного бюджета (45—47 %) и собственных средств предприятий, так и за счет привлечения частного капитала и иностранных инвестиций (~5 %).

Нельзя оставить в стороне проблему космического дистанционного зондирования Земли, в том числе и в тепловом (инфракрасном) диапазоне. Являясь более глобальной задачей по сравнению с воздушным наблюдением тепловых источников в грунте или на земной поверхности, она, с аппаратурной точки зрения, часто близка к проблематике авиационного дистанционного контроля, а с методической точки зрения данные авиационного контроля во многих случаях выступают в роли калибровочных данных для приборов, установленных на космических аппаратах (КА).

В России задачи дистанционного зондирования Земли отнесены к числу важнейших, приоритетных задач космической техники. Они включены в виде специального раздела в Федеральную космическую программу России на период до 2000 г., одобренную Правительством Российской Федерации.

Государственным заказчиком работ по Федеральной космической программе России является Российское космическое агентство [5].

Реализация указанного раздела космической программы, по мнению Председателя Российского космического агентства Ю. Н. Коптева, позволит повысить эффективность использования Северного морского пути, снизить затраты на геологическое изучение территории и инвентаризацию сельскохозяйственных и лесных угодий, запасов воды, прогнозировать урожай по всем районам России, определять и прогнозировать биопродуктивность новых районов промысла в океане, контролировать опасное антропогенное воздействие на среду обитания. Будет обеспечен оперативный сбор информации о состоянии атмосферы, морей и океанов, ледового и снежного покровов в интересах прогнозирования погоды, а также контроля озонового слоя Земли.

Повысятся эффективность решений по созданию мелиоративных и водохозяйственных объектов за счет создания соответствующих картографических материалов, надежность полетов самолетов, безопасность мореплавания, оперативность выявления катастрофических явлений (пожары, сели, лавины, наводнения, загрязнения биосферы и т. д.).

В России для решения задач дистанционного зондирования Земли используются:

подсистема метеоспутников "Метеор-2" и "Метеор-3";

подсистема спутников детального (фотографического) наблюдения "Ресурс-Ф1" и "Ресурс-Ф2";

подсистема спутников оперативного наблюдения суши "Ресурс-01" и Мирового океана "Океан-01".

Кроме того, в интересах мониторинга природной среды проводятся съемки Земли с борта пилотируемой станции "Мир". В течение ряда лет (до конца 1992 г.) обеспечивалась опытная эксплуатация станции "Алмаз", в результате чего накоплен большой массив радиолокационных снимков по территории Рос-

сии и других стран. В 1994 г. был осуществлен запуск первого российского геостационарного метеоспутника "Электрo".

Ниже в качестве примера приведен перечень аппаратуры космического аппарата "Электрo", обеспечивающей дистанционное зондирование Земли:

бортовой телевизионный комплекс (БТВК) — спектральные диапазоны 0,46—0,7 мкм (видимый) и 10,5—12,5 мкм (ИК), разрешение 1,0—1,5 км (видимый) и 5—8 км (ИК), полоса обзора 13 500x13 500 км;

радиационно-магнитометрическая система (РМС);

бортовой передающий радиотехнический комплекс — несущая частота 7465 МГц, информативность 2,56 Мбит/с;

бортовой ретрансляционный радиотехнический комплекс (БРРК) для передачи, сбора (в том числе от платформ сбора данных) и ретрансляции информации.

Применительно к космическому аппарату "Ресурс-01" этот перечень выглядит следующим образом:

многозональная съемочная система высокого разрешения — разрешение на местности 20 м, полоса захвата 45 км в зоне обзора ± 350 км, число спектральных зон 3 (0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,8—0,9 мкм);

многозональная съемочная система среднего разрешения — разрешение на местности 150 м (600 м — в ИК-диапазоне), ширина полосы захвата 600 км, число спектральных зон 6 (0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8; 0,8—1,1; 10,4—11,4; 11,4—12,6 мкм);

радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) — длина волны 3,5 см, разрешение 25 м (режим детальной съемки), 100—200 м (режим обзорной съемки), полоса обзора 100 и 400 км соответственно для двух режимов.

Как видим, в составе аппаратуры этих (и других) космических аппаратов (КА) достаточно заметное место занимают средства теплового (инфракрасного) мониторинга Земли.

В сегодняшних условиях космический эшелон диагностических средств дополнен наземным комплексом приема, обработки и распространения космической информации (НКПОР). Наряду с обеспечением приема и обработки информации от космических станций дистанционного зондирования Земли, в ближайшее время должна быть создана сеть наземных платформ сбора данных (ПСА) для непосредственного измерения важнейших характеристик природной среды и последующей передачи этих данных с помощью КА в наземные центры НКПОР.

Успех названных программ, а также возможных многочисленных приложений зависит от интенсивности совершенствования элементной и аппаратурной базы инфракрасной техники, в частности, тепловизионной.

Принцип работы тепловизионных приборов (ТП) основан на приеме теплового (инфракрасного) излучения от объекта, усиления и преобразования сигнала в видимое излучение и формирование визуального изображения на экране дисплея.

В Российской Федерации принята концепция модульного построения тепловизоров, которая позволяет унифицировать основные типы тепловизионной техники [6]. По применению и техническим характеристикам осваивается производство трех классов ТП: носимых — для наблюдения и регистрации температуры различных объектов; прицелов для пусковых установок противотанковых управляемых реактивных снарядов (ПТУРС); наблюдательных приборов и прицелов бронетехники.

К первому классу ТП относятся приборы для пограничных, поисково-спасательных и правоохранительных служб, для обеспечения безопасности и

охраны объектов, контроля качества и эксплуатационных свойств промышленных и жилых зданий, теплосетей, линий электропередачи, газопроводов и других объектов. Температурное разрешение приборов лежит в пределах 0,15—0,2 °С, а дальность видимости — до 2 км.

Ко второму классу относятся приборы “Тракт”, “Мулат-115”, “Сокол”, применяемые в качестве прицелов к пусковым противотанковым установкам типов “Фагот”, “Конкурс” и “Метис-М”, имеющие температурное разрешение 0,2 °С и дальность видимости 1,6 км.

Приборы третьего класса предназначены для наблюдения за полем боя и прицеливания, для разведки открыто расположенных и замаскированных целей в любое время суток и при наличии различных атмосферных помех: дождя, пыли, густого дыма и тумана. Они устанавливаются на бронетехнику, автомобили или на треногу. Дальность обнаружения цели типа танк — до 3 км. К таким ТП относятся “Агава-2”, “Корнет”, ТПН-1.

Работы, проводимые в Российской Федерации по Программе развития тепловизионных приборов, позволят уже в 1996 г. существенно повысить технические характеристики ТП, в том числе температурное разрешение, дальности обнаружения и распознавания объектов.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТНОЙ И АППАРАТУРНОЙ БАЗЫ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКИ

Применительно к задаче изучения современного состояния воздушного обнаружения тепловых источников в грунте анализ совершенствования отечественной элементной и аппаратурной базы тепловидения носит важный, но все-таки подчиненный характер. Ограниченные рамки обзора не позволяют детально углубляться в эту проблему, которая, безусловно, заслуживает отдельного и самостоятельного рассмотрения. Поэтому здесь будут рассмотрены только некоторые характерные работы последнего времени.

Отметим, что лидерами в развитии ИК-техники в России являются Всероссийский научный центр “Государственный оптический институт имени С. И. Вавилова” (ГОИ Санкт-Петербург), Центральный научно-исследовательский институт “Электрон” (Санкт-Петербург), Научно-производственное объединение “Орион” и “Геофизика” (Москва), Государственный институт прикладной оптики (ГИПО, Казань) и ряда других организаций. Крупнейшим конструкторским и производственным центром инфракрасной аппаратуры служит Производственное объединение “Азовский оптико-механический завод” (АОМЗ, г. Азов Ростовской обл.). Важную роль в научной жизни России играет Оптическое общество имени Д. С. Рождественского, в котором имеется научно-техническая секция “Тепловидение”. Штаб-квартира Оптического общества находится в Санкт-Петербурге (на базе ГОИ).

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

Для дистанционного наблюдения особый интерес представляют два диапазона — средневолновый ИК-диапазон с $\lambda = 3\text{--}5$ мкм и с $\lambda = 8\text{--}14$ мкм, имеющие окна прозрачности в атмосфере.

Так как в большинстве случаев применения систем тепловидения и теплообнаружения на фоне Земли основными классами объектов являются объекты с естественной температурой либо с небольшим тепловым контрастом относительно естественного фона, для которых максимум излучения приходится на длину волны $\lambda = 9,6$ мкм, целесообразно при конструировании аппаратуры ориентироваться на диапазон $\lambda = 8\text{--}14$ мкм.

При температуре 300 К плотность излучения в диапазоне $\lambda = 8-14$ мкм выше, чем в диапазоне $\lambda = 3-5$ мкм приблизительно в 30 раз.

В указанном длинноволновом ИК-диапазоне в качестве датчиков широко используются, как уже было сказано, твердотельные датчики на линейках КРТ и на матрицах с диодами Шоттки, а также датчики на пировидиконах.

До последнего времени в бортовых системах датчики на пировидиконах практически не применялись из-за их низкой виброустойчивости, малой чувствительности и невысокой разрешающей способности.

Возможности использования пировидиконов на борту летательных аппаратов резко возросли в связи с разработкой специалистами ЦНИИ "Электрон" принципиально нового пировидикона — супервидикона с докоммутиационным усилением в мишени, чувствительность которого (50 мкА/Вт) в 10 раз превышает чувствительность серийного пировидикона ЛИ-492. Датчик имеет виброустойчивость до 5 g в диапазоне до 500 Гц и разрешающую способность до 400 телевизионных линий. Указанные сведения о супервидиконе приведены в работе [31], где одновременно сообщается об одном из вариантов его практического применения в уникальной телетепловизионной системе с синтезом единого изображения.

Увеличение чувствительности в супервидиконе достигнуто за счет того, что в нем предусмотрено дополнительное усиление внутри мишени. В обычном пировидиконе ИК-излучение образует на его мишени тепловую картину, которая вызывает соответствующее изменение поляризации мишени и индуцирование на обратной ее стороне потенциального рельефа, который и считывается электронным лучом, формируя ток сигнала.

Разрешающая способность супервидикона повышена за счет использования дискретной мишени.

Продолжается и ряд других интересных исследований в целях развития элементной базы ИК-техники в области охлаждаемых датчиков.

В работе [7] сотрудников Государственного оптического института рассмотрены проблемы совершенствования фотоприемных устройств ИК-диапазона на основе примесного германия.

Германий Ge — первый полупроводниковый материал, для которого были разработаны процессы получения монокристаллов высокой чистоты и контролируемого введения примесей. Существуют германиевые фотоприемники, рассчитанные на область спектра 20–130 мкм. Наибольшее распространение получил Ge:Hg, максимум чувствительности которого находится в диапазоне 8–14 мкм. Фотоприемники и фотоприемные устройства на основе Ge:Hg находят применение в современной аппаратуре, используемой в тепловидении, теплопеленгации, астрономии и других областях науки и техники. Именно этому фотоприемнику и посвящена в основном обсуждаемая статья [7].

В монокристаллах германия в результате механической обработки (резка, шлифование, полирование) появляются нарушенный поверхностный слой и поверхностная проводимость, являющаяся причиной избыточного шума фотоприемника. Для исследования поверхностной проводимости измерялась зависимость объемной проводимости и постоянной Холла от температуры.

В работе конкретно изучены зависимость удельной проводимости и постоянной Холла от температуры охлаждения, причем эти зависимости существенно отличаются для разных температур предварительного отжига в вакууме. На рис. 1 приведены экспериментальные данные по удельной проводимости, на рис. 2 — соответствующие данные для постоянной Холла.

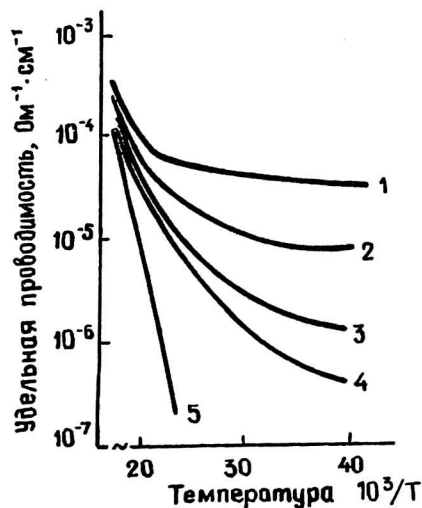
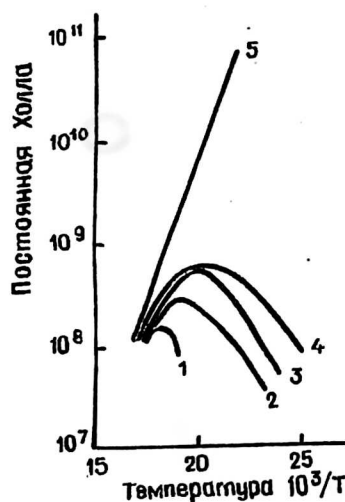


Рис. 1. Зависимость удельной проводимости от температуры охлаждения при разной температуре отжига T :
1—295 К; 2—473 К; 3—573 К; 4—673 К; 5—773 К

Рис. 2. Зависимость постоянной Холла от температуры охлаждения. Обозначения кривых 1—5 — такие же, что и на рис. 1



Для устранения избыточной проводимости применялось травление в течение 10—15 с, т. е. оказалось достаточным стравить 0,10—0,15 мкм поверхности германия.

Рассмотрены также технологии формирования малолумящих индиевых контактов. Исследовалась процедура выбора оптимальной концентрации примесей. Дальнейшая разработка фоторезисторов из Ge:Hg, в том числе многоэлементных и малоразмерных, проводилась на материале с концентрацией ртути $1,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и концентрацией компенсирующей примеси $(1,5—2,0) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Приводятся данные по конструкции блока многоэлементного фотоприемника в виде линейки элементов в форме усеченных прямоугольных параллелепипедов. Элементы такой формы имеют плоские непрозрачные электрические контакты на двух противоположных гранях кристалла. Приемные площадки на верхней грани кристалла выделяются методом фотолитографии. Другой контакт, находящийся на противоположной грани от приемной площадки, используется для напайки фоточувствительного элемента на электродный растр.

На рис. 3 изображен блок фоточувствительных элементов.

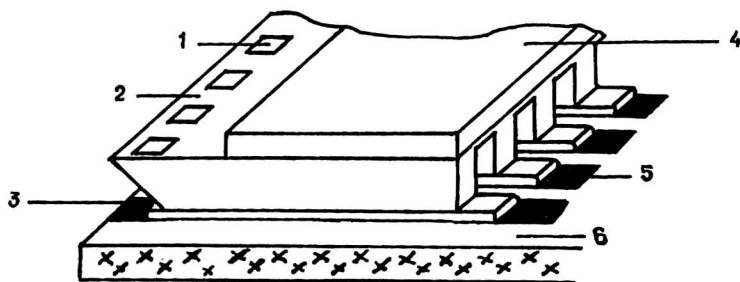


Рис. 3. Блок фоточувствительных элементов:
1 — приемные площадки; 2 — металлизация; 3 — припой; 4 — кристаллодержатель;
5 — электронная дорожка; 6 — лейкосапфировая пластина

В этой работе приведена конструкция разработанного фотоприемника с газовой криогенной машиной. Исследованы характеристики такого приемника, которые сравниваются с аналогичными на базе КРТ. Ввиду высокой стоимости материала КРТ (из-за больших технологических трудностей) фотоприемники из примесного германия могут вполне выступать во многих случаях как альтернатива, удовлетворяя всем требованиям, предъявляемым к оптико-электронным системам тепловидения, тепlopеленгации и астрономии. Однако из-за необходимости более грубого охлаждения, повышенных энергопотребления и массы фотоприемники на Ge:Hg не будут, видимо, использоваться в портативных легких тепловизионных и тепlopеленгационных приборах. Там же, где требования к габаритным размерам, массе и энергопотреблению не являются решающими, достоинства фотоприемников на основе примесного германия несомненно привлекают внимание разработчиков оптико-электронных систем.

Важную роль в ИК-технике продолжают играть датчики на основе термоэлектрического эффекта.

В работе [8] коллектив авторов представил результаты изучения созданного ими координатно-чувствительного анизотропного термоэлектрического приемника излучения. В случае регистрации излучения лазера координатная чувствительность приемника составила $S_x = 10$ мкВ/мм и $S_y = 15$ мкВ/мм.

Такой приемник неселективного излучения вследствие своей широкополосности может применяться в различных автоматических устройствах, локационных установках, при ближней и дальней навигации.

В работе ГОИ [9] представлен обширный обзор современных полупроводниковых термоэлектрических приемников излучения. Отмечено, что они являются наиболее распространенными тепловыми приемниками.

Многие годы в радиационных термоэлектрических приемниках преобразователи излучения в электрический сигнал изготовляли из металлов, затем из полупроводников и анизотропных термоэлектрических материалов, которые позволили реализовать уникальные результаты. При этом по многим направлениям российские (советские) ученые и инженеры занимали и занимают ведущие позиции в мире.

В [9] подробно рассмотрено сегодняшнее состояние и перспективы полупроводниковых штывревых термоэлементов, пленочных полупроводниковых термоэлементов, актинометрических термоэлектрических приборов; термоэлектриче-

ские радиометры (тепломеры) для промышленного применения; термоэлектрические преобразователи для лазерной техники; позиционно-чувствительные термоэлектрические приемники, координатно-чувствительный измеритель мощности лазерного излучения; термопирозлектрический приемник излучения и абсолютный термоэлектрический приемник.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АППАРАТУРНОЙ БАЗЫ

В работе [10] авторы из ГОИ исследовали жидкокристаллический модулятор для пирозлектрического радиометра.

Авторы считают перспективным использовать такие модуляторы в фотометрии в сочетании с различными типами неселективных пирозлектрических приемников, применяемых при измерениях непрерывных потоков инфракрасного излучения. Принцип работы таких приемников требует предварительной модуляции потока, причем рабочие частоты могут быть относительно низкими и не превышать сотни герц. Обычно для этих целей используются механические обтюраторы. Их недостатком являются громоздкость и значительная потребляемая мощность. При использовании жидкокристаллических модуляторов эти недостатки устранимы. При этом, однако, необходимо обеспечить сопоставимый высокий уровень контраста и малость световых потерь в открытом состоянии, что является естественным достоинством механических модуляторов.

В обсуждаемой работе конкретно рассмотрены условия оптимизации состава жидкокристаллических смесей и приведены результаты измерений двулучепреломления жидкокристаллической композиции в ИК-области, влияющие на выбор рабочего эффекта модуляции. Изучены зависимости динамических характеристик подобных модуляторов, работающих на принципе холестерико-нематического перехода, от температуры и состава композиции. Впервые выполнено исследование стабильности коэффициента модуляции жидкокристаллической системы. Приведен пример исполнения пирозлектрического радиометра, в котором для модуляции светового потока используется жидкокристаллический модулятор.

Для реализованной фотометрической схемы невоспроизводимость характеристик модулятора не превышала 1 %. Совокупность полученных результатов свидетельствует о целесообразности использования жидкокристаллических модуляторов в пирозлектрических радиометрах.

Центральный НИИ "Электрон" (Москва) создает малогабаритную пировидиконную тепловизионную систему, совмещенную с телевизионной системой [11]. Цель — разработка и внедрение тепловизионных методов технической диагностики состояния трубопроводов, дистанционного контроля состояния установок и оборудования (локальных перегревов, утечек тепла и др.), выявление техногенного воздействия нефтегазового комплекса на окружающую среду.

Предполагается освоение в производстве малогабаритной носимой тепловизионной системы с чрезвычайно высоким (для пирозлектрических систем) температурным разрешением (до 0,05 градуса) и сервисными устройствами, обеспечивающими высокую информативность результатов контроля.

Создание и внедрение тепловизионных систем на основе пировидиконов, не требующих охлаждения и имеющих технические характеристики на уровне лучших зарубежных образцов, позволит решить на современном уровне задачу профилактического обследования и выявления дефектов трубопроводов на начальной стадии по микроутечкам продукта.

Наличие в системе канала видимого диапазона и возможность совмещения формируемого им изображения с тепловизионным упростит идентификацию дефектного участка.

Система будет обладать следующими параметрами:

минимальная обнаруживаемая разность температур объекта и фона не более 0,05 °С по изображению объекта с линейными размерами 0,1 от диаметра поля зрения при температуре фона 20 °С;

предельная разрешающая способность тепловизионного изображения по горизонтали в центре не менее 300 телевизионных линий;

разрешающая способность телевизионного изображения видимого диапазона не менее 400 телевизионных линий;

формирование на выходе системы стандартного телевизионного сигнала;

питание системы в автономном режиме от аккумуляторного источника питания напряжением 12 В, закрепляемого на операторе и обеспечивающего ресурс работы не менее 2 ч;

питание системы в стационарном режиме от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц;

размещение системы в носимом варианте на плечевых и поясных ремнях (блок управления и сочлененный с ним модуль ВКУ, блок питания), причем камерный бок — в руке; при комплектовании системы носимым видеоманитофоном он также размещается на пояском ремне;

масса блока камеры с входящими в него модулями не должна превышать 2,5 кг.

Экономическая эффективность разрабатываемой системы основывается на значительно меньшей стоимости отечественной продукции по сравнению со стоимостью аналогичной импортной, что обеспечит ей в будущем широкое применение. В настоящее время уже имеются экспериментальные образцы прототипа системы.

Проблема повышения обнаружительной способности и информативности систем наблюдения при круглосуточной работе в простых и сложных метеоусловиях может быть кардинально решена путем создания мультиспектральной системы высокого разрешения, работающей одновременно в ультрафиолетовой (УФ), видимой, инфракрасной и, возможно, миллиметровой областях спектра и формирующей при этом единое изображение. Важным шагом на этом пути является работа [31] Московского научно-исследовательского телевизионного института (АО "МНИТИ"), в которой совместно с ВНИЦ "ГОИ им. С. И. Вавилова" и АО ЛДИ "Нева" проведены теоретические и экспериментальные исследования по созданию интегрированной телетепловизионной системы с синтезом единого изображения. Разработан экспериментальный образец такой системы и проведены его лабораторные испытания.

Система предназначена для установки на борту широкого класса латательных аппаратов, как пилотируемых, так и беспилотных, и обеспечивает дистанционный обзор местности с возможностью передачи полученной информации на наземный пункт.

В качестве датчика изображения в телевизионном (ТВ) канале используется матричный прибор с зарядовой связью (ПЗС). В данном канале предусмотрено использование последних разработок ЦНИИ "Электрон":

ПЗС "Карамболь-1" (580x520 элементов);

ПЗС "Карамболь-2" (790x580 элементов);

гибридного прибора — ПЗС с электронно-оптическим преобразователем (ЭОП).

ПЗС "Карамболь-1" и "Карамболь-2" разработаны специально для применения в жестких механико-климатических условиях. Они вибро- и удароустойчивы и имеют встроенный микроохладитель на эффекте Пельтье, что позволяет им работать в широком температурном диапазоне.

Спектральная чувствительность ПЗС лежит в пределах 0,4—1,05 мкм, что дает возможность работать в ближней ИК-области спектра, при этом существенно увеличивается дальность действия ТВ-канала (в условиях дымки дальность увеличивается на 30—40 %).

Техническая характеристика телевизионного канала

Спектральная чувствительность, мкм	0,4—1,05
Чувствительность, лк:	
для дневного канала	15
для низкоуровневого канала	$5 \cdot 10^{-3}$
Число элементов разложения	790x580
Разложение	чересстрочное, 50 полей/с
Выходной сигнал на нагрузке 75 Ом, В	1

Тепловизионный канал основан на описанном выше супервидиконе, являющимся также одной из последних разработок ЦНИИ "Электрон". Это позволяет снизить стоимость канала не менее чем в 10 раз (по сравнению, например, с каналом на КРТ), сократить массогабаритные характеристики, сделать канал более простым и удобным в эксплуатации, т. к. пировидикон в отличие от твердотельных приборов не требует глубокого охлаждения.

Следует отметить, что пировидикон не формирует сигнал от стационарных сцен из-за термодиффузии мишени, поэтому он используется обычно в двух режимах: панорамирования и обтюрирования, когда одно из полей перекрывается заслонкой.

Так как рассматриваемая система предназначена для применения на подвижных объектах, в ней используется режим панорамирования, при котором чувствительность пировидикона приблизительно в три раза выше.

Для пировидикона характерно наличие дефектов на его мишени в виде неравномерности чувствительности, пятен и др. Устранение этих дефектов осуществляется в видеопроцессоре путем соответствующей обработки сигнала (вычитание фона, устранение неравномерности).

Техническая характеристика тепловизионного канала

Чувствительность:	
спектральная, мкм	8—14
температурная, К	0,3
Разрешающая способность, твл	350
Разложение	чересстрочное, 50 полей/с
Выходной сигнал на нагрузке 75 Ом, В	1

В ИК- и ТВ-каналах рассматриваемой системы одновременно формируются сигналы двух геометрически подобных изображений, из которых видеопроцессором синтезируется единое изображение.

Физическая природа ИК-изображения (тепловая картина в области спектра 8—14 мкм) и ТВ-изображения (видимая и ближняя ИК-область спектра) существенно различаются. Это усложняет алгоритм синтеза единого изображения. Простое же наложение изображений не дает требуемого результата.

В видеопроцессоре реализуется алгоритм, в котором основу синтезированного изображения составляет ТВ-изображение.

Информация ИК-канала используется для выделения в ТВ-изображении областей, несущих признаки теплового контраста.

Выделение указанных областей в ТВ-изображении, а также температурно-контрастных областей в ИК-изображении осуществляется одним и тем же способом — с помощью фильтров, апертура которых настроена на ожидаемые видимые размеры объектов.

Данные фильтры реализуются с помощью специального оператора, предложенного ранее АО "МНИТИ" в работах по распознаванию образов (работы В. Д. Савина).

В состав аппаратуры входят также видеомонитор и видеомагнитофон.

Синтезированное изображение отображается на видеомониторе и одновременно записывается на магнитную ленту. Предусмотрена возможность отдельного наблюдения и регистрации ИК- и ТВ-изображений. При необходимости для оперативной доставки информации потребителю ТВ-система доукомплектовывается широкополосным радиоканалом и наземным пунктом приема и регистрации информации.

Рассмотренная телетепловизионная система [31] реализована в виде экспериментального образца. После успешных лабораторных испытаний еще в 1995 г. начался этап летных испытаний экспериментального образца.

Областями возможных применений разработанной телетепловизионной системы являются:

- экологический мониторинг;
- контроль за состоянием нефте- и газопроводов;
- предупреждение лесных пожаров;
- получение информации с места событий в чрезвычайных ситуациях;
- круглосуточное патрулирование прибрежных вод и обнаружение судов нарушителей с последующей регистрацией их названия или бортового номера;
- спасательные работы на воде и в труднодоступных районах;
- ледовая разведка;
- специальное применение и др.

В работе [12] проводится сравнительная оценка возможностей сканирующих оптико-электронных приборов, допускающих применение общих оптических элементов в инфракрасном и визуальных каналах.

В отечественной практике нашли применение два типа таких приборов с зонным принципом формирования прямоугольного раstra:

- со сканером на основе использования двухзеркальных ромбов и с отдельными оптическими каналами (условно названными ОЭП-1);
- со сканером на основе призмы с разнонаклонными гранями и с совмещенными оптическими каналами (условно названными ОЭП-2).

Сканеры работают в сходящихся пучках и обеспечивают формирование двумерного кадра при одном вращательном движении ромбов или призмы. Совмещение каналов обеспечивается введением в оптическую схему дихроичных зеркал, работающих на отражение ИК-излучения и пропускание видимого излучения.

В носимых или переносных ОЭП обоих типов в качестве формирователя изображения используют индикаторы на светодиодах одинаковой топологии с фотоэлектрическими полупроводниковыми приемниками излучения.

В созданных образцах ОЭП-1 и ОЭП-2, относящихся к одному классу по их функциональному назначению, спектральному диапазону и дальности действия используется один и тот же тип ИК-приемника в виде десятиэлементного фоторезистора на материале КРТ и, соответственно, топологически подобной линей-

ки фотодиодов на материале GaAsP. Система охлаждения — газобаллонная. В сканерах применяются пять пар ромбов или двенадцатигранная призма.

Детальное техническое сравнение привело к выводу, что оптико-электронный прибор с совмещенными оптическими каналами и использованием сканирующего устройства на основе призм с разнонаклонными гранями имеет в диапазоне угловых частот 0,5—2,2 миллирадиан/с преимущество перед оптико-электронным прибором с отдельными оптическими каналами и сканером на основе использования двухзеркальных ромбов.

В работе [13] сотрудников Института радиоэлектроники РАН сообщается о разработке новой малогабаритной системы динамического инфракрасного термокартирования (ДИТ) для медицинских и технических целей и о ее возможных применениях.

Принцип ДИТ состоит в сборе, записи и последующей компьютерной обработке не одного кадра ИК-изображения, а целой последовательности (фильма) таких изображений. При этом одним из результатов обработки является построение функциональных изображений — кадров, отражающих законы поведения различных зон наблюдаемого объекта во времени.

В данном случае система ДИТ создана на базе тепловизора ScanT 100. Она состоит из тепловизионной камеры, устройства ввода изображения в персональный компьютер и управления камерой (контроллера), а также пакета программного обеспечения. Камера представляет собой механический сканер с одноэлементным приемником InSb, охлаждаемым жидким азотом. Оптика камеры зеркально-линзовая. Диапазон длин волн 3—5 мкм, время сканирования кадра менее 3 с.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И НАСТРОЙКИ ИК-ТЕХНИКИ

В работе [14] сообщается о новом методе контроля чувствительности ИК-систем. Пороговая чувствительность ИК-преобразователей (приемников) обычно определяется с использованием излучателей типа “черного тела” с регулируемой температурой. При этом стремятся к тому, чтобы излучательная способность ϵ модели “черного тела” (обычно полость с отношением длины к диаметру 8—10) приближалась к единице.

Излучательная способность модели “черного тела” однозначно определяет его радиационную температуру T_p , которая связана с истинной $T_{и}$ температурой выражением

$$T_p = T_{и} \sqrt[4]{\epsilon}.$$

Управлять радиационной температурой “черного тела” можно путем изменения его истинной температуры или излучательной способности при постоянной истинной температуре. Традиционно в метрологической практике применяют первый путь, позволяющий варьировать радиационную температуру в широких пределах. Однако при измерении пороговой чувствительности ИК-систем радиационная температура изменяется незначительно, поэтому целесообразно использовать второй путь. При этом отпадает необходимость активного регулирования действительной температуры излучателя, что всегда связано с ее нестабильностью (дрейфом) и возникновением погрешностей воспроизведения температуры, а также исключаются инструментальные и методические погрешности средств измерения.

Практически менять излучательную способность “черного тела” удобно путем изменения длины полости некоторым плунжером, когда можно использовать известные средства точных линейных измерений (типа микрометров). Необходимое перемещение плунжера легко получить расчетным путем с высокой

точностью. На практике показана возможность изменения радиационной температуры на 0,001 К за счет чисто механических манипуляций.

В статье [15] сотрудников Государственного оптического института на основе предложенной классификации рассмотрены возможные подходы для разработки динамических имитаторов ИК-сцен, генерирующих излучения наблюдаемых объектов и сопутствующих им фонов для тестирования оптико-электронных приборов ИК-диапазона, и представлен обзор существующих имитаторов динамических сцен.

АВИАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ИСТОЧНИКОВ

Авиационные комплексы для оперативного дистанционного контроля подстилающей поверхности в интересах большей информативности и селективности регистрируемых данных обычно содержат набор бортовой аппаратуры, суммарный рабочий диапазон которой перекрывает видимый и инфракрасный спектры, простираясь иногда вплоть до микроволн. Другими словами, тепловая картина дополняется изображениями в видимой, а иногда даже в миллиметровой области электромагнитных волн.

Самолетные комплексы

Видимо, наиболее полный и совершенный комплекс дистанционного контроля подстилающей поверхности в оптическом диапазоне (0,4—14 мкм) создан в Государственном НИИ авиационных систем (ГосНИИАС, Москва), являющимся одним из головных предприятий авиационной промышленности России. Подробная информация об этом комплексе как самолетного, так и вертолетного базирования представлена недавно на международной конференции по авиационному дистанционному контролю в Страсбурге (The First Airborn Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, 11—15 September 1994) [16].

Цель создания экспериментального образца бортового комплекса — определить информационные признаки различных наземных объектов в диапазоне 0,4—14 мкм. Впервые штатные аэрофотографические и авиаразведывательные приборы использовались совместно, чтобы получить разные изображения одного и того же объекта. Была последовательно проведена определенная модернизация оборудования и режима его работы, а также цифровой записывающей аппаратуры. Это же относится и к авиационным платформам, на которых расположено оборудование.

По общему мнению, созданный ГосНИИАС бортовой экспериментальный комплекс оптического дистанционного контроля, базирующийся на самолете Ту-134, — лучший в России и один из наиболее хорошо оборудованных в мире, поэтому остановимся на нем подробнее.

Прежде всего несколько характеристик Ту-134 как носителя экспериментального комплекса:

Высота полета, км	11
Радиус полета, км	300
Скорость, км/ч:	
максимальная	800
крейсерская	650
Продолжительность разведки, ч	3,5
Численность экипажа, чел.	5
Расход топлива, т/ч	2,9
Длина разбега, м	2000
Число рабочих мест операторов	10

Список бортового оборудования комплекса дистанционного контроля и его главные характеристики приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Список оборудования бортового комплекса дистанционного контроля

Оборудование	Выполняемые задачи	Параметры
Переменный набор (от 5 до 7) топографических аэрокамер: ТК-10, ТАФА-10 ЛМК АФА-41/20 ТЕА-35 АФА-42/100 4-зональная аэрокамера АС-707	Топографическое и мультizonальное фотографирование в нижней полусфере	Видимый диапазон f = 100 мм f = 150 мм f = 200 мм f = 350 мм f = 1000 мм f = 140 мм
Телевизионная система Т-2	Оперативное наблюдение, сопровождение и видеозапись изображений в передней полусфере, линия визирования от 0 до 90 град вниз, поле зрения 16 или 2,8 град	Видимый диапазон
Аэрокамера БАФ-40Р, лазерный дальномер ЛДИ-3	Фотографирование перспективы с измерением наклонного расстояния до центра картины; оптическая ось устанавливается автоматически телевизионной системой Т-2	То же, f = 400 мм
Оптический визир ОД-4М	Поиск и сопровождение с увеличением до 80 раз; фотографирование картины	То же, f = 1100 мм
Телевизионный сканер	Панорамный обзор; поле зрения 156x40 град; угловое разрешение 5 мин	Видимый диапазон
Тепловой сканер	Обзор в диапазоне 8—14 мкм; поле обзора 120 или 60 град; мгновенное поле зрения 9 или 3,5 мин; чувствительность 0,2 К	Тепловой диапазон
Двухдиапазонный ИК-сканер	Обзор в диапазонах 3—5 и 8—14 мкм; поле обзора 120 град; мгновенное поле зрения 3,5 мин; чувствительность 0,5 К	Средний ИК и тепловой диапазоны
4-диапазонный ИК-радиометр	Измерение яркостной температуры Земли в диапазонах 3—5, 8—10, 10—12 и 8—12 мкм; поле обзора = 1—2 град, пороговая чувствительность 0,1 К	То же
Лазерный сканер	Обзор плана; лазер 0,55 мкм, поле обзора = 120 град; мгновенное поле зрения 3,5 мин Регистрация навигационных параметров (координаты, высота, курс, скорость относительно земли, угловые скорости, углы дрейфа тангажа и вращения)	Активный в ночное время
Дополнительно: к штатным навигационным приборам: инерционная навигационная система И-21, GPS и GLONASS приемники, радиоальтиметр РВ-21, цифровой самописец ГАММА		
Бортовая информационная система с записью на 27-канальный цифровой самописец фирмы Schlumberger и 14-канальный аналоговый самописец SE-7000А	Нормализация и аналого-цифровое преобразование данных со сканеров и видеоаппаратуры; регистрация данных в цифровой форме; запись аналоговых сигналов в полосе шире 150 кГц; скорость вывода самописца Schlumberger выше 96 Мбит/с; вероятность ошибки менее 10 ⁻⁶	
Используемый компьютер Compaq 486/66/525	Контроль полета	

Как видно из табл. 1, большинство используемой аппаратуры — отечественного производства.

Нижняя часть фюзеляжа планера Ту-134 используется для размещения специально сконструированной gondoly (рис. 4). В gondole может быть установлено девять приемников изображения одновременно. Максимальные размеры каждого приемника составляют 1170x800x600 мм, если требуется установить их на одну из трех гиросtabilизированных платформ.

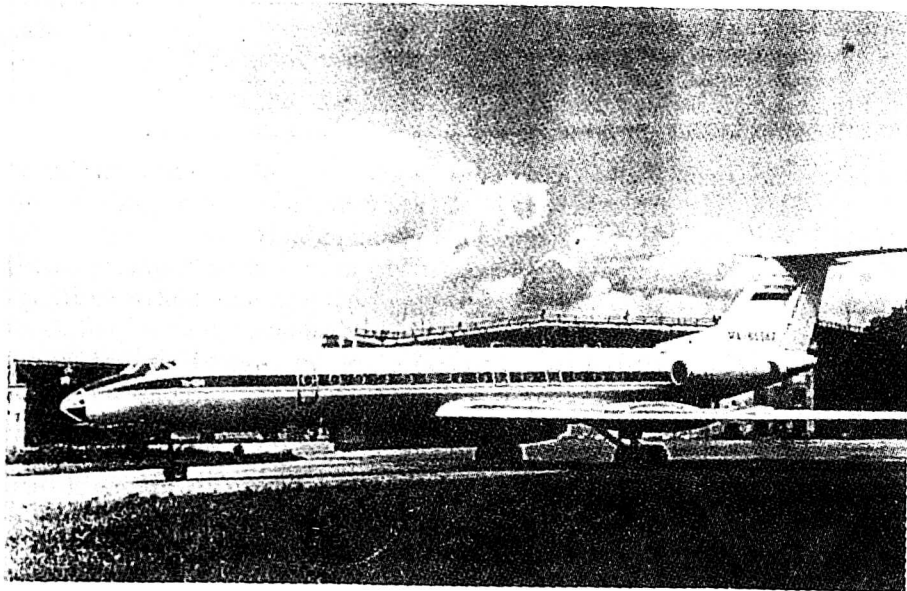


Рис. 4. Летящая лаборатория на самолете Ту-134

Дистанционное управление по двум угловым степеням свободы каждой платформы позволяет ориентировать оптическую ось приборов в пределах ± 30 град в горизонтальной плоскости и от горизонта до 90 град вниз — в вертикальной плоскости. Это дает возможность оборудованию обследовать выбранный объект со всей верхней полусферы последнего, как показано на рис. 5.

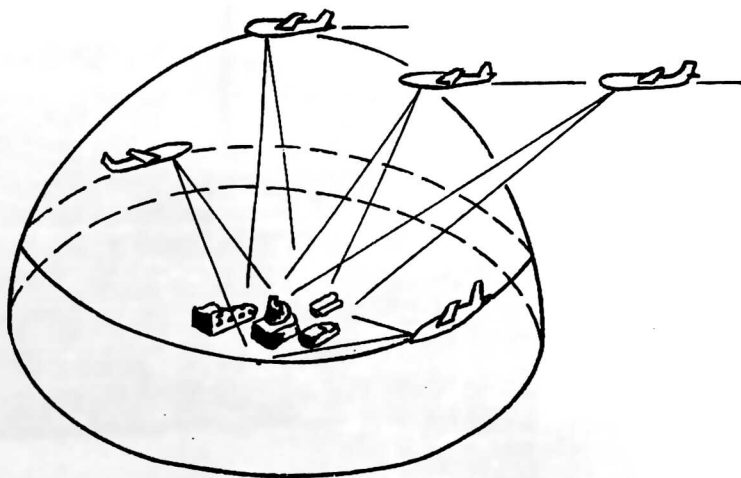


Рис. 5. Схема использования летающей лаборатории

В уменьшенном составе этот комплекс оптического дистанционного контроля земной поверхности устанавливается также на борт самолета Ан-2.

Основные характеристики носителя (Ан-2)

Высота, км	4
Радиус полета, км	1200
Максимальная скорость, км/ч	220
Максимальная нагрузка, кг	900
Расход топлива, т/ч	0,16
Численность экипажа	3
Число рабочих мест операторов	3

Основное предназначение самолета Ан-2 состоит в выполнении обычной аэрофотосъемки. Для этого устанавливается дополнительный автопилот. Иногда Ан-2 используется для теплового обзора горящих лесов.

Представленный авиационный (самолетный) комплекс дистанционного контроля благодаря своим уникальным характеристикам может найти самое разнообразное применение. Так, синхронизация спектральных протяженных объектов (целей) в комбинации с топографической съемкой служит основанием как для расшифровки, так и для построения тематических карт в геологии, лесоводстве, землеустройстве, геоботанике и т. д. Многоспектральные топографически соотнесенные объекты могут быть широко использованы для построения различных экологических карт и мониторинга окружающей среды. В процессе исследования локальных экологических неблагоприятных ситуаций и различных бедствий становится полезной возможность автоматического обследования интересующего объекта почти во всей верхней полусфере. Например, возникла типичная ситуация: в результате землетрясения или кораблекрушения объект сбросил загрязнение в устье реки. Тогда объект будет контролироваться узкопольной телевизионной системой, которая приведет в действие двухступенную платформу с длиннофокусной аэрокамерой.

Особенностью авиационной оптико-электронной системы обзорного типа является возможность ее работы с автоматической регулировкой усиления, когда формируемое изображение оптимизируется в соответствии с текущим относительным контрастом. Для ряда традиционных задач ликвидации экологических нарушений такой режим оптимален. В случае, если целью дистанционного контроля является установление абсолютного значения яркости необходимо провести регулировку оптических и электронных каналов приборов, чтобы использовать бортовой калиброванный радиометр и наземные больsherазмерные тестовые объекты. Целесообразно реализовать исследования атмосферной трассы с Земли в зоне полета в части измерения оптических и физических атмосферных параметров и определения начальных элементов яркости наземной сцены.

Государственный НИИ авиационных систем организует систематические наземные и космические исследования различных регионов, причем в этом случае космические фотографии имеют наивысшее пространственное разрешение (менее 1 м).

Обработка результатов и сопутствующей информации происходит в специальном Центре в Институте. Базы данных для мини-ЭВМ и персональных компьютеров содержат многочисленные архивы изображений, сопутствующей информации, каталоги. Система управления базой данных включает подсистему автоматического поиска необходимого изображения по запросу произвольной логической структуры.

Анализ показывает, что способности ГосНИИАС производить дистанционный мониторинг удовлетворяют как традиционным, так и новым задачам. В настоящее время основные усилия Института направлены на тщательное аэрообозрение региона Московской области, чтобы выработать земельный кадастр с использованием одновременно спутниковой навигационной системы GPS, когда ошибка определения положения самолета минимальна. Пробные полеты были уже проведены, результаты представлены, эффективность и целесообразность работы показаны. Кроме того, заключен долговременный контракт с правительством Москвы по аэротепловому мониторингу городских кварталов.

Летающая лаборатория на самолете Ту-134 использовалась в течение почти двух недель для поиска на земле следов потерпевшего катастрофу 6 декабря 1995 года под Хабаровском (Дальний Восток) пассажирского самолета Ту-154.

Ассоциация "Аэрокос" (Украина) применяет недавно переоборудованный в летающую лабораторию самолет А-410 УВП-Э для экологического мониторинга [22]. Специальный анализ показал, что именно этот небольшой 19-местный двухмоторный самолет-моноплан оптимален для экологических исследований подстилающей земной поверхности. Указанный тип самолета разработан авиаконструкторами России и Чехии и отличается от обычного А-410 большей грузоподъемностью, почти наполовину увеличенной дальностью полета, повышенным потолком высоты. Пятилопастные винты обеспечивают повышенный КПД и умеренный уровень шума. Одним из весьма важных преимуществ данного типа самолета является его возможность выполнять летные работы как на низких высотах (70—300 м), так и на высотах до 5000 м над поверхностью земли при сравнительно небольшой скорости полета (210—330 км/ч). Дополнительные топливные баки позволяют самолету находиться в воздухе свыше 5 ч без дозаправки. Стоимость эксплуатации А-410 УВП-Э в четыре-пять раз меньше аналогичной стоимости для самолета Ан-30 схожего типа.

"Аэрокос" переоборудовал самолет: вместо отдельных блоков кресел установлены стойки для измерительных комплексов "Гамма-съемка", "Тепловая съемка", "Спектральный анализ". На самолете установлены также комплекс для получения видеоинформации, детектор теплового излучения, телекамера. Обработка информации на всех комплексах ведется с помощью компьютерной техники во время полета.

Бортовой комплекс "Тепловая съемка" состоит из системы инфракрасного термографирования в реальном времени с цифровой регистрацией, детектора теплового излучения, видеомагнитофона, пульта управления.

Тепловизионные изображения, формируемые сканерами, контролируются оператором и записываются на видеомагнитофон для последующей компьютерной обработки и анализа, а также для создания баз данных. Тепловизионный комплекс работает в двух спектральных диапазонах: 2,0—5,9 и 7—14 мкм, диапазон контролируемых температур от -20 °С до 1600 °С, точность измерения температуры 2 %. Чувствительность системы 0,1 °С при средней температуре объекта 30 °С.

Указанный самолет-лаборатория уже удачно зарекомендовал себя, например, при регистрации типовых тепловых загрязнений окружающей среды — прорывы тепловых и газовых магистралей, самовозгорание угля, лесные пожары, сброс промышленными предприятиями и теплоэлектростанциями нагретых вод в реки и водоемы и прочее. А его возможность одновременно проводить разведку радиационных и химических загрязнений придает ему уникальный по универсальности характер, особенно ценный при контроле чрезвычайных ситуаций.

Вертолетные комплексы

Бортовой комплекс оптического дистанционного контроля, разработанный ГосНИИАС применительно к самолетному базированию и описанный выше, после определенной доработки был размещен также на довольно крупном вертолете Ми-6 [16].

Техническая характеристика носителя Ми-6

Высота полета, км	4
Радиус полета, км	600
Максимальная скорость, км/ч	200
Время разведки, ч	2
Расход топлива, т/ч	2,5
Численность экипажа	5
Число рабочих мест операторов	7

Бортовое оборудование комплекса контроля представлено в табл. 2

Таблица 2

Оборудование на вертолете Ми-6

Оборудование	Выполняемые задачи	Параметры
Набор (от 1 до 5) топографических аэрокамер	Топографическое и мультizonальное фотографирование	Аналогичны самолетному варианту
Телевизионная система Т-2	Оперативный обзор, сопровождение и видеозапись переднего плана	—
Аэрокамера БАФ-40Р, лазерный дальномер ЛДИ-3	Фотографирование перспективы с измерением наклонного расстояния до центра картины	—
Модернизированный сканер "Вулкан"	Обзор в диапазоне 0,4—1,1 мкм (четыре поддиапазона), 3—5 и 8—14 мкм; поле обзора 120 град; мгновенное поле зрения 6 мин	Видимый, средний инфракрасный, тепловой диапазоны
ИК-сканер	Обзор в диапазоне 8—14 мкм; поле обзора 120 град, мгновенное поле зрения 6 мин	Тепловой диапазон
Тепловизионная система АГА-782	Измерение яркостной земной температуры в диапазонах 3—5 и 8—14 мкм	Средний ИК- и тепловой диапазоны

Остальное оборудование, включая навигационные и регистрирующее, аналогично самолетному варианту (комплекса на Ту-134).

В настоящее время в России ведется целая гамма научно-исследовательских, конструкторских и лётно-испытательных работ по разработке и созданию вертолетных комплексов оптического дистанционного контроля нефтегазопроводов, в том числе с использованием тепловизионной аппаратуры.

Самарское государственное научно-производственное объединение автоматических систем (СГ НПО АС, г. Самара) разрабатывает лазерно-тепловизионный комплекс обнаружения утечек из магистральных газонефтепроводов "Эфир-АК" [17].

Данный бортовой комплекс обнаружения размещается на вертолете типа Ми-8.

Техническая характеристика Ми-8

Чувствительность системы к широкой фракции легких углеводородов, ppm, не хуже 100

Минимально обнаруживаемая величина интегрального содержания метана в зондируемом слое атмосферы, %	0,1
Минимально обнаруживаемая разность температур, °С	0,4
Высота полета носителя, м	50—100
Скорость полета, км/ч	0—200
Точность определения места утечки, м	10

В состав комплекса входят следующие бортовые системы:

- лазерная система обнаружения;
- тепловизионная система обнаружения;
- телевизионная система;
- система привязки к местности;
- система электропитания;
- система управления и контроля;
- пульта управления.

Проведены теоретические и лабораторные исследования отдельных блоков и систем и показана возможность оперативного обнаружения утечек из магистральных газо- и нефтепроводов, а также из наземных и подземных хранилищ углеводородов.

Ориентировочная стоимость разработки, изготовления и испытания двух экспериментальных образцов составляет 1 млн. дол.

Производственное объединение "Азовский оптико-механический завод" (г. Азов Ростовской обл.) намечает на базе освоенных им тепловизоров "Пировидикон-2", "Пировидикон-3" и "ИК-радиометра" разработку "Инфракрасного вертолетного комплекса обнаружения утечек газопроводов" [18].

Особенностью подхода является совместное использование тепловизоров и радиометра. Тепловизор регистрирует не истинную, а радиационную температуру, что может привести к ошибкам в диагностике за счет изменения излучательной способности подстилающей поверхности. Поэтому необходимо измерять в процессе полета истинную усредненную температуру радиометром и вычитать ее из радиационной температуры тепловизора, получая откорректированное тепловое изображение (термограмму) зоны газопровода определенной ширины.

В процессе полета визуально вести анализ термограммы затруднительно, поэтому ее следует регистрировать на видеомагнитофоне для послеполетного детального анализа. Целесообразно одновременно вести видеозапись и цветного видимого изображения трассы от цветной видеокамеры для привязки местоположения дефекта. На видеозаписи должны быть метки протяженности трассы полета.

Для обеспечения диагностики в процессе полета в состав комплекса входит анализатор изображения, который выдает сигнал тревоги при появлении гипертермической зоны.

Таким образом, в состав разрабатываемого комплекса входят тепловизор, радиометр истинных температур, корректор термограммы, анализатор изображения, цветная видеокамера, видеомагнитофон, датчик протяженности трассы.

Под научным руководством и при участии Института энергетических проблем химической физики РАН (г. Черноголовка Московской обл.) ряд предприятий, включая научно-техническую фирму "Санта", еще с 1990 г. ведут работу по созданию вертолетной тепловизионной-телевизионной системы для контроля объектов энергетики. Ее назначение — обнаружение мест утечек природного газа из магистральных трубопроводов, экологический контроль объектов энергетики [20, 29].

Принцип работы основан на сочетании физических методов зондирования линейной части магистральных трубопроводов — пассивном измерении температурного контраста и активном — лазерной спектроскопии.

Температурный контраст в месте утечки возникает за счет эффекта Джоуля-Томпсона и регистрируется тепловизором. Используется шведский тепловизор "Agema-1000" или отечественный "Пировидикон-кварк" (опытный образец), или конверсируемый тепловизионный танковый прицел "Прогресс-2".

Концентрация легких углеводородов в месте утечки измеряется лазерным газоанализатором, в котором область утечки попеременно просвечивается лазерным излучением с двумя разными длинами волн. Излучение с первой волной отвечает максимуму линии поглощения анализируемой компоненты атмосферы, излучение со второй волной лежит вне контура поглощения.

Концентрация анализируемого газа определяется из измерений амплитуды отраженного от топографической мишени излучения с разными длинами волн. Лазерный газоанализатор создан на базе параметрического генератора излучения, перестраиваемого в диапазоне 2,8—3,8 мкм.

Цифровая обработка тепловизионных изображений производится бортовым спецвычислителем. Управление комплексом, пространственное сканирование пассивных и активных датчиков, анализ результатов производится вычислительным комплексом на базе персонального компьютера и системы КАМАК. Телевизионный канал служит для координатной привязки.

Все составные части комплекса "Эфир-АК" совмещены по полям зрения и установлены на гиросtabilизированных платформах, обеспечивающих синхронное перемещение полей зрения в пространстве.

По сравнению с существующим отечественным аналогом — вертолетной лазерной системой "Обзор-2", разработанной предприятием "Газавтоматика", данный комплекс имеет ряд существенных преимуществ:

- в 10 раз увеличена дальность обнаружения (с 30 до 200—400 м);
- в 100 раз увеличена чувствительность по метану CH_4 (0,1 ppm);
- дополнительно контролируются HCl и C_3H_8 (на уровне 0,2—1 ppm);
- введен сектор обзора шириной 100 м, отсутствующий на аналоге.

Минимальный обнаруживаемый температурный контраст составляет 0,2 К, что находится на уровне лучших зарубежных аналогов — лазерно-тепловизионных систем фирм Environmental, Research and Technology Inc. (USA) и G. Elliot Electronics Ltd (Great Britain). В то же время эти зарубежные системы проигрывают новому отечественному комплексу примерно по тем же параметрам, что и система "Обзор-2".

В конечном итоге обсуждаемый комплекс дистанционного контроля на базе тепловизионных, телевизионных и лазерных средств вышел на заключительный этап летных испытаний, который он и завершил успешно в декабре 1995 г. [29].

Для полноты обзора работ, использующих вертолеты как базу для оптических средств дистанционного контроля, целесообразно упомянуть о ведущихся в Научно-производственном объединении "Астрофизика" (Москва) разработках по теме "Вертолетный лазерный дистанционный диагностический комплекс для контроля утечек трубопроводов и загрязнений окружающей среды, в том числе поверхностных" [23]. В отличие от большинства зарубежных и отечественных систем, ориентирующихся в указанных условиях на контроль в пассивном режиме, в том числе с использованием тепловизионной техники, в работах НПО "Астрофизика" контроль осуществляется на основе методов лазерного спектрального анализа при многочастотном зондировании, что позволяет обнаружи-

вать большое количество продуктов в приземных слоях атмосферы и на поверхности земли и воды. При этом контроль осуществляется на крейсерской скорости полета вертолета.

Предусматриваются изготовление и испытание экспериментального образца в течение 1996—1998 гг. В настоящее время разработана конструкторская документация экспериментального образца. В предварительном порядке его массогабаритный макет размещен на одном из типов вертолетов для летных испытаний.

Важность указанных работ НПО “Астрофизика” усиливается тем обстоятельством, что в уже сложившейся ситуации она выступает в качестве головной организации с российской стороны в международном проекте “TACIS”, выполняемым под эгидой Европейского Союза и нацеленного на контроль утечек и ремонт нефтегазопроводов, идущих как по территории России, так и всей Европы.

Комплексы на базе беспилотных средств

В ходе конверсионной перестройки Государственное предприятие “Конструкторское бюро точного машиностроения” (Москва) и его филиал (г. Климовск Московской обл.) совместно с Российским акционерным обществом “Газпром” проводят подготовительную работу по созданию воздушной системы контроля и наблюдения за техническим состоянием магистральных газопроводов с помощью пускового комплекса беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета и посадки (БЛА ВВП), другими словами, на базе дистанционно-управляемых миниатюрных вертолетов [19].

В результате проводимых работ планируется беспилотный мобильный комплекс дистанционной воздушно-технической разведки газопроводов и окружающей среды с использованием существующей или вновь разработанной бортовой аппаратуры диагностики, не имеющей аналогов в мировой практике.

По научно-техническому уровню аппаратная часть разрабатываемого комплекса не уступает лучшим зарубежным образцам, а носитель комплекса — БЛА ВВП “Сокол” вообще уникален по своим летно-техническим характеристикам, имея при этом значительно меньшие трудоемкость и стоимость изготовления и эксплуатации (примерно в два-три раза дешевле, чем канадский комплекс “Sentinel-227”, предназначенный для разведки в интересах вооруженных сил).

Общий вид БЛА ВВП “Сокол” представлен на рис. 6.

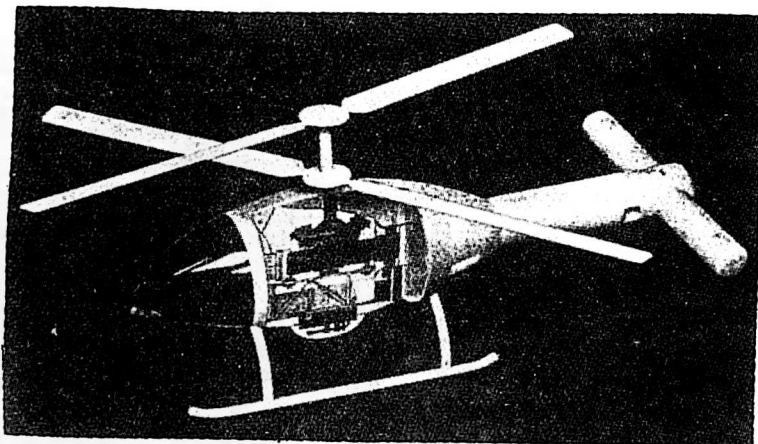


Рис. 6. Беспилотный летательный аппарат “Сокол”

Летно-техническая характеристика БЛА "Сокол"

Дальность полета, км	70
Скорость полета, км/ч	120
Высота полета, м	2000
Продолжительность полета, ч	1,5
Тип, мощность двигателя в лошадиных силах	поршневой, 40
Старт БЛА	из контейнера
Посадка на площадку радиусом 5 м	по вертолетному
Диаметр соосных несущих винтов, м.....	2,9
Габаритные размеры БЛА, м:	
высота	1,26
ширина	1,24
длина	2,7
Размер контейнера, м	3x1,4x1,4
Масса, кг:	
взлетная	120
полезной нагрузки	26
целевой аппаратуры	10

На рис. 7 приведен общий вид БЛА "Сокол".

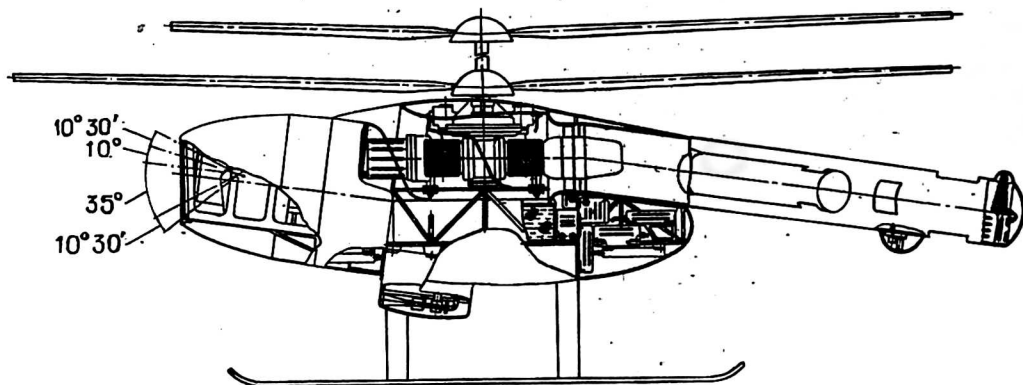


Рис. 7. Общий вид БЛА "Сокол"

БЛА "Сокол" имеет принципиально новую аэродинамическую схему, защищенную патентом Российской Федерации № 2021165 от 27.08.91 г.

Состав и обслуживание мобильного комплекса "Сокол"

Число БЛА	2
Численность обслуживающего персонала	4
Число одновременно управляемых БЛА	2
Наситель	автомобиль УРАЛ-4320 с наземным пунктом дистанционного управления и двумя контейнерами с БЛА
Наличие	топливно-заправочный агрегат с запасными топливными баками

Как вариант, комплекс может размещаться на автомобиле МАЗ-543М повышенной проходимости и грузоподъемности. Общий вид всего мобильного комплекса для этого случая приведен на рис. 8.

Размещаемая на БЛА ВВП "Сокол" аппаратура в принципе может обеспечить наблюдение в следующих спектральных диапазонах:

- оптический — 0,43—14 мкм;
- микроволновый — 2,5—8,6 мм;
- сантиметровый — 3,0 см.

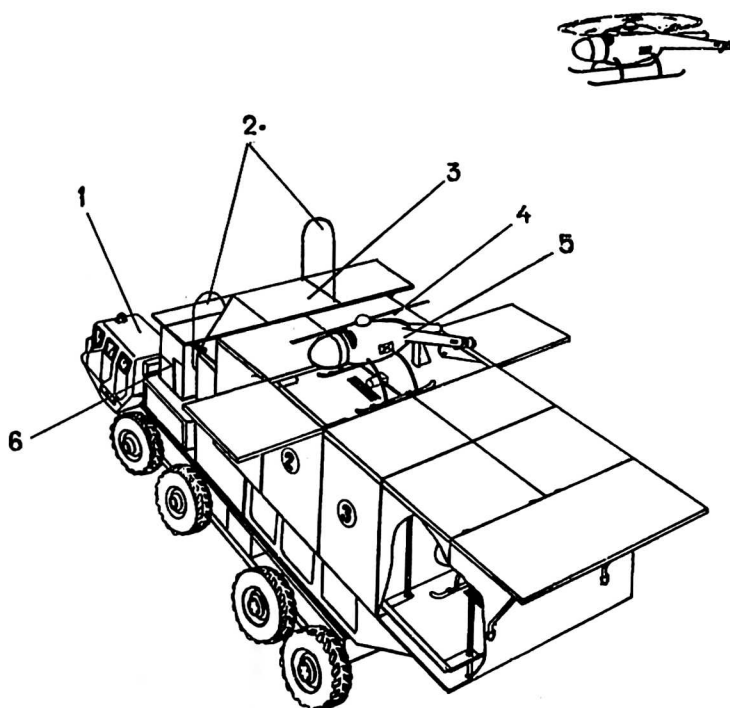


Рис. 8. Схема использования мобильного комплекса "Сокол":
 1 — носитель — автомобиль МАЗ-543М; 2 — антенные устройства; 3 — блок пусковых устройств; 4 — контейнерно-пусковое устройство; 5 — дистанционно-пилотируемый аппарат; 6 — автономный источник питания

Применительно к интересам нефтегазового комплекса разрабатываемый мобильный комплекс "Сокол" с программно-радиокомандным управлением сможет решать следующие из перечисленных задач:

1. Техническая диагностика состояния трубопроводов, оценка техногенного воздействия нефтегазопроводов на окружающую среду с помощью телевизионной, тепловизионной, лазерно-локационной аппаратуры и газоанализаторов, размещаемых на БЛА.

2. Воздушно-техническая разведка газонефтеносных районов с помощью широкоформатной телевизионной аппаратуры, телевизионной цветной аппаратуры, установленной на БЛА.

3. Контроль трубопроводного транспорта с помощью спускаемой на тросе с БЛА тепловизионной аппаратуры.

4. Контроль состояния окружающей среды с помощью аппаратуры химической, бактериологической и радиационной разведки.

Еще раз подчеркнем, что отсутствуют зарубежные и отечественные аналоги комплексов разведки и диагностики газонефтепроводов, способных решать совокупность указанных задач.

К настоящему времени КБ точного машиностроения вместе с соисполнителями провели цикл научно-исследовательских и экспериментальных работ по выбору структуры и состава комплекса, его аппаратуры управления, а также проведены летные эксперименты на модели и макете БЛА по проверке его принципиальной работоспособности.

Определены также отечественные и зарубежные образцы целевой аппаратуры, включая телевизионные, тепловизионные и макет лазерно-локационной аппаратуры, газоанализаторы, предназначенные для решения поставленных задач.

Использованию для дистанционного оптического контроля другого варианта беспилотного летательного аппарата, выполненного уже по самолетной схеме, посвящено предложение Акционерного общества "ОКБ им. А. С. Яковлева" (Москва) [30]. Речь идет о так называемом дистанционно-пилотируемом летательном аппарате (ДПЛА), аналоги которых давно применяются для целей воздушной разведки в районе боевых действий.

Прежде чем обсуждать детали этого предложения, рассмотрим ряд общих соображений, влияющих на успех подобного предприятия.

Очевидно, что применение ДПЛА самолетного типа в различных областях народного хозяйства имеет большие потенциальные достоинства. Наибольшая эффективность ожидается при решении следующих задач:

- разведка рыбных косяков;
- разведка ледовой обстановки;
- разведка на трассах нефтепроводов;
- сельское хозяйство (опыление, наблюдение и т. д.);
- патрулирование пожарной обстановки;
- патрулирование обстановки на автотрассах;
- ретранслятор сигналов связи;
- разведка метеорологических условий;
- геологоразведка;
- доставка небольших грузов и почты;
- использование в строительных работах;
- охранное патрулирование объектов и границ;
- геодезия и картография (аэрофотосъемка);
- тушение лесных пожаров;
- исследование вулканов.

Таким образом, потенциальный рынок сбыта для гражданских ДПЛА существует и обещает быть прибыльным. Чисто технические проблемы при разработке гражданских ДПЛА тоже не являются сверхтрудными. Так почему же из 200 проектов ДПЛА, существующих в мире, нет ни одного чисто гражданского? Вопрос — в организации воздушного движения и в безопасности полетов.

В настоящее время официальные документы и органы, контролирующие летную годность, не позволяют использовать основное качество ДПЛА — возможность работы без визуального контакта человека и летательного аппарата. Подобная осторожность со стороны Регистров всех стран, выдающих сертификат летной годности на гражданские летательные аппараты, объясняется прежде всего соображениями безопасности населения при регулярных полетах ДПЛА вблизи или над населенными пунктами. По мнению специалистов и по здравому смыслу, опасность от полетов гражданских ДПЛА для населения должна быть не более чем от современных легких гражданских самолетов. К сожалению, ни один ДПЛА не обладает сегодня такой надежностью. Военные ДПЛА обладают ресурсом в несколько полетов, но для них не существует ограничений, так как на полигонах и в зонах военные ведомства обеспечивают безопасность проведения испытаний и эксплуатации своей техники для населения и других служб.

Первым препятствием на пути развития гражданских ДПЛА является проблема надежности, которая должна быть доведена до уровня современных гражданских воздушных судов. Эта проблема сводится к решению широкого круга технических задач, связанных с увеличением ресурса всех элементов, дублированием основных систем дистанционного управления, снижением опасности нанесения ущерба на земле в случае аварийного прекращения полета (ввод парашюта, применение принципа авторации и т. д.).

Вторая серьезная проблема — ожидаемое насыщение воздушного пространства летательными аппаратами и повышение вероятности столкновения в воздухе. Поэтому ДПЛА, летающие за пределами прямой видимости оператора, должны иметь бортовые средства, предотвращающие столкновения в воздухе с другими воздушными судами.

Решение этих вопросов — дело времени и, без сомнения, они будут осуществлены. Но уже сейчас можно и нужно начинать пока еще экспериментальные, прикладные работы по использованию комплексов с ДПЛА в народном хозяйстве, тем более, что Россия располагает огромными территориями, где практически нет населенных пунктов, а контролировать есть что: в первую очередь, трассы нефтегазопроводов, большие массивы лесов, речные фарватеры и т. д.

Возвратимся к сути предложения АО «ОКБ им. А. С. Яковлева», намеревающегося с целью оценки эффективности применения комплексов с ДПЛА в народном хозяйстве уже сегодня провести работы с серийно выпускаемым комплексом «Стерх» и беспилотным аппаратом «Шмель».

Комплекс «Стерх», разработанный Московским научно-исследовательским институтом «Кулон», включающий ДПЛА «Шмель», созданный в АО «ОКБ им. А. С. Яковлева», предназначен для круглосуточного воздушного наблюдения с передачей изображения в реальном времени. Впервые он был продемонстрирован в полной комплектации на авиакосмической выставке «Мосаэрошоу-93» в городе Жуковском (Московская обл.).

В состав комплекса входят 10 ДПЛА, наземный пункт дистанционного управления, который вместе с пусковой установкой размещен на гусеничном шасси, а также машина технического обслуживания. На этой же гусеничной машине размещен один ДПЛА в транспортном состоянии.

«Шмель» — ДПЛА многоразового действия с поршневым двигателем мощностью 32 л. с. и толкающим винтом, размещенным внутри кольцевого оперения. Общий вид ДПЛА показан на рис. 9.

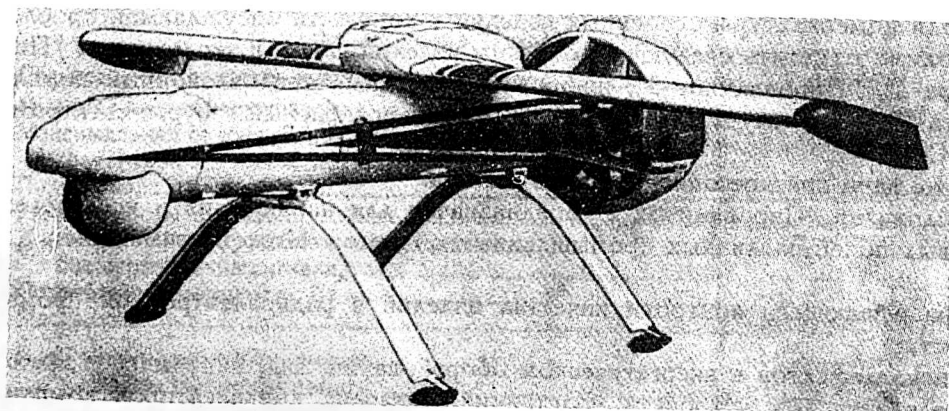


Рис. 9. Дистанционно-пилотируемый летательный аппарат «Шмель»

Техническая характеристика комплекса

Дальность приема команд и телеизображения, км	60
Продолжительность полета, ч	2
Скорость полета, км/ч	140
Рабочая высота полета, м	100—3000
Типы полезной нагрузки	ТВ- и ИК-камеры

Управление полетом	по программе или командам
Способ старта	катапульта с ракет- ным двигателем
Способ посадки	парашют
Численность экипажа	4
Взлетная масса ДПЛА, кг	135

Планер ДПЛА сделан целиком из стеклопластика, что позволило получить легкую простую, а главное, достаточно жесткую конструкцию. Его длина 2871 мм, высота 1110 мм, размах крыльев 3250 мм.

Все комплектующие элементы и системы летательного аппарата и комплекса в целом были созданы в стране впервые, что потребовало большого труда, энергии и предприимчивости.

Летательный аппарат управляется по введенной заранее программе или оператором, которому достаточно ввести в электронно-вычислительную машину только новые высоту и курс. Посадка аппарата осуществляется на парашюте. Обслуживают комплекс четыре человека средней квалификации.

Следует отметить, что комплекс может быть легко модифицирован под конкретные требования заказчика, что позволяет упростить составляющие его элементы, изменить те или иные характеристики.

АО "ОКБ им. А. С. Яковлева" приглашает к сотрудничеству все фирмы и организации, которым интересны различные применения данного комплекса.

ОПЕРАТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ: КОММЕРЧЕСКИ ДОСТУПАЯ АППАРАТУРА И ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Коммерчески доступная аппаратура

В России одним из наиболее крупных разработчиков и изготовителей ИК-техники общего назначения является ПО "Азовский оптико-механический завод" (г. Азов Ростовской обл.).

Среди номенклатуры освоенных изделий в контексте обсуждаемой проблемы необходимо отметить следующие образцы изделий [24, 25]: тепловизоры "Пировидикон-2", "Пировидикон-3"; цифровой модульный тепловизионный комплекс "Радуга-5"; ИК-излучатель "БИТ-200Ц"; инфракрасный Фурье-спектрометр "ЛАФС-02".

Ниже дано краткое описание этой техники.

Тепловизор "Пировидикон-2" предназначен для наблюдения и исследования тепловых полей различных промышленных объектов. Может применяться в целях:

неразрушающего контроля качества изделий в радиоэлектронной промышленности;

поиска дефектов в энергетическом оборудовании, как, например, в зажимах распределительных устройств подстанций, батареях конденсаторов компенсирующих устройств, соединениях проводов, контактной сети на железных дорогах, проводах линий электропередач;

контроля утечек тепла в коммунальном хозяйстве;

определения мест перегрева во вращающихся элементах машин на транспорте и в энергетике;

контроля химической обработки полей с самолета.

Тепловизор обеспечивает наблюдение на экране видеосмотрового устройства изображения тепловых полей объектов в реальном времени, в телевизионном стандарте с возможностью записи на видеоманитофон.

**Техническая характеристика
тепловизора**

Минимальная обнаруживаемая разность температур, °С	0,5
Максимальная разрешающая способность, телевизионные линии	150
Режим работы	панорамирование
Питание камеры, В	12
Потребляемая мощность, Вт	8
Выходной сигнал камеры	стандартный теле- визионный сигнал
Габаритные размеры камеры, мм	110x102x190
Масса, кг:	
камеры (без объектива)	2,7
объектива	1,4

Тепловизор "Пировидикон-3" предназначен для наблюдения тепловых полей электротехнического оборудования железных дорог, электрических подстанций и других объектов. Возможно использование его для контроля соединения проводов из вагона-лаборатории контактной сети. Позволяет осуществлять контроль эффективности торможения колесных пар поезда, контроль теплового состояния проводов линий электропередач из вертолета.

Преимущества тепловизора:

- не требует охлаждения жидким азотом;
- минимальное обслуживание;
- любое рабочее положение;
- возможность записи на видеоманитофон;
- сменные объективы;
- выход для подключения к персональному компьютеру;
- питание от сети переменного тока 220 В, 50 Гц и от источника постоянного тока напряжением 12 В.

**Техническая характеристика
тепловизора "Пировидикон-3"**

Спектральный диапазон чувствительности, мкм	8—14
Минимальная обнаруживаемая разность температур, °С	0,5
Максимальная разрешающая способность, телевизионные линии	125
Поле обзора, град	10x10
Режим работы	панорамирование
Диапазон температур объекта, передаваемых без ограничения сигнала, град	30
Потребляемая мощность, Вт	8
Масса, кг	4,5
Блок запоминания информации:	
объем цифровой памяти	два кадра на 256x256 байт
калибровочный клин	8 градаций ярко- сти или 8 цветов
выход	для подключения к компьютеру
Масса, кг	3
Черно-белая или цветная термограмма в цифровой памяти.	

Наиболее совершенным по своим тепловизионным характеристикам и функциональным возможностям является цифровой модульный тепловизионный комплекс "Радуга-5". Он предназначен для использования в медицине, промышлен-

ности, при неразрушающем контроле и сопряжен с мини- или микроэлектронно-вычислительными машинами для обработки термограмм с расширенными функциональными возможностями и улучшенными метрологическими параметрами до уровня рабочего средства измерения.

Комплекс отличается более высокой по сравнению с предыдущими моделями ряда "Радуга" температурной чувствительностью — до 0,1 °С и широким диапазоном измеряемых температур — от 0 до 200 °С.

Состав комплекса: оптическая головка со штативом; выносной ИК-излучатель — рабочее средство измерения; блок цифровой обработки и сопряжения с компьютером; фотоаппарат со штативом, диапроектор и экран, цветное видеоконтрольное устройство; компьютер; видеоманитофон; программное обеспечение.

Техническая характеристика оптической головки

Порог температурной чувствительности, град	≤ 0,1
Мгновенный угол поля зрения, угл. мин	7,5
Поле обзора, угл. град	20x17,5
Частота кадров сканирования, Гц	25
Число строк сканирования	132
Число элементов в строке	184
Приемник излучения	11-элементный, охлаждаемый жидким азотом фотодиод

Техническая характеристика цветного видеоконтрольного устройства

Два визира для измерения температур.
Черно-белая и цветная термошкалы.
Вертикальный и горизонтальный термопрофили.
Выделение зоны с заданным перепадом температуры и изометрической линии.
Поле служебной информации — 10 строк на 16 знакомест.
Матрица разложения 5x7 элементов.
Частота кадров воспроизведения 50 Гц.

Расцветчивание термограмм:

- 16 цветов с разбивкой любого на 4 черно-белые градации;
- 4 черно-белые градации с разбивкой любой из них на 16 цветов;
- 16 черно-белых градации с разбивкой любой на 4 цвета;
- 4 цветные градации с разбивкой любой на 16 черно-белых градаций.

Дополнительные сервисные возможности:

- линейная межстрочная интерполяция при выводе термограмм;
- вывод позитивного или негативного изображения;
- запоминание трех дополнительных кадров изображения;
- вывод на отображение одного из четырех кадров (ранее запомненного или текущего);
- сопряжение с компьютером типа IBM/PC.

Программное обеспечение, служащее для обработки тепловизионных изображений, представляет собой пакет прикладных программ, позволяющих производить ввод в компьютер и вывод на видеоконтрольное устройство тепловизионных изображений в диалоговом режиме.

Пакет прикладных программ содержит следующие основные группы преобразований над двумерными массивами:

- поэлементные преобразования (линейные, гармонические, степенные);

локальные операции (повышение резкости изображения, выделение контура изображения, фильтрация импульсных помех);
 статическое оценивание (построение гистограм, нахождение среднего, дисперсии и тому подобное);
 геометрические манипуляции над изображениями.

ИК-излучатель "БИТ-200Ц" с цифровым управлением и цифровой индикацией температуры предназначен для формирования теплового поля квадратной формы размером 100x100 мм в диапазоне энергетической яркости от 133 до 893 Вт/(стерадиан · м²), что соответствует диапазону радиационных температур абсолютно черного тела от 293 до 472 К (от 20 до 199 °С). Применяется для калибровки тепловых приборов.

Универсальный инфракрасный Фурье-спектрометр "ЛАФС-02" предназначен для исследования оптических спектров твердых и жидких веществ, а также газов с разрешением, существенно превышающим достижимое для серийных дифракционных спектрометров. Фурье-спектрометр имеет более высокую фотометрическую точность и позволяет в 10—100 раз уменьшить инструментальное время измерения. Характерное время получения спектра при средних требованиях к разрешению и фотометрической точности составляет ~ 1 мин.

Данный Фурье-спектрометр разработан Центральным конструкторским бюро Азовского оптико-механического завода совместно с Центром микротехнологии и диагностики Санкт-Петербургского электротехнического института.

"ЛАФС-02" может быть использован для разнообразных работ в промышленности и исследованиях:

количественный химический анализ смесей органических веществ, растворов, газов;

медицина, фармакология: анализ лекарственных смесей, контроль лекарственных препаратов по ИК-стандартам;

экология: контроль предельно допустимых концентраций в атмосфере, содержание нефтяных продуктов в воде;

нефтехимия: анализ смесей и примесей, антиоксиданты в маслах;

полимеры и пластмассы: полимерные пленки, покрытия;

текстильная промышленность: идентификация волокон и тканей, смеси волокон, масла на волокнах и тканях;

эксперсс-анализ и мониторинг состава веществ в технологических процессах;

исследования свойств поверхностей и поверхностных слоев, неразрушающий контроль в микроэлектронике.

Техническая характеристика "ЛАФС-02"

Спектральный диапазон, мкм	2—20 (450—4500 см ⁻¹)
Спектральное разрешение, см ⁻¹	0,5
Время одного скана, с	1—10
Диаметр светового пятна на образце, мм	2—10
Размеры кюветного отделения, мм ³	280x200x200
Камеры спектрометра	герметичны
Основные режимы измерений	пропускание, отражение

По отдельному заказу могут быть разработаны методики и программное обеспечение для конкретных прикладных задач. Возможна поставка специализированных оптических приставок.

Завод "Агат" (г. Кстов Нижегородской обл.), выпускавший с 1978 г. тепловизор ТВ-03, приступил в 1994 г. к изготовлению автоматизированных тепловизи-

онных систем ТВ-04, созданных на базе малогабаритной камеры "КВИНН" и компьютера типа IBM/PC.

Малогабаритная камера "КВИНН" и сама система разработаны и подготовлены к серийному выпуску специалистами товарищества с ограниченной ответственностью "Скан Т" и Опытного конструкторского бюро при заводе "Агат" [26].

Отличительные особенности камеры "КВИНН": малые масса и габаритные размеры, отсутствие шума, простота изготовления, низкая стоимость.

Техническая характеристика

Температурное разрешение, град	0,1
Угол зрения, угл. град	15x15
Угловое разрешение, угл. мин	1,0
Период кадровой развертки, с	3
Габаритные размеры, мм	100x170x220
Масса, кг	2,5
Расстояние до объекта, м	0,3—500

Оптическую технику для ночных наблюдений выпускает Ростовский оптико-механический завод (г. Ростов Ярославской обл.) [6, 7]. Для наблюдения в условиях воздушного базирования, разведки, поисковых спасательных операций, охраны и тому подобного предлагается набор ночных зрительных труб НЗТ-1 (основная базовая модель), НЗТ-8М и НЗТ-10Б. В них используются электронно-оптические преобразователи (ЭОП) новой конструкции с элементами волоконной оптики.

Техническая характеристика трубы НЗТ-8М с лазерным подсветом

Увеличение, крат	4,7
Поле зрения, град	12
Разрешающая способность, угл. с	100
Диапазон диоптрийной наводки, не менее	± 4 диоптрии
Максимальный рабочий диапазон при благоприятных условиях видения, м, не менее	150
Рабочий спектральный диапазон ЭОПа, мкм	0,35—0,95
Коэффициент:	
преобразования ЭОПа	100
светопропускания объектива	0,82
Максимальная длительность работы лазера, ч, не менее	1000
Питание, В	9
Габаритные размеры трубы, мм ³	250x110x95
Масса трубы, кг	1,42

Для наблюдения практически в полной темноте предназначена труба НЗТ-10Б:

Увеличение, крат	3,5
Поле зрения, град	12
Разрешающая способность, угл. с	125
Диапазон диоптрийной наводки, не менее	± 4 диоптрии
Максимальный рабочий диапазон при благоприятных условиях видения, м, не менее	1500
Минимальное освещение объекта, люкс, не более	0,0004
Рабочий спектральный диапазон ЭОПа, мкм	0,35—0,95
Коэффициент:	
преобразования ЭОПа	20 000
светопропускания объектива	0,82
Питание, В	9

Габаритные размеры трубы, мм³ 350x110x140
 Масса трубы, кг 2,15

На подобных же принципах, как и НЗТ-10Б, построен ночной прицел НП-2. Коэффициент преобразования его ЭОПа составляет 30 000, масса прицела 1,4 кг. Остальные характеристики близки к данным для НЗТ-10Б.

Инвестиционные проекты

В специализированной базе данных по инвестиционным проектам (Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации) представлен ряд проектов российских предприятий, имеющих непосредственное отношение к проблеме воздушного обнаружения тепловых источников в грунте или на поверхности земли [28].

УЧЕТНЫЙ НОМЕР ПРОЕКТА Т67

Наименование проекта:

Создание многоцелевой самолетной системы, предназначенной для проведения комплексного контроля параметров окружающей среды и подстилающей поверхности с помощью формирования цифровых карт участков поверхности.

Краткая характеристика проекта, ожидаемые результаты, продукция проекта:

Летающая лаборатория на базе самолета Ил-76. Высотный поисковый самолет с комплексом оборудования для распознавания малозаметных целей. Позволяет производить следующие виды работ:

составление геологоразведочных карт местности;

разведку рыбных запасов, определение положения рыбопродуктивных зон в океане;

контроль и оценку состояния газо- и нефтепродуктов в удаленных и труднодоступных районах.

Необходимый объем финансирования: 2,2 млрд. руб.

Форма участия и условия привлечения инвестора:

Кредит. Участие в акционерном капитале.

Название предприятия:

Центральный научно-исследовательский институт "Комста" (Москва).

УЧЕТНЫЙ НОМЕР ПРОЕКТА Ж24

Название проекта:

Создание системы вертолетного экологического патрулирования и мониторинга.

Краткая характеристика проекта, ожидаемые результаты, продукция проекта:

Цель проекта — создание наземных сетей экомониторинга с использованием вертолетов для обеспечения контроля загрязнения окружающей среды. Бортовой комплекс предусматривает:

создание первой очереди системы экологического мониторинга региона в составе постов, центральной лаборатории и вертолетного комплекса разведки, оснащенный необходимым технологическим оборудованием;

подготовку и организацию на площадях Научно-производственного предприятия "Повет" серийного производства аппаратуры;

строительство в Нижегородском регионе территориального экологического центра;

оснащение центра созданной в результате совместного производства аппаратуры, техническое обслуживание аппаратуры.

Необходимый объем финансирования: 250 млн. дол.

Название предприятия:

Научно-производственное предприятие "Полет" (г. Нижний Новгород).

УЧЕТНЫЙ НОМЕР ПРОЕКТА Т53

Наименование проекта:

Производство комплексов контроля состояния нефтегазопроводов на базе аэростатических летательных аппаратов, оснащенных спецаппаратурой.

Краткая характеристика проекта, ожидаемые результаты, продукция проекта:

Реализация проекта способствует предотвращению аварий на нефтегазопроводах в результате своевременного выявления их дефектов. Комплекс средств контроля включает: аэростатический носитель (дирижабль) грузоподъемностью 600 кг, оснащенный спецаппаратурой; комплекс наземного оборудования. На борту дирижабля установлена аппаратура для дистанционного обнаружения дефектов трубопроводов.

Объем производства — 4 шт./год.

Необходимый объем финансирования: 3,835 млрд. руб.

Срок окупаемости — 4 года.

Ожидаемый годовой доход и прибыль:

Прибыль от эксплуатации одного комплекса — 150 млн. руб. в год.

Форма участия и условия привлечения инвестора:

Совместное предприятие.

Название предприятия:

Государственный ракетный центр "КБ имени академика В. П. Макеева".

УЧЕТНЫЙ НОМЕР ПРОЕКТА Ж10

Наименование проекта:

Тепловизионная система для неразрушающего контроля.

Краткая характеристика проекта, ожидаемые результаты, продукция проекта:

Задачей проекта являются разработка и выпуск ИК-системы на базе пировидиконной камеры. ИК-система состоит из камерного блока, видеоманитфона и персонального компьютера. Она предназначена, главным образом, для бесконтактного дистанционного контроля на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях, на высоковольтных линиях электропередач. Но может использоваться также в горнодобывающей промышленности, на железнодорожном транспорте, для контроля за технологическими процессами в производстве бумаги, металлопроката, полимерных пленок, для поисковых работ пострадавших на пожарах, в завалах и в медицинской диагностике.

Широкий спектр использования ИК-системы обусловлен принципом ее действия. Она воспроизводит температурное поле объекта за счет его собственного излучения и по отклонениям от норм позволяет выявить эффективность контролируемых объектов. Система имеет следующие эксплуатационные характеристики:

не требует криогенного охлаждения приемника, так как рабочая температура видикона — комнатная;

большой ресурс работы;

имеет совмещенный с ИК-каналом канал видимого изображения, что облегчает выбор объекта и повышает информативность получения результатов.

Рынок сбыта:

Предполагаемая цена (дол.):

	внутренний рынок:	внешний рынок:
теповизионная система	10 500	15 000
теповизионная камера	7000	10 000
пировидикон в комплекте с ФОС	700	1000

Объем экспорта — 30 %.

Проектный объем продаж (шт.):

теповизионная система — 100;

теповизионная камера — 500;

пировидиконы в комплекте с ФОС — 500.

Стадия завершенности разработки:

Бизнес-план.

Необходимый объем финансирования:

Необходимые инвестиции — 1 500 000 дол.

Название предприятия:

Центральный научно-исследовательский институт "Электрон".

РЕЗЮМЕ

Представленные материалы показывают, что наиболее распространенным вариантом реализации комплекса дистанционного контроля и обнаружения тепловых источников является вертолетное базирование. Однако в большинстве случаев такие отечественные вертолетные комплексы, создаваемые, в первую очередь, для нужд диагностики состояния газопроводов, пока находятся в стадии испытания экспериментальных образцов, которые, тем не менее, во многих случаях превосходят зарубежные аналоги по своим параметрам и функциональным возможностям. Это является прямым следствием высокого технического и технологического уровня отечественного военно-промышленного комплекса, все активнее вступающего в полосу конверсионной перестройки.

По той же причине одновременно можно уверенно сказать, что Россия находится на передовых рубежах в практических попытках использования беспилотных аппаратов в народнохозяйственных целях, в том числе в задаче воздушного контроля тепловых наземных источников. Это касается как беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета и посадки (вертолетной схемы), так и дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов самолетной схемы.

Видимо, во всех указанных областях может быть налажено достаточно эффективное сотрудничество с зарубежными инвесторами и потребителями, что придаст мощный дополнительный стимул для дальнейшего развития техники воздушного обнаружения тепловых источников в грунте.

Литература

1. Носов Ю. Р. Приборы с зарядовой связью. — М., 1989.
2. Аксененко М. Д. и др. Приемники оптического излучения. — М., 1987.
3. Андреева А. С. //Электронная пром-сть, 1994. С. 3. Спецвыпуск.
4. Андреева А. С. //Там же. С. 16.
5. Коптев Ю. Н. //Радитехника, 1995, № 10. С. 83.
6. Информационный материал "Элерс-Электрон Лтд"; Военный парад (Military Parade), 1995. September-October, 1995.
7. Курбатов А. П. и др. //Оптический журнал, 1993. № 12. С. 40.
8. Ашеулов А. А. и др. //Там же. 1994. № 2. С. 1.
9. Панкратов Н. А. //Там же. 1993. № 8. С. 20.
10. Данилов В. В. и др. //Там же. 1994. № 2. С. 53.
11. Информационный материал ЦНИИ "Электрон", сентябрь, 1995.
12. Омелаев А. И. и др. //Оптический журнал, 1993. № 9. С. 28.
13. Гуляев Ю. В. и др. //Информационное сообщение Оптического общества, июль, 1994.

14. Кандыба В. В. и др.//Авиационная пром-сть, 1990. № 4. С. 41.
15. Дмитриев Е. И. и др.//Оптический журнал, 1994. № 10. С. 3
16. Falikov E. J. GosNIAS airborne platforms for remote sensing, presented at the First Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, 11—15 September, 1994.
17. Информационный материал Самарского государственного НПО автоматических систем, октябрь 1995.
18. Информационный материал ПО "Азовский оптико-механический завод", октябрь, 1995.
19. Информационный материал ГП "КБ ТОЧМАШ", сентябрь, 1995.
20. Научно-технические достижения/ ВИМИ, 1993, № 10. С. 12.
21. Янкевич Ю., Веркин Ю.//Гражданская авиация, 1995, № 11. С. 6.
22. Фурман А. И.//Метеорология и гидрогеология, 1994, № 1. С. 105.
23. Информационный материал НПО "Астрофизика", октябрь, 1995.
24. Перечень изделий, выпускаемых производственным объединением "Азовский оптико-механический завод"; ПО "АОМЗ", 1994.
25. Каталог изделий Азовского оптико-механического завода, 1995.
26. Информационное сообщение Оптического общества им. Д. С. Рождественского, июнь, 1994.
27. Информационный материал Ростовского оптико-механического завода, июнь, 1993.
28. Инвестиционные проекты предприятий России//Информационный бюллетень, ВИМИ, 1995. № 1—5.
29. Информационное сообщение ИНЭПХФ РАН и ИТФ "САНТА"; декабрь, 1995.
30. Янкевич Ю., Веркин Ю.//Гражданская авиация, 1995, № 11. С. 6.
31. Березанский В. М., Гарбуль А. А. и др.//Проблемы информатизации, 1995, № 4. С. 71.

AIR DETECTION OF THERMAL GROUND SOURCES (The analytical review of investigations in Russia)

V. I. Barinov

The All-Russia Research Institute of Interbranch Information, Moscow, Russia

The review of a modern condition of the Russia conversional researches and developments of infrared equipment and onboard complexes for operative thermal ground sources detection from board of the flying apparatus is given in this article.