



К истории тепловизионного мониторинга наземной обстановки



Борис ЛЁВИН
Boris A. LIEVIN

Юрий ИНЬКОВ
Yuri M. INKOV



Игорь ОВЧАРОВ
Igor V. OVCHAROV

Лёвин Борис Алексеевич — доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Иньков Юрий Моисеевич — доктор технических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.

Овчаров Игорь Валентинович — кандидат технических наук, начальник управления НТИ Всероссийского электротехнического института им. В. И. Ленина (ВЭИ), Москва, Россия.

Стремительное развитие оптико-электронных, компьютерных, авиационных технологий открывает новые возможности для повышения безопасности и улучшения условий эксплуатации техники на железнодорожном транспорте.

Свою роль в этом усиливают и беспилотные летательные аппараты, оснащенные средствами технического зрения. Они могут стать незаменимыми помощниками в системе контроля наземной обстановки, особенно в случаях возникновения нештатных ситуаций на дорогах.

Связанные с опытом подобного рода исследовательские направления рождаются на стыке разных областей знания.

И важно проследить исторические пути их развития, чтобы верно оценить будущие возможности ученых и инженеров.

Ключевые слова: транспорт, воздушная разведка, техническое зрение, беспилотные летательные аппараты.

Техническое зрение призвано дополнить или заменить обычное зрение человека-оператора. Его рождение можно отнести к моменту появления первых фотоэлементов в начале XX века.

Таким зрением является прежде всего телевидение (ТВ) — «видение на расстоянии». Оно стало использоваться на железнодорожном транспорте с 1947 г., хотя было изобретено в 1907 г. профессором Политехнического института (г. Санкт-Петербург) Б. Л. Розингом. Его патент на изобретение называется «Передача изображений на расстояния». Видные советские ученые ещё в довоенные годы предвидели большое значение радиоэлектроники и телевидения для народного хозяйства, в том числе для железнодорожного транспорта. Будущий академик С. А. Векшинский в 1940 г. писал советскому руководству: «Возможность... контролировать работу железных дорог, осуществлять связь на любые расстояния... — вот что такое электронная лампа...». Один из пионеров отечественного телевидения В. И. Архангельский предвидел перспективы прикладного телевидения: ночного, подводного, стереоскопического и другого.

В работе [1] сделан вывод, что «современные технологии электронной тахеометрии, спутниковых определений, *технологии аэрокосмического зондирования*, лазерного сканирования и т. д., безусловно, должны быть отнесены к категории геоинформационных технологий, которыми призвана заниматься геоинформатика транспорта» (*курсив автора*). К технологиям аэрозондирования относятся высокочувствительные бортовые системы телевидения, ночного видения и тепловидения. Они могут обеспечить круглосуточный мониторинг наземной обстановки, в том числе в случаях возникновения критических ситуаций на железнодорожном транспорте.

В недалеком будущем к ним добавятся пассивные системы «радиовидения» субмиллиметрового (терагерцового) и миллиметрового диапазонов, так как существует множество ситуаций, когда необходимо получать адекватный зрительный образ предметов, не различимых в видимом или инфракрасном свете — в густом тумане, дыму, облаках, пылевой (песчаной) буре, в условиях интенсивных боевых действий и т. п. В настоящее время ясно показано, что на основе миллиметрового (микроволнового) и субмиллиметрового диапазонов можно отчетливо увидеть скрытые предметы сквозь затуманенную атмосферу. Эти радиоволны практически свободно проходят сквозь неметаллические покровы и имеют длину волны, достаточную для формирования образа предмета с разрешением до нескольких миллиметров вблизи (на расстояниях в несколько метров) и до нескольких метров на далеких расстояниях (в сотни-тысячи метров).

Данные технологии относятся к тем актуальным направлениям, которые рождаются на стыке различных областей знаний [2,3]. Важно проследить исторические пути их развития, чтобы верно оценить возможности и выбрать оптимальные схемы построения [4].

В литературе описаны попытки проведения дневной разведки с воздушных шаров — монгольфьеров, затем — с самолетов. Вторая мировая война показала актуальность ночной разведки с использованием инфракрасных (ИК) лучей. Во время вьетнамской войны американцы начали применять тепловизоры для обнаружения

с воздуха замаскированных объектов противника. С другой стороны, часть вьетнамских истребителей МИГ-15 была оснащена ИК-теплореленгаторами [5,6,7].

С началом разработки в СССР в 1950-х годах чувствительных и быстродействующих полупроводниковых ИК-приемников излучения на основе селенида свинца, а затем и сурьмянистого индия появилась возможность создания не только теплореленгаторов, но и тепловизоров, работающих в атмосферном окне прозрачности 3–5 мкм, а позже и 8–13 мкм.

Тепловидение — вид технического зрения, использующий собственное тепловое излучение объектов. Первые шаги тепловидения как за рубежом, так и в нашей стране относятся к 50-м годам XX века. Вскоре оно стало активно применяться на транспорте.

Самые первые отечественные тепловизоры были созданы в ленинградском Государственном оптическом институте (ГОИ) и в московском Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ). Уже в начале 1960-х годов появились приборы, специально разработанные для установки на летательных аппаратах. Естественно, дальность видения зависит от погоды, времени года, времени суток. В темное время суток надо использовать приборы ночного видения, в первую очередь низкоуровневые камеры, чувствительные в ближней инфракрасной области, и тепловизоры. Исследования в этой области проводятся в МИИТ.

Поначалу тепловизоры были громоздкими, использовалось механическое сканирование и охлаждение приемников жидким азотом. Современные их конструкции по массогабаритным характеристикам и удобству пользования уже мало отличаются от обычных видеокамер, однако их стоимость во много раз больше. Это связано с высокой стоимостью матричных ИК-приемников и оптики. Намечаются пути решения проблемы. Ведутся работы и по совершенствованию измерительных качеств тепловизоров.

В книге [6] отмечалось, что тепловидение использовалось в основном для двух целей.

1. Высококачественное пассивное ночное видение.
2. Получение представления о температурном состоянии объекта по его тепловому полю.



Тот же автор [6] делит по назначению приборы, формирующие тепловые изображения, на три группы:

- термографические камеры медицинского и научно-исследовательского назначения;

- тепловизоры, работающие в реальном масштабе времени, в том числе инфракрасные системы переднего обзора FLIR;

- направленные вниз системы для получения тепловых карт местности (их мы рассмотрим подробнее).

В аппаратуре ГОИ [8] использовался фоторезистор из селенида свинца, охлаждаемый жидким азотом. Тепловая двухмерная карта местности формировалось путем оптико-механического сканирования поперек движения самолета-носителя (одно измерение) и самим его движением в продольном направлении (второе измерение). Съемки проводились в 1967 г. Были получены достаточно четкие изображения долины болотистой реки, кратера вулкана, костра, трещины во льду, стада коров, трубопровода с теплой водой. Основным недостатком данной аппаратуры, с позиций нашего времени, являлся её вес — около 300 кг.

Если разработки ГОИ довольно детально освещены в журнале «Оптико-механическая промышленность» и других изданиях, то авиационные тепловизоры ВЭИ практически неизвестны. После снятия секретности по истечении установленного срока с документов архива ВЭИ появилась возможность ввести в научный оборот новые, закрытые ранее материалы по истории отечественной ИК-техники.

В 1964 г. была закончена разработка тепловизора «Градус-М» [9]. Её задача — создание установки для воздушной тепловой разведки целей. Действующий макет установки появился еще в 1961 г. и предназначался для размещения на вертолете МИ-4. В макете был применен объектив с параболическим зеркалом диаметром 200 мм и $F=270$ мм, строчная развертка — горизонтальная.

Параметры макета закладывались так, что при высотах менее 320 м скорость полета вертолета должна быть ниже 80 км/ч. Однако достижение таких скоростей на вертолете МИ-4 практически неосуществимо, поэтому в макете «Гра-

дус II» было предусмотрено отслеживающее устройство, позволяющее поворачивать камеру с различной угловой скоростью в направлении, противоположном полету.

Были проведены испытания, которые показали, что установка позволяет при воздушной разведке с высот 200–400 м не только обнаруживать, но и в большинстве случаев дешифровать и опознавать типовые тактические цели (танк, артиллерийский тягач с пушкой, автомашины, вертолет) по их тепловому излучению, а также получать с высоты 400–600 м тепловую карту местности с ее элементами: шоссейными, грунтовыми, железными дорогами, населенными пунктами, реками, озерами, лесными массивами и т. д.

В 1962–1964 гг. был разработан и успешно прошел испытания усовершенствованный вариант аппаратуры «Градус М» с приемником излучения из сурьмянистого индия. Строчная развертка осуществлялась вращающейся четырехгранной зеркальной пирамидой из полированной стали. Кадровая развертка — движением носителя. Предусматривалось два варианта применения аппаратуры: на скоростном носителе и вертолете, однако испытывалась аппаратура только на последнем. Наблюдение и фотографирование тепловых карт местности шло посредством видеоконтрольного устройства на борту вертолета.

Испытания тепловизора дали положительные результаты. По их итогам было принято решение о создании более совершенной аппаратуры для установки на скоростном самолете-носителе. Такая аппаратура с шифром «Простор» разработана под руководством И. А. Лобанёва, и в отличие от тепловизоров ГОИ и «Градус-М» она предусматривала не только бортовую запись тепловых карт, но и передачу их по радиоканалу на расстояние до нескольких десятков километров. Вес тепловизора «Простор» не превышал 75 кг [10]. В тепловизорах ВЭИ с оптико-механическим сканированием применялись фотовольтаические приемники на основе сурьмянистого индия, охлаждаемые жидким азотом.

Аппаратура «Простор» имела такие основные параметры:

1. Энергетическая разрешающая способность — 1 градус Цельсия на темпера-



Рис. 1. Размещение тепловизора «Простор»:
1 – оптико-механический блок;
2 – блок обработки и регистрации сигналов.

Pic. 1. Allocation of thermal imager «Prostor»:
1 – optical-mechanical assembly;
2 – signal processing and recording assembly.

турном фоне + 20 градусов (в середине угла обзора).

2. Геометрическая угловая разрешающая способность – 1,5 миллирадиан (также в середине угла обзора).

3. Количество воспроизводимых черно-белых градаций яркости – не менее 5.

4. Полоса захвата на местности – не менее 2,5 Н, где Н – высота полета.

Такие параметры примерно соответствовали типичным образцам американской аппаратуры того времени.

На рис. 1 показан тепловизор «Простор» в типовом подвесном контейнере.

На рис. 2 показан пример тепловой карты местности, полученной тепловизором «Простор», переданной по радиоканалу на наземный приемный пункт и записанной на фотопленку с помощью серийной аппаратуры ТАРК-2. Испытательный полёт проходил ночью 14 августа 1973 г. на высоте 200 метров со скоростью 600 километров в час. Опытный наблюдатель-дешифровщик распознал железнодорожные пути с двухсекционным тепловозом (два светлых прямоугольника)

и состав из 18–20 вагонов (темные прямоугольники). Испытатели в отчете отмечают недостатки изображения: тепловую засветку сверху и снизу фотографии. Вероятно, засветка была вызвана попаданием в поле зрения тепловизора деталей корпуса подвесного контейнера. Эти и другие недостатки аппаратуры вскоре устранили, и в 1975 г. она была принята на вооружение Военно-воздушных сил.

Современное техническое зрение, базирующееся на оптико-электронных системах разных спектральных диапазонов, призвано содействовать повышению безопасности движения поездов, в том числе в критических ситуациях. Это особенно актуально по мере того, как железнодорожный транспорт становится интеллектуальным [11].

Ряд организаций с успехом применяет подобные «Простору», но значительно более усовершенствованные сканирующие тепловизоры («Вулкан-4000», «ИРТИС» и др.) для воздушного мониторинга трубопроводов, ЛЭП, лесных пожаров, экологического контроля. Они имеют высокую

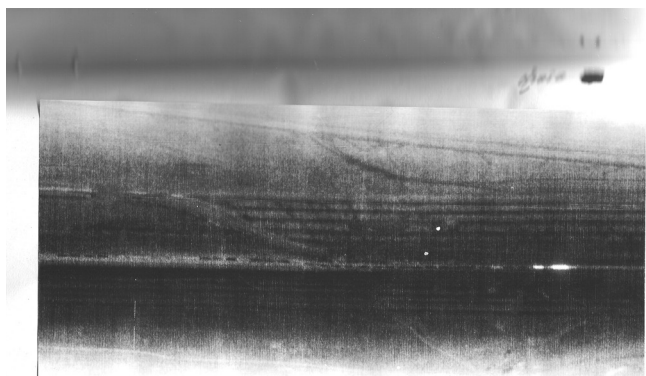


Рис. 2. Ночное тепловизионное изображение железнодорожных путей и состава с тепловозом. 1973 г.

Pic. 2. Night thermal image of rail tracks with a train and diesel locomotive. 1973.



разрешающую способность и позволяют проводить достоверные измерения температурных полей.

В наше время оптико-электронные приборы становятся все более компактными, совершенствуются каналы связи и системы управления. Реально комплектование пожарных, ремонтных, снегоочистительных и других специальных поездов беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) с возможностью круглосуточного мониторинга. В этом случае такие положительные свойства сканирующих тепловизоров, как равномерность по полю зрения, высокие измерительные качества, отходят на второй план. В БПЛА следует монтировать неохлаждаемые тепловизионные камеры на микроболометрических матрицах. Желательно применение ИК-объективов с переменным фокусным расстоянием. Возможно создание беспилотника с электроприводом.

Авторы предвидят большое будущее у радиовидения — направления, пограничного между тепловидением и радиолокацией. Развитие этого направления в литературе почти не освещено, а между тем его перспективы в сфере железнодорожного транспорта значительны. Для безопасного вождения поездов целесообразно получать адекватный зрительный образ предметов, не различимых в видимом или инфракрасном свете — в густом тумане, при снегопаде, в дыму, пылевой (песчаной) буре и т. п. Кроме того, дальность действия тепловизоров уменьшается в случае дождя, так как пленка воды на объекте снижает энергетический контраст. В настоящее время показано, что радиоволны миллиметрового (микроволнового) и субмиллиметрового (терагерцового) диапазонов имеют длину, достаточную для формирования образа предмета с разрешением до нескольких метров на расстояниях в сотни-тысячи метров. Такие работы ведутся в лаборатории МГУ и ряде других отечественных и зарубежных организаций.

Рассматривая современное состояние и перспективы технического зрения, отметим, что уже несколько лет в Институте космических исследований РАН проводится ежегодная научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления».

Тематика конференции охватывает различные аспекты разработки и построения систем технического зрения. Особое внимание уделяется бортовым системам технического зрения, входящим в состав мобильных объектов и предназначенным для решения задач автономного и автоматизированного управления в сложной, неопределенной и быстро изменяющейся внешней обстановке, что полностью соответствует и нуждам железнодорожного транспорта.

ВЫВОДЫ

1. В нашей стране накоплен большой опыт создания систем технического зрения, в том числе тепловизионных систем воздушной разведки и мониторинга. Эти системы позволяют повысить безопасность движения и производительность труда на транспорте.

2. Плодотворной является межотраслевая научная кооперация в этой области.

3. Ученым и инженерам следует обратить повышенное внимание на разработку систем радиовидения для железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лёвин Б. А., Матвеев А. С., Розенберг И. Н. Концепция геоинформатики транспорта // Мир транспорта. — 2011. — № 5. — С. 4–7.
2. Лёвин Б. А. Межотраслевая научная кооперация: императивы развития // Мир транспорта. — 2003. — № 2. — С. 4–11.
3. Белый О. В. Фундаментальная наука и перспективы отечественного транспорта // Мир транспорта. — 2003. — № 4. — С. 24–30.
4. Лёвин Б. А. Колесо истории и пути прогресса // Мир транспорта. — 2003 — № 1. — С. 3–4.
5. Хадсон Р. Инфракрасные системы: Пер. с англ./ Под ред. Н. В. Васильченко. — М.: Мир, 1972. — 534 с.
6. Ллойд Дж. Системы тепловидения: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 414 с.
7. Ovcharov I. V. Russian Thermal Vision is more than 50 years old // Proceed. of the 11th Asian Symposium on Visualization. Toki Messe, Niigata, Japan. June 5–9, 2011. ASV11–15–04.
8. Мирошников М. М., Кариженский Е. Я. и др. Тепловидение при изучении природных ресурсов с воздуха // Оптико-механическая промышленность. — 1971. — № 3. — С. 7–15.
9. Отчет по научно-исследовательской работе «Аппаратура для тепловой воздушной разведки (шифр «Градус-М»». Архив ВЭИ, инв. № 59, 1964. — 39 с.
10. Акт № 1 по результатам государственных совместных лётных испытаний инфракрасно-телевизионного комплекса воздушной разведки «Простор» для самолёта МИГ-21р. Архив ВЭИ, инв. № 349, 1973. — 36 с.
11. Бадёр М. П., Иньков Ю. М., Розенберг Е. Н. Энергосберегающие технологии интеллектуального железнодорожного транспорта // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2012. — № 4. — С. 36–43.