

ЦИФРОВЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ НА ЛИНЕЙНЫХ ПЗС-ДЕТЕКТОРАХ

Г.А. Аванесов, А.С. Василейский, Я.Л. Зиман, И.В. Полянский

*Институт космических исследований РАН,
АНО "Космос-НТ",
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: info@cosmos-nt.ru*

Представлены совместные разработки АНО «Космос-НТ» и ИКИ РАН в области цифровых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в видимом и ближнем ИК диапазонах электромагнитного спектра - цифровая топографическая авиационная стереокамера ЦТК-140 и универсальная многозональная камера ЦМК-70. Приводятся принципы работы, состав и основные технические характеристики комплексов

Введение

Космические методы дистанционного зондирования земной поверхности в видимой и ближней ИК зонах электромагнитного спектра уже прочно вошли в технологическую цепочку получения оперативной пространственной информации для создания и обновления карт мелких масштабов и контроля состояния окружающей среды. Эффективные компьютерные технологии обработки, анализа и визуального представления цифровых видеоданных совместно с широким внедрением ГИС, в свою очередь, активно стимулируют дальнейшее развитие космической аппаратуры сбора и передачи изображений земной поверхности.

В космической съёмочной технике наибольшее развитие получили оптико-электронные технологии, обеспечивающие, по сравнению с фотографическими методами, оперативную передачу на Землю цифровых потоков видеoinформации, лучшее геометрическое разрешение и более широкий спектральный диапазон измерений. Цифровые методы обработки пространственных данных также являются более технологичными, что обуславливает все более активное их использование и при обработке аналоговых фотоматериалов.

Авиационные методы ДЗЗ традиционно являются основными при получении исходной информации для крупномасштабного картографирования, решения ряда задач, требующих высокой детальности и точности географической привязки объектов, а также возможностей получения стерео и многозональных изображений. На сегодняшний день, несмотря на довольно долгую историю экспериментальных разработок и изготовления цифровых оптико-электронных приборов, главными методами в аэросъёмках остаются традиционные фотографические. Главными причинами такого положения являются отлаженность традиционных процедур производства выходной продукции и дороговизна единичных экземпляров авиационной цифровой съёмочной аппаратуры.

Переход от фотографических к цифровым оптико-электронным методам в аэросъёмке в сочетании с современными методами определения местоположения летательных объектов позволяет создать новую технологию оперативного мониторинга и картирования земной поверхности, которая позволит сократить затраты и время на изготовление новой картографической и тематической продукции.

Эксперименты по использованию цифровых оптико-электронных методов съёмки земной поверхности проводились Институтом космических исследований РАН начиная с 1972 года. В то время оптико-электронными приборами были оборудованы два аэросъёмочных самолета, вначале ИЛ-14, а затем АН-30, которые выполняли экспериментальные многозональные съёмки земной поверхности в интересах различных направлений хозяйственной деятельности и наук о Земле и использовались как база для отработки космической техники. Полеты самолета с этим оборудованием были завершены в 1980 году, когда был запущен КА «Метеор-Природа» №3 с новой отечественной цифровой многозональной сканирующей системой «Фрагмент», разработанной ИКИ РАН и его ОКБ. Опытная эксплуатация этой системы позволила получить практические ответы на многие конструкторско-технологические и информационные вопросы. В дальнейшем Институт применял оптико-электронные съёмочные приборы собственной разработки для изучения планет и малых тел Солнечной системы.

В 90-х годах в рамках исследовательской программы международной космической миссии «Марс-96» с участием специалистов Института космических исследований РАН и Института планетных исследований немецкого аэрокосмического центра (DLR), в промышленной фирме *Dornier* была изготовлена стереокамера высокого разрешения HRSC, предназначенная для картографирования и многозональной съёмки поверхности планеты Марс.

После неудачи миссии было принято решение о модифицировании созданной съёмочной камеры с целью использования ее для аэросъёмочных работ. И уже первые экспериментальные результаты, получен-

ные в 1997-98 гг. показали, что авиационная система, построенная на базе HRSC, по своим параметрам удовлетворяет самым высоким требованиям, предъявляемым к фотограмметрическим самолетным съемочным системам.

Авиационная модификация другой «марсианской» камеры WAOSS стала базой для изготовления и выхода на коммерческий рынок комплекса цифровой аэросъемки ADS-40, выпускаемого компанией *Leica Geosystems*.

Обе камеры успешно прошли этап опытной эксплуатации на самолетах, продемонстрировали высокое качество получаемых видеоданных и убедительно показали пригодность цифровой видеоинформации для целей оперативной крупномасштабной картографии.

Результаты первой эксплуатации авиационных модификаций космических камер на западе в сочетании с опытом разработки изготовления оптико-электронных систем в ИКИ РАН способствовали развитию идеи разработки и изготовления аналогичной отечественной системы.

Работы по созданию цифровой аэрокамеры на линейных ПЗС были начаты под эгидой АНО "Космос-Наука и Техника", учрежденной Институтом космическим исследований Российской академии наук и рядом ведущих предприятий космического сектора России.

ЦТК-140 – цифровая топографическая камера на базе аэрофотоаппаратов серии АФА

По заказу Госцентра «Природа» Российской картографической службы на базе штатного топографического аэрофотоаппарата АФА-ТЭ (формат кадра 180x180 мм, фокусные расстояния 50, 70, 100, 140, 200, 350 и 500 мм), без нарушения его конструкции была разработан и изготовлен авиационный комплекс дистанционного зондирования (АКДЗ), основу которого составила цифровая топографическая камера ЦТК-140.

Метод получения цифрового изображения, используемый в камере ЦТК-140 и в других, более поздних разработках, основан на принципе оптико-электронной построчной регистрации движущейся проекции земной поверхности, формируемой объективом на фокальной плоскости камеры. При этом развертка вдоль направления полета осуществляется за счет поступательного движения летательного аппарата (см. рис.1).

Конструктивно камера ЦТК-140 представляет собой объединенную конструкцию, состоящую из камерной части аэрофотоаппарата АФА-14 и установленного вместо пленочной кассеты цифрового модуля или, как принято говорить в кругах фотографов, «цифрового задника» (от англ. *Digital camera back*).

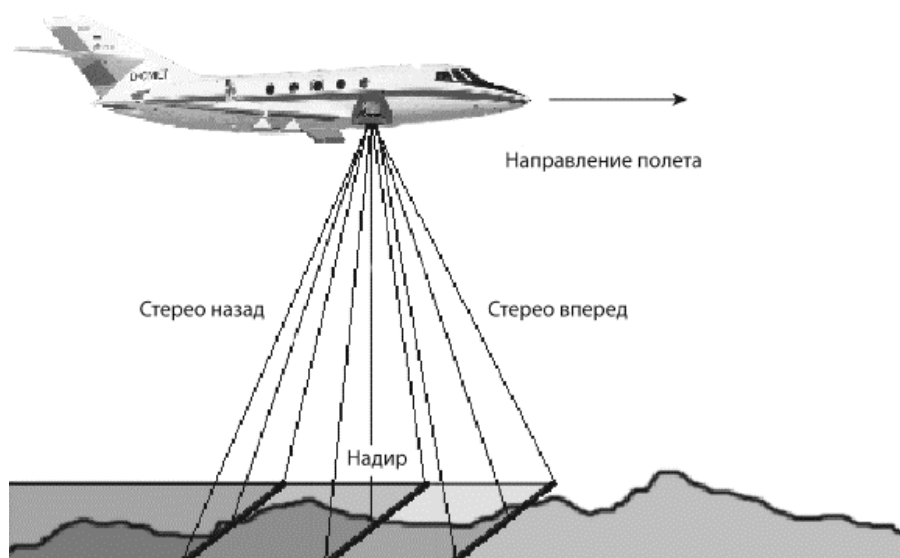


Рис. 1. Схема съемки цифровых камер ЦТК.

Регистрация оптического сигнала в ЦТК-140 осуществляется посредством 9 ПЗС-линеек (см. рис.3), по 8000 элементов каждая, что позволяет сформировать изображение с длиной строки в 22500 пикселей.

Питание камеры осуществляется от аккумуляторного блока, обеспечивающего более четырех часов автономной работы.

Аэрокамера с цифровым модулем устанавливается на самолете в штатную гиросtabilизирующую установку.



Рис. 2. Внешний вид ЦТК-140 с цифровым съемочным модулем.

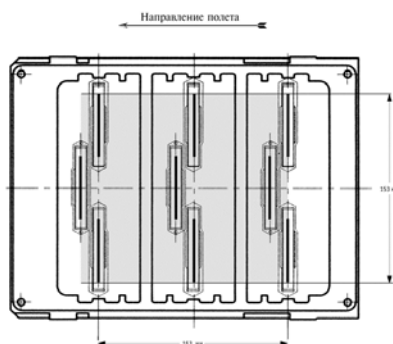


Рис. 3. Расположение линеек ПЗС в фокальной плоскости камеры ЦТК-140.

Получаемые при съемке цифровые видеоданные поступают в устройство регистрации данных магнитных дисках, совмещенное в одном корпусе с компьютером, управляющим процессором съемки и обеспечивающим оперативный просмотр снимаемой местности.

Основные технические характеристики цифрового аэрофотоаппарата с фокусным расстоянием 140 мм, и получаемых им видеоданных приведены в Таблице 1. В Таблице 2 приведены основные характеристики устройства записи и управления.

Таблица 1. Основные характеристики цифровой камеры ЦТК-140.

Фокусное расстояние объектива	140 мм
Угол поперечного поля зрения	$\pm 27^\circ$
Угол стереозасечки	54°
Угловое разрешение	10 "
Размер проекции пиксела на поверхность (при съемке с высоты 2800 м)	14 см
Число элементов в строке	22500
Размер чувствительного элемента	7x7 мкм
Выходной динамический диапазон	8 бит
Частота строк	до 900 Гц
Время непрерывной работы камеры от одной зарядки аккумулятора	не менее 2-х часов
Масса	12 кг
Габариты	223x294x220 мм

Таблица 2. Основные характеристики устройства записи и управления.

Емкость накопителя данных	до 2 Тбайт
Информационный поток	до 100 Мбайт/сек
Обеспечиваемое время непрерывной записи (для съемки с минимальной высоты)	не менее 7 часов
Масса	20 кг
Габариты	480x250x550
Потребляемая мощность	500 Вт

В ходе отладочных работ аэрофотоаппарата с цифровым модулем, с целью определения фотометрических и геометрических характеристик оптико-электронного тракта, были проведены панорамные съемки наземных объектов из окна лаборатории. На рис.4. приведены общий вид панорамы юго-запада Москвы из окна здания Института космических исследований и фрагменты изображения, увеличенные относительно исходного масштаба съемки.

Анализ изображений наземной съемки показал, что геометрические и радиометрические параметры полученных изображений в целом соответствуют запланированным при изготовлении камеры значениям.

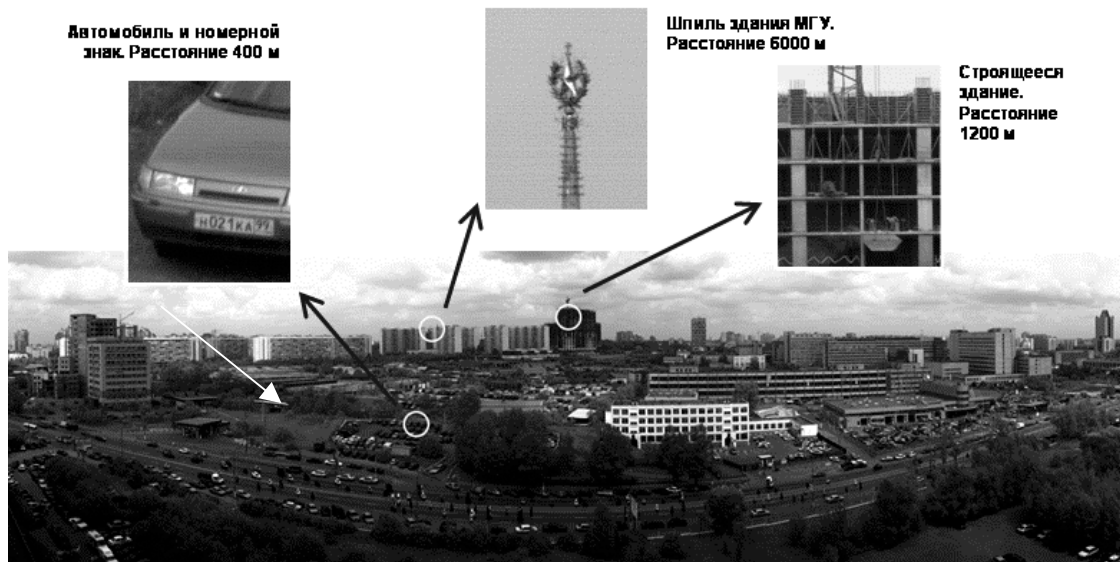


Рис.4. Панорама из окна ИКИ РАН.

В 2003–2004 годах были проведены летные испытания инженерной модели цифровой камеры. В ходе испытаний проводились воздушные съемки с нескольких высот при различной освещенности снимаемой поверхности.

На рис.5 приведены фрагменты цифровой аэросъемки проведенной с высоты 5800 метров с последовательным увеличением от 4 до 32 крат.

Результаты обработки и исследований воздушных съемок показали, что геометрические характеристики и динамический диапазон яркостей полученных цифровых данных позволяют увеличивать масштаб изображения до 30 раз при сохранении качества, пригодного для дешифрирования. Использование таких коэффициентов увеличения позволит, в частности, изготавливать выходную картографическую продукцию в масштабе 1:1000 из материалов цифровой аэросъемки, проведенной с высоты порядка 4000 метров.

Для сравнения можно отметить, что аэрофотосъемка на пленку, проводимая с использованием такого же фотоаппарата АФА-ТЭ-140, позволяет использовать коэффициенты увеличения лишь в 5–8 раз, что подчеркивает еще и экономическое преимущество цифрового способа получения изображений.

Для полноценной фотограмметрической обработки цифровых видеоданных, получаемых цифровой аэрокамерой на линейных ПЗС, необходимо провести геометрическую коррекцию или ректификацию изображения, устраняющую искажения, вызванные маневрами самолета в процессе съемки. С этой целью камера оснащается прецизионным гироскопическим измерительным блоком, который определяет все 6 элементов взаимного ориентирования для каждой строки получаемых изображений. Основные характеристики вводимого в созданный цифровой модуль гироскопического блока и блока акселерометров приведены в Таблице 3.

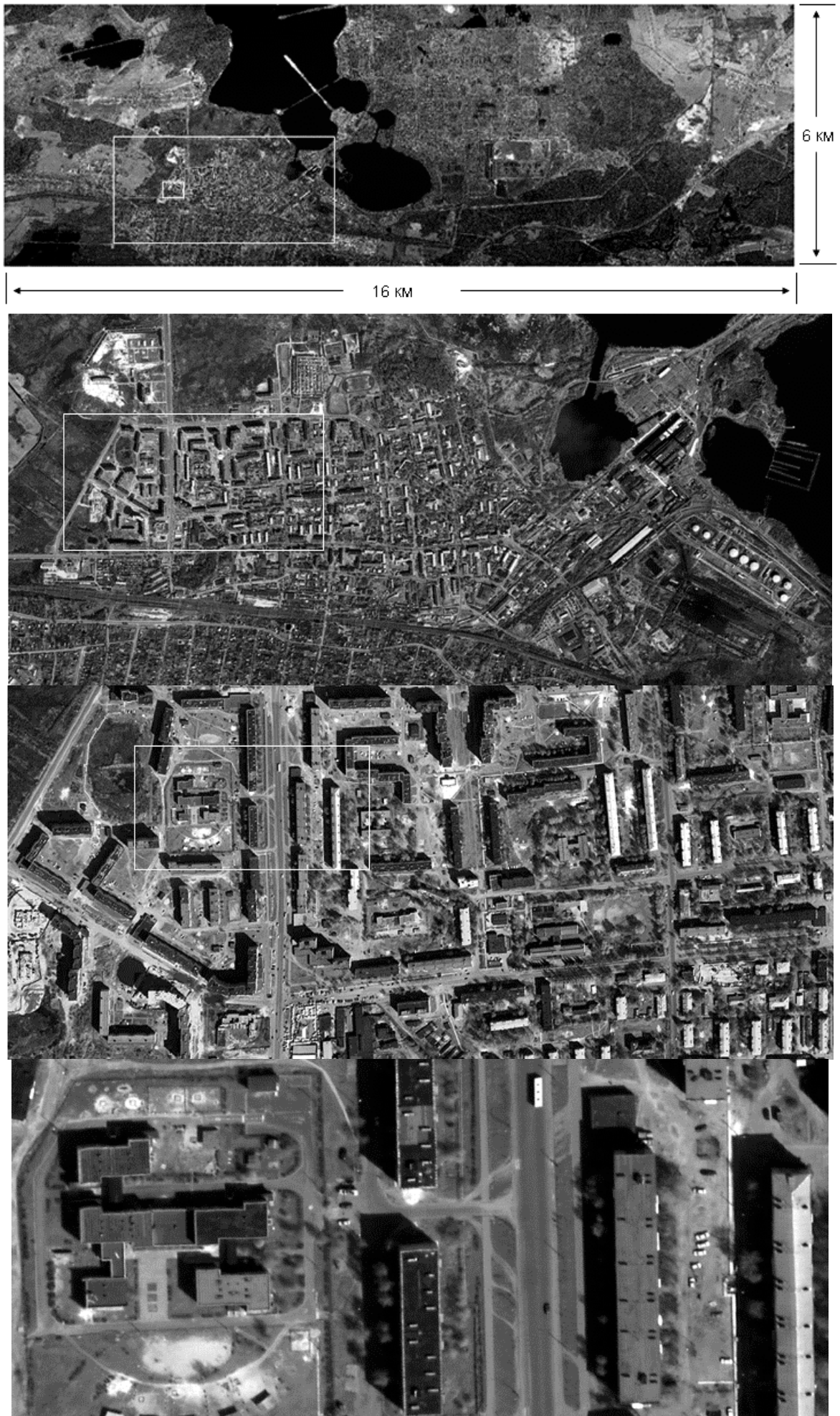


Рис. 5. Фрагменты цифровой аэрофотосъемки с высоты 5800 м.

Таблица 3. Основные технические характеристики гироскопической системы цифрового модуля.

Акселерометры	
Рабочий диапазон ускорений	$\pm 10 \text{ g}$
Дрейф нулевого сигнала за год	$\pm 200 \text{ }\mu\text{g}$
Крутизна передаточной характеристики	1200 mV/g
Нестабильность крутизны передаточной характеристики	$\pm 0,02 \%$
Гироскопы	
Рабочий диапазон угловых скоростей	$\pm 10 \text{ }^\circ/\text{сек}$
Дрейф нулевого значения	0,1 $^\circ/\text{час}$
Нестабильность масштабного коэффициента	$\pm 0,02 \%$
Система в целом	
Габариты	212x200x164 мм
Масса	5 кг

Географическую координатную привязку полученного изображения объекта съемки осуществляют по данным спутниковой системы навигации или по опознанным на полученном изображении опорным точкам с известными геодезическими координатами, по которым можно осуществлять исправления прогибов стереомодели, возникающие из-за ухода гироскопов.

ЦМК-70 – цифровая многозональная стереокамера

На сегодняшний день в АНО «Космос-НТ» ведутся работы по разработке и изготовлению многозональной камеры на линейных ПЗС для проведения воздушных съемок земной и водной поверхности одновременно в четырех спектральных и в двух панхроматических каналах, обеспечивающих получение стереоизображения. Технические характеристики камеры ЦМК-70 позволяют решать широкий круг прикладных задач – от топографической съемки в масштабах от М 1:1000 до природноресурсного мониторинга экологических загрязнений.

Аналогично камере ЦМК-140 регистрация изображения поверхности осуществляется несколькими фотоприемниками на линейных ПЗС с большим числом чувствительных элементов. При этом в фокальной плоскости устанавливаются четыре линейных ПЗС, каждый из которых формирует отдельное изображение (см. рис.6).

В центре ФП устанавливается ПЗС прибор, состоящий из трех близко расположенных линеек чувствительных элементов, закрытых полосными цветными фильтрами, формирующий изображение в натуральных цветах красного, зеленого и синего каналов. Максимально близко к цветной линейке установлена аналогичная по геометрическим характеристикам линейка ПЗС, чувствительные элементы которой закрыты фильтром ближнего ИК диапазона (см. рис.7).

На краях 30-ти градусной зоны поля зрения объектива установлены две линейки ПЗС, работающие в панхроматическом диапазоне и формирующие стереоизображение.

Конструктивно ЦМК-70 выполнена в виде моноблока с посадочными местами, адаптированными под установку в стандартную гироскопическую платформу.

Полученное цифровое изображение сохраняется регистратором данных, аналогичным используемому в комплексе ЦМК-140.

Цифровой авиационный съемочный комплекс ЦМК-70 имеет следующие технические характеристики.



Рис.6. Схема съемки цифровых камер ЦМК.

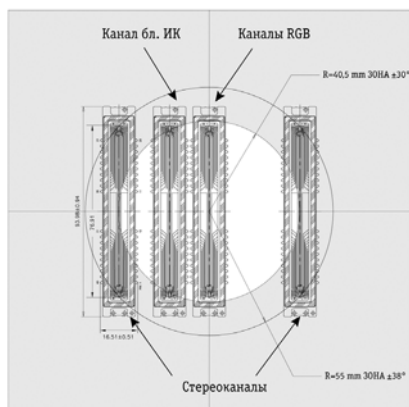


Рис.7. Расположение линеек ПЗС в фокальной плоскости камеры ЦМК-70.

Таблица 4. Основные характеристики изготовленной цифровой камеры ЦМК-70

Фокусное расстояние объектива	70 мм
Угол поперечного поля зрения	$\pm 26^\circ$
Угол стереозасечки	52°
Разрешающая способность объектива	не хуже 71 п.л./мм
Число элементов в строке	10200
Размер чувствительного элемента	7x7 мкм
Угловой размер чувствительного элемента	21"
Проекция элемента разрешения на местность	15 см (при H=1500 м)
Максимальное W/H	0,06 1/с
Разрядность видеоданных	10 бит
Информационный поток	до 72 Мбайт/сек
Время непрерывной работы от аккумулятора	не менее 4-х часов
Масса	10 кг

Характеристики системы регистрации данных и инерциальной навигационной системы аналогичны приведенным в данных ЦТК-140.

Камера ЦМК-70 также оснащается интегрированной инерциальной навигационной системой (ИИНС) для обеспечения полноценной фотограмметрической обработки цифровых видеоданных.

В состав бортовой аппаратуры ЦМК-70 входят: цифровая камера со встроенным датчиком ИИНС, комплект приемника спутниковой навигационной системы, устройство управления и регистрации, пульт оператора, комплект программного обеспечения, эксплуатационная документация, комплект ЗИП.