

# **МАЛОГАБАРИТНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ СКАНЕР ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Г.И. Ясинский\*, Н.И. Павлов\*, А.Б. Бельский\*\*

\*НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор

\*\*Красногорский завод им. С.А.Зверева, г. Красногорск

Рассматриваются варианты построения малогабаритного многоспектрального авиационного сканирующего прибора для дистанционного зондирования земной поверхности в оптическом (от 0,3 до 12 мкм) диапазоне спектра. Приводится описание состава, основных параметров и технических характеристик созданного прибора. Представлены изображения, полученные с использованием прибора в ходе наземных и летных экспериментов.

Основной тенденцией развития современных авиационных оптико-электронных систем дистанционного зондирования земной поверхности является создание многоспектральных комплексов, обеспечивающих получение цифровых изображений одновременно в нескольких спектральных диапазонах (см., например, [1-3]). Современные оптическая и электронная элементные базы позволяют разрабатывать многоспектральные оптико-электронные приборы со значительно уменьшенными массой и габаритными размерами при сохранении высоких технических характеристик. В статье [4] сообщалось о разработке малогабаритного авиационного сканирующего прибора, способного регистрировать одновременно два изображения одного и того же поля наблюдения в видимом (0,4-0,9 мкм) и ИК (8-12 мкм) участках спектра. Возможным размещением прибора является борт или подвесной контейнер самолетов и вертолетов. При сопоставимых технических характеристиках с ранееенным в НИИКИ ОЭП многоспектральным оптико-электронным комплексом «Везувий-ЭК» [5,6] в указанном выше приборе удалось примерно на порядок уменьшить вес и габаритные размеры.

Настоящая работа посвящена дальнейшему развитию малогабаритного сканирующего прибора для круглосуточного дистанционного мониторинга земной поверхности путем получения цифровых изображений в диапазоне спектра от 0,3 до 12 мкм. Число рабочих диапазонов в зависимости от комплектации составляет от 2 до 6. Состав прибора включает оптико-механический и аппаратно-программный блоки, а также пульт управления. Значительное внимание уделяется анализу вариантов построения оптической схемы с использованием различных фотоприемных устройств (ФПУ). Приводятся изображения, полученные созданным макетом прибора в ходе наземных и летных экспериментов.

В базовом варианте прибора используется единое оптическое окно для всех рабочих диапазонов (рис.1). Входной поток излучения разделяется сканирующим двухгранным зеркалом на две части: первая часть потока направляется на зеркальный параболический объектив, в фокальной плоскости которого находится линейное одноцветное (8-12 мкм) или двухцветное (3-5 и 8-12 мкм) ФПУ теплового диапазона; вторая часть потока с помощью системы неподвижных зеркал, включая двухгранное зеркало, поступает через соответствующие световые фильтры на линзовье объективы видимого и ближнего ИК (или ультрафиолетового) участков спектра, далее соответственно на трехцветное ФПУ видимого диапазона, одноцветное ФПУ ближнего ИК или УФ диапазона, выполненные на линейных ПЗС-структурах. Достоинством рассмотренного варианта является возможность естественного «попиксельного» совмещения полей наблюдения во всех используемых спектральных диапазонах, что упрощает совместную обработку получаемых изображений.

Второй вариант предусматривает исполнение прибора практически в тех же габаритах и массе, но с отдельными оптическими окнами для солнечного (видимый, ближний ИК или УФ участки спектра) и теплового ( дальний или средний и дальний ИК диапазоны) излучений (рис.2). Тепловой канал выполнен, как и в базовом исполнении, с использованием сканирующего двухгранных зеркала, с которого поступающий поток направляется в ИК объектив. Солнечный канал выполнен с использованием неподвижных зеркал, включая двухгранное зеркало для разделения поступающего светового потока, световых фильтров и линзовых объективов с соответствующими ФПУ. Достоинством этого варианта является независимая работа теплового и солнечного каналов, отсутствие ограничения на использование линейных ПЗС-структур с высокой частотой опроса, снижающей чувствительность из-за уменьшения времени накопления, возможность увеличения чувствительности теплового канала за счет увеличения эффективного размера входного зрачка. В настоящее время ведется изготовление прибора по данной схеме.

Схему на рис.2 можно изменить путем введения дополнительных зеркал для разделения светового потока после зеркала 2, спектральных фильтров из цветного стекла, вырезающих три заданные области в видимом спектре, и линзовых объективов с однотипным линейным ФПУ на ПЗС. Недостатки – применение четырех линзовых объективов вместо двух. Усложняется также юстировка объективов из-за необходимости «попиксельного» сведения их входных зрачков. Кроме этого, длина оптико-механического блока возрастает с 350 до 480 мм при значительно увеличенных размерах входного оптического окна для солнечного канала.

Перспективным развитием второго варианта исполнения является использование в тепловом канале вместо зеркальной оптики линзового ИК объектива с большим линейным полем под ФПУ на КРТ (CdHgTe) формата 4×288, что позволит достичь пороговой чувствительности 0,05К и менее. Соответственно повышается вероятность обнаружения малоразмерных и низкоконтрастных объектов в ИК диапазоне. Естественно, линзовый ИК объектив оказывается тяжелее и дороже в изготовлении, чем его зеркальный аналог.

Базовый вариант прибора с единственным оптическим окном реализован в макете, пригодном для проведения наземных и летных съемочных работ (см. рис.1). Основные характеристики созданного макета прибора: масса оптико-механического блока 7,5 кг; габаритные размеры 350×Ø200 мм; угол поля обзора до 120 градусов; мгновенный угол зрения в среднем (3-5 мкм) и дальнем (8-12) ИК диапазонах составляет 0,5 мрад; в УФ, видимом и ближнем ИК участках спектра мгновенный угол зрения лежит в диапазоне 0,5...0,125 мрад в зависимости от параметров используемых объективов и размеров чувствительных элементов ФПУ; пороговая чувствительность (разность температур, эквивалентная шуму) 0,1К; радиометрическое разрешение 12 бит/элемент; потребляемая мощность 50 Вт при бортовом напряжении 27 В. Рекомендуемые рабочие высоты носителя составляют 50-3000 метров, а отношение скорости полета носителя к высоте при беспропускной съемке не более  $0,35 \text{ с}^{-1}$ .

Сканирующий узел, выполнен в виде двухгранных металлического зеркала с диаметром 107 мм и шириной 57 мм. Параболическое зеркало, выполняющее функцию объектива для теплового канала (фокусное расстояние объектива 100 мм, световой диаметр 120 мм, диаметр центрального отверстия 20 мм) выполнено также на металлической основе.

Сменное ФПУ теплового диапазона выполнено в двух вариантах: одноцветном и двухцветном. Одноцветное ФПУ теплового диапазона (изготовитель НПО «Орион») включает фоторезистор на КРТ (CdHgTe) в виде 16 фоточувствительных элементов, расположенных в одну линейку и интегрированных с миниатюрной газокриогенной

системой охлаждения типа Стирлинг, а также блок управления системой охлаждения и электронный блок предварительных усилителей со стабилизаторами напряжения. Основные технические характеристики: спектральный диапазон чувствительности 8-12 мкм; размеры фоточувствительного элемента 50×50 мкм; удельная обнаружительная способность  $4 \times 10^{10}$  см·Гц<sup>1/2</sup>·Вт<sup>-1</sup>; рабочая температура охлаждения фоточувствительных элементов 77 К; масса устройства 1 кг. В двухцветном ФПУ (изготовитель также НПО «Орион») используется две линейки по 8 фоточувствительных элемента, расположенных в шахматном порядке. Удельная обнаружительная способность составляет  $2 \times 10^{11}$  см·Гц<sup>1/2</sup>·Вт<sup>-1</sup> и  $4 \times 10^{10}$  см·Гц<sup>1/2</sup>·Вт<sup>-1</sup> в диапазонах 3-5 и 8-12 мкм соответственно. Масса устройства также 1 кг.

В качестве основного ФПУ для видимого канала используется ПЗС PD3798, содержащий 3 линейки элементов, чувствительных в голубой (400-500 нм), зеленой (500-600 нм) и красной (600-800 нм) областях спектра. Другие основные характеристики ПЗС PD3798: число элементов в линейке 5348; размер элемента 7 мкм; максимальная частота опроса 5 МГц; выход, совместимый с КМОП. Применяемый объектив ПЗС имеет при относительном отверстии 1:1,4 фокусное расстояние  $f'_{\text{пзс}} = 18,2$  мм. Имеющееся рассогласование величины мгновенного угла поля зрения в видимом канале (0,4 мрад) с соответствующей величиной в ИК канале (0,5 мрад) при попиксельном совмещении изображений компенсируется программным способом. Дополнительно для получения изображений в УФ диапазоне использовалось ФПУ на ПЗС ISD-017A, который имеет фоточувствительную ячейку со структурой "виртуальной фазы" и по сравнению с обычными ПЗС обладает повышенным значением квантовой эффективности в УФ диапазоне от 200 до 400 нм.

Летные эксперименты с макетом прибора, устанавливаемым на борту самолета АН-30 и вертолете МИ-8, подтвердили его работоспособность (см. рис.3) и хорошее качество получаемых изображений. Показано также, что использование однокоординатной поворотной платформы расширяет функциональные возможности сканирующего прибора в части решения задач наземных наблюдений (см. рис.4), включая формирование банка данных по оптическим характеристикам феноцелевой обстановки, исследование информативных признаков объектов в видимом и ИК диапазонах и т.д.

### Литература

1. G.R. Dyer. Airborne Reconnaissance into the 21-st Century. – In Proceedings of SPIE, Airborne Reconnaissance XXII, vol. 3431 (1998), p. 26-34.
2. Haochen Liang, Guoqing Ni, Zhenfu Zhu and e.a. Ground-Target with Dual-Image Sensor Airborne System. – In Proceedings of SPIE, Signal and Data Processing of Small Targets 1999, vol. 3809 (1999), p. 570-578.
3. Р.Д. Мухамедяров. Аэрокосмический мониторинг технического состояния подземных и наземных инженерных сооружений. – Оптический журнал, 2002, № 4, с.11-18.
4. Н.И. Павлов, Г.И. Ясинский. Малогабаритный оптико-электронный сканирующий прибор для аэросъемки в видимом и инфракрасном диапазонах. – Оптический журнал, 2003, № 4, с.11-14.
5. Shilin B.V., Yasinsky G.I. Russian Multispectral-Hiperspectral Airborne Scaner for Geological and Environmental Investigation – “Vesuvius-EC”. – Geologic Remote Sensing, 1996, V.1, p. 333-341.
6. Л.И. Чапурский, А.В. Марков, В.Ф. Мочалов, Г.И. Ясинский. Проблемы информационного обеспечения оптических космических систем наблюдения экологического назначения. – Оптический журнал, 2000, № 7, с.111-117.

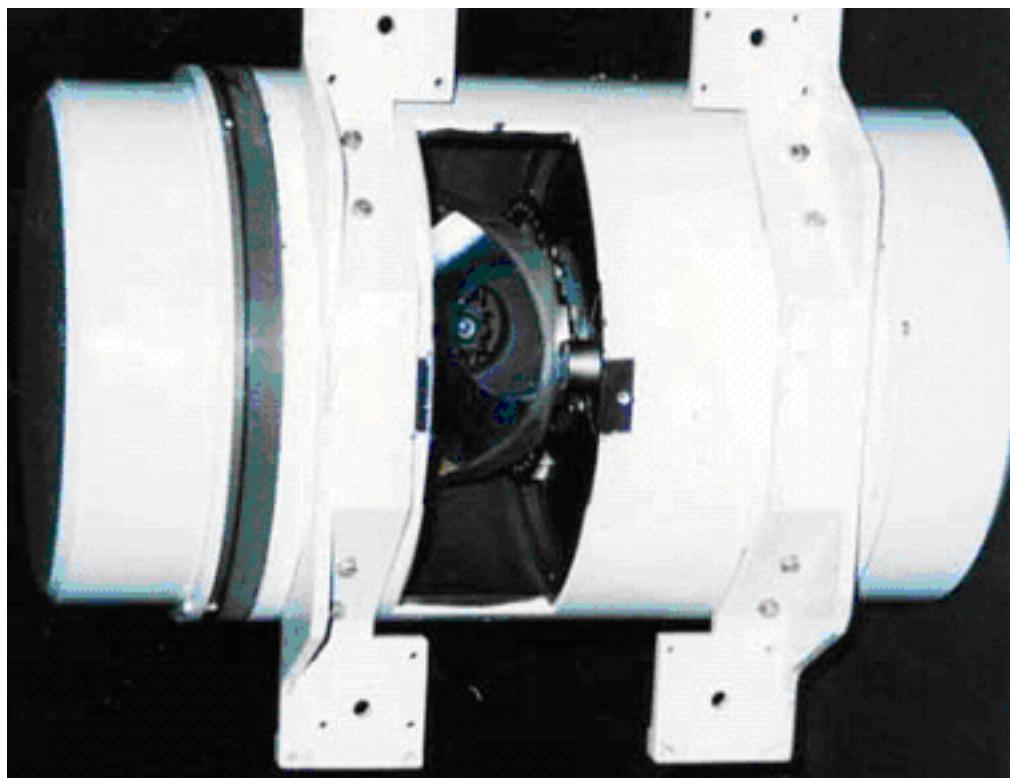


Рис. 1. Внешний вид оптико-механического блока прибора с единым оптическим окном.

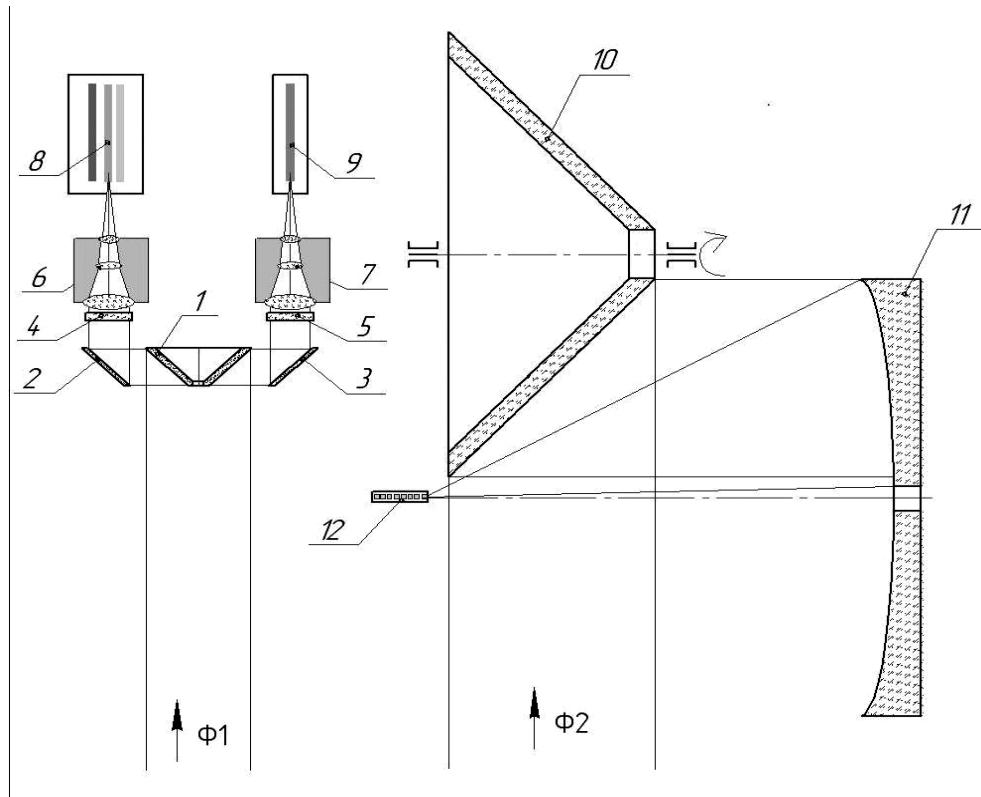


Рис.2. Оптическая схема прибора с двумя оптическими окнами  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$ :  
1 - двухгранное зеркало, 2,3 - плоское зеркало, 4,5 - светофильтры, 6,7 - линзовые объективы, 8 - ФПУ видимого диапазона на линейных ПЗС структурах, 9 - ФПУ ближнего ИК или УФ диапазона на линейных ПЗС структурах; 10 - сканирующее зеркало, 11 - зеркальный объектив, 12 - ФПУ ИК диапазона.

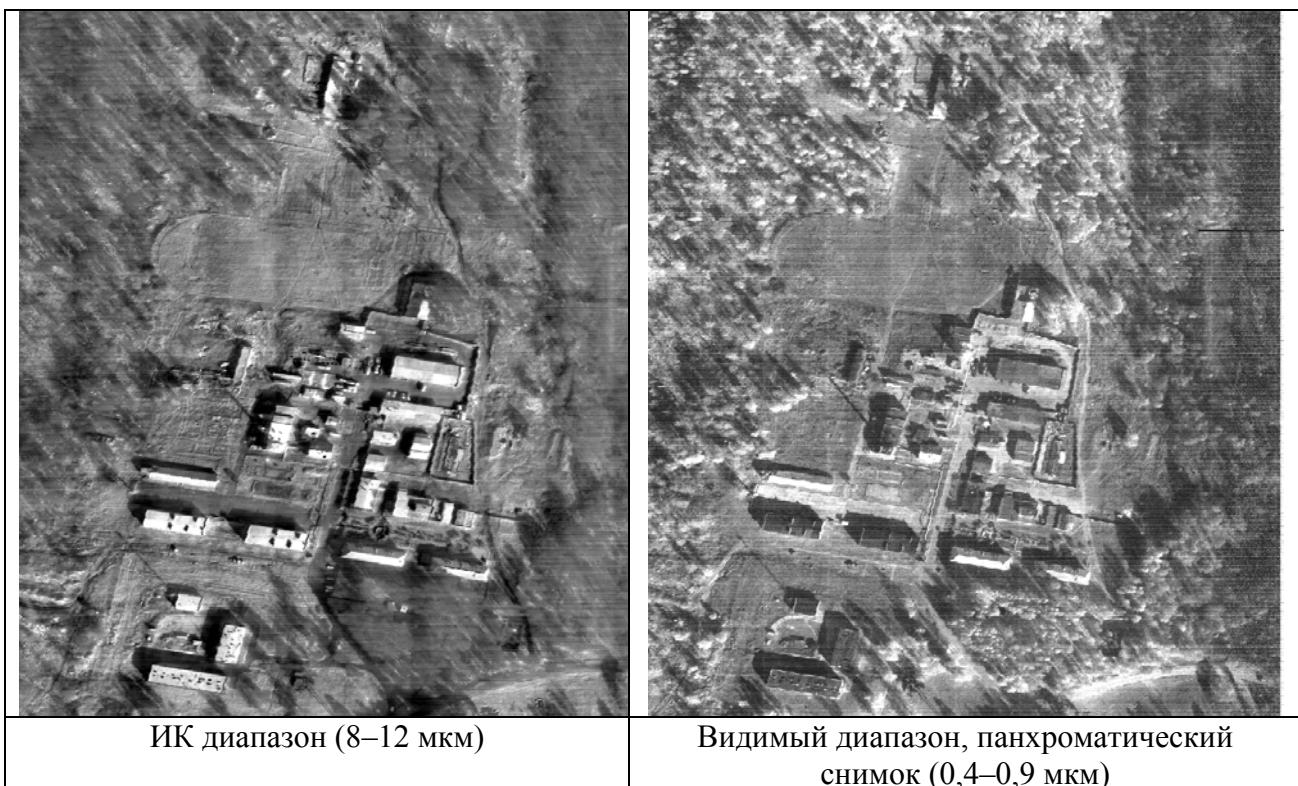


Рис.3. Фрагменты изображений ИК и видимого диапазона, полученных малогабаритным сканирующим прибором с высоты 1,5 км



Рис.4. Фрагменты изображений при наземной съемке с помощью однокоординатной поворотной платформы: вверху ИК изображение (8-12 мкм), внизу УФ изображение (0,3-0,4 мкм).