

АППАРАТУРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «РЕСУРС-ПМ»

© 2016 А. И. Бакланов, В. Д. Блинов, И. А. Горбунов,
А. С. Забиякин, И. А. Малахов

Филиал акционерного общества «Ракетно-космический центр «Прогресс» –
Научно-производственное предприятие
«Оптико-электронные комплексы и системы», г. Москва

В статье рассмотрена аппаратура для перспективного космического аппарата «Ресурс-ПМ» и представлены её основные технические характеристики. Аппаратура включает в себя оптическую систему, панхроматический и мультиспектральные оптико-электронные преобразователи, запоминающее устройство и блок управления, датчики ориентации по звёздам. В техническом задании к аппаратуре были предъявлены рекордные требования по разрешению, производительности, чувствительности и точности координатной привязки информации. Для реализации этих требований были созданы: новая крупноформатная оптическая система, три типа широкоформатных фотоприёмников, многоканальные интерференционные светофильтры, быстродействующая широкоформатная кадровая матрица для звёздного датчика, новые алгоритмы цифровой обработки и сжатия информации, высокоскоростные интерфейсы передачи данных с оптоволоконными компонентами в космическом исполнении. В конструкции оптической системы применена углепластиковая несущая размеростабильная конструкция, которая в совокупности с облегчёнными зеркалами обеспечили объективу малый вес и высокое качество изображения. Аппаратура позволяет осуществлять съёмку поверхности Земли в панхроматическом и восьми узких спектральных каналах с высоким пространственным разрешением.

Система наблюдения Земли, оптико-электронная камера, фотоприёмное устройство, высокое разрешение.

Принципиально новый космический аппарат (КА) «Ресурс-ПМ» должен прийти на смену хорошо зарекомендовавшему себя КА «Ресурс-П». Постоянно растущие требования к визуальному качеству информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и её измерительным свойствам ставят перед разработчиками бортовой аппаратуры сложные конструктивно-технологические задачи, связанные, в первую очередь, с огромной информационной производительностью таких систем.

В рамках ОКР «Прибор-ОЭК» нашим предприятием разработаны СППИ «Степь-29», ЗУ ОЭК, ЗД ОЭК. В состав СППИ входят три блока ОЭП, блок

управления и распределения питания, источники питания. СППИ сопрягается с ЗУ ОЭК. Здесь: СППИ – система приёма и преобразования информации; ЗУ – запоминающее устройство; ЗД – звёздный датчик; ОЭК – оптико-электронный комплекс; ОЭП – оптико-электронный преобразователь.

Центральный блок ОЭП-ПХ с суммарной длиной строки 48 тысяч пикселей обеспечивает съёмку в панхроматическом диапазоне 0,5–0,8 мкм. В оптико-электронном преобразователе панхроматического канала применены широкоформатные матричные ПЗС ВЗН «ОЭК-9» с размером фотоприёмного пикселя $9 \times 9 \text{ мкм}^2$ и форматом 6144×128 элемента.

Цитирование: Бакланов А.И., Блинов В.Д., Горбунов И.А., Забиякин А.С., Малахов И.А. Аппаратура высокого разрешения для перспективного космического аппарата «Ресурс-ПМ» // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15, № 2. С. 30-35. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-2-30-35

Матрицы имеют переменное число шагов накопления: 128, 96, 64, 48, 32, что позволяет управлять чувствительностью ОЭП и СППИ в широком диапазоне с шагом изменения чувствительности 1,5. В ОЭП-ПХ реализован адаптивный режим работы с автоматическим выбором числа шагов накопления с учетом фактической освещённости фотоприёмников ПЗС. Здесь: ПЗС – прибор с зарядовой связью; ПЗС ВЗП – прибор с зарядовой связью с временной задержкой и накоплением.

В оптико-электронных преобразователях мультиспектральных каналов применены четырёхканальные матричные (фотоприёмные модули) ПЗС ВЗН «ОЭК-Ц» с размером фотоприёмного пикселя в четыре раза больше, чем в панхроматическом канале – 36×36 мкм². На одном кристалле матриц ПЗС ВЗН размещены четыре фоточувствительных секции, три из них размером 1536×32 элемента и одна размером 1536×64 элемента с числом шагов накопления 32, 16, 8 и 64, 32, 16 соответственно. Конструкция фотоприёмной ячейки этих матриц обеспечивает расши-

ренный в синюю область диапазон чувствительности. Каждый мультиспектральный ОЭП позволяет получать цифровую видеоинформацию сразу в четырех узких спектральных диапазонах. Конкретные спектральные диапазоны чувствительности задаются четырёхполосными интерференционными светофильтрами на стеклянных подложках, которые устанавливаются перед матрицами ПЗС ВЗН (рис. 1).

Светофильтры, наряду с ПЗС, являются сложнейшим и важнейшим элементом фотоприёмного тракта оптико-электронной аппаратуры. Их разработка и изготовление осуществлялась в ОАО «ЛОМО».

Фрагмент мультиспектрального блока ОЭП с установленными фотоприёмными матрицами ПЗС ВЗН показан на рис. 2. Один из мультиспектральных блоков ОЭП обеспечивает съёмку в спектральных диапазонах: 0,45–0,51 мкм; 0,51–0,58 мкм; 0,63–0,69 мкм; 0,77–0,89 мкм; а другой – в диапазонах 0,40–0,45 мкм; 0,58–0,62 мкм; 0,70–0,74 мкм; 0,86–1,05 мкм.

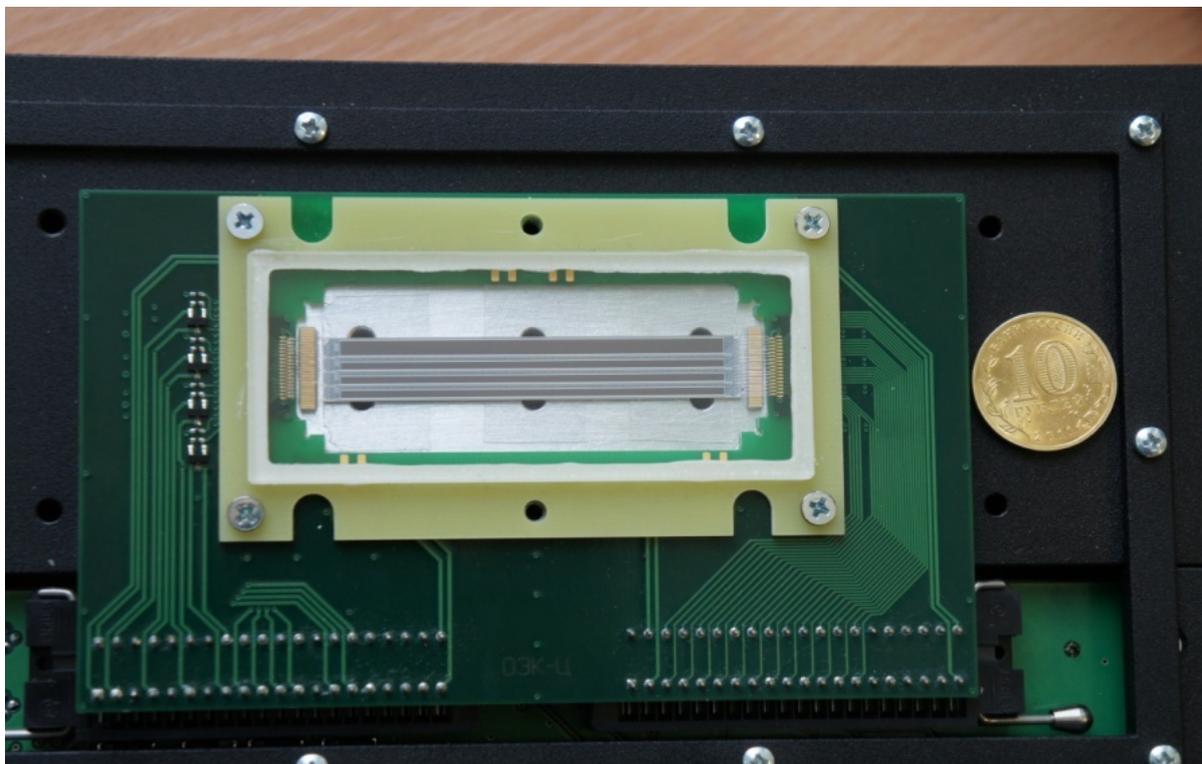


Рис. 1. ФПЗС «ОЭК-Ц» в измерительной таре

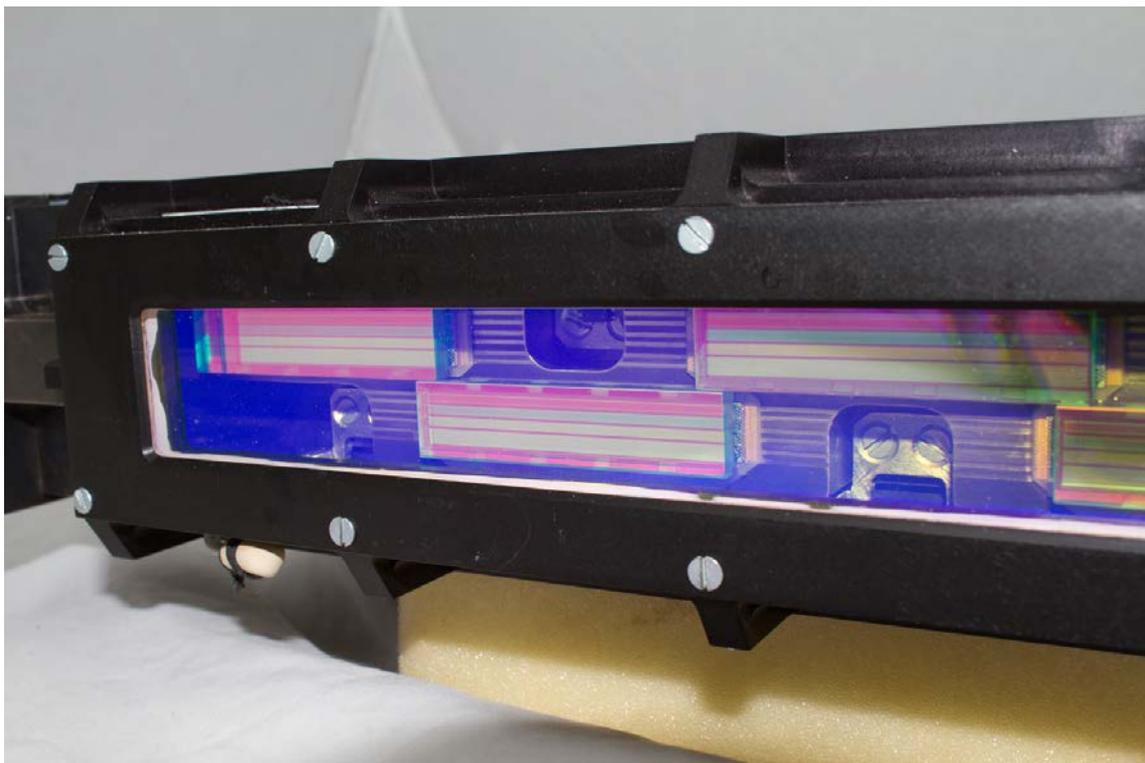


Рис. 2. Фрагмент фотозоны мультиспектрального блока ОЭП

Таблица 1. Характеристики СППИ «Степь-29»

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Количество спектральных диапазонов (ПХ + 8 МС)	9
2	Спектральные диапазоны, мкм	0,5-0,8 0,45-0,51 0,51-0,58 0,63-0,69 0,77-0,89 0,40-0,45 0,58-0,62 0,70-0,74 0,86-1,05
3	Максимальное отношение «сигнал/шум»	300 (ПХ) 350 (МС)
4	Размер элемента, мкм	9 (ПХ) 36 (МС)
5	Формат ФПЗС	6144 × 128 (ПХ) 1536 × 32(64) × 4(МС)
6	Число шагов накопления	128, 96, 64, 48, 32 (ПХ) 32, 16, 8, (64, 32, 16) (МС)
7	Количество разрядов АЦП	12
8	Степень сжатия	1-4 бит/пикс (ДИКМ) 0,5-4 бит/пикс (JPEG2000)
9	Максимальный информационный поток, Гбит/с	Не более 7,53 Гбит/с (без сжатия) Не более 3,76 Гбит/с (со сжатием)
10	Ёмкость бортового ЗУ, Гбит	19200 (38400 с хол. рез.)

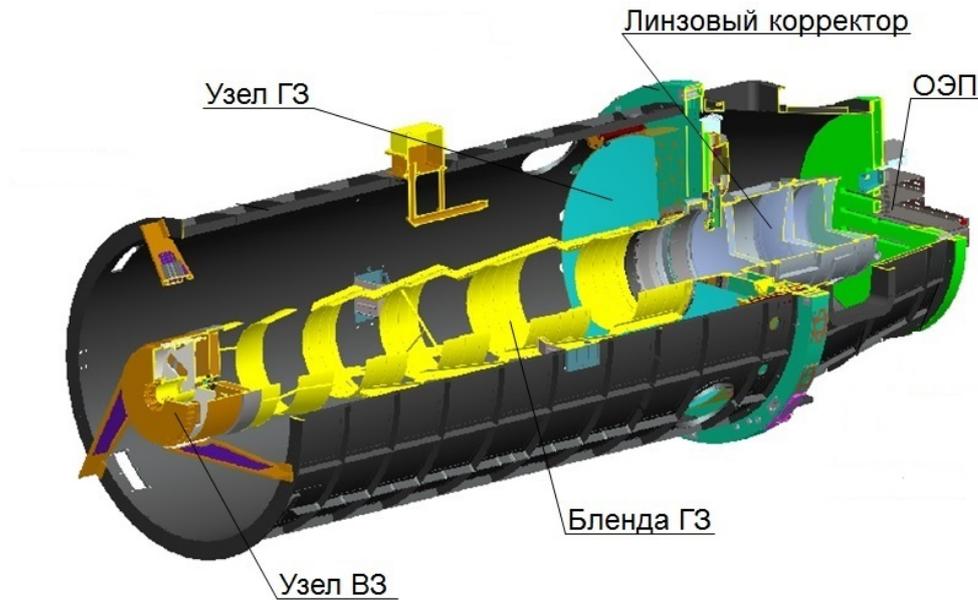


Рис. 3. Конструкция телескопа ОЭК ВР

В каждом блоке ОЭП реализовано три вида сжатия исходной 10-разрядной видеоинформации: сжатие по алгоритму ДИКМ до 4, 2 или 1 бита на пиксель; сжатие по алгоритму JPEG2000 до 4, 2, 1 или 0,5 бита на пиксель. Предусмотрены большие диапазоны изменения параметров и режимов работы при изменении скорости движения изображения в широких пределах условий эксплуатации.

Видеоинформация с блоков ОЭП по высокоскоростным оптоволоконным линиям передаётся в резервированное запоминающее устройство ЗУ ОЭК ёмкостью 19,2 Тбита.

Характеристики СППИ «Степь-29» представлены в табл. 1.

СППИ «Степь-29» стыкуется с крупногабаритным телескопом нового поколения ОЭК-ВР разработки ОАО «ЛЮМО» (рис. 3). На рис. 3 – узел ВЗ – узел вторичного зеркала.

Специально разработанная углепластиковая несущая размеростабильная конструкция в совокупности с облегчёнными зеркалами обеспечили объективу малую массу и высокое качество изображения.

В целях обеспечения высокой точности координатной привязки видеоинформации на силовом кронштейне главного зеркала предусмотрены места крепления для трёх звёздных датчиков.

Высокоточные звёздные датчики ЗД-ОЭК разработаны НПП «ОПТЭКС» в кооперации с ЗАО НПП «Элар» (разработка и изготовление фотоприёмного устройства) и с ОАО «ЛЮМО» (разработка и изготовление объектива). Размещение звёздных датчиков в привязке к главному зеркалу (ГЗ) телескопа позволило существенно снизить погрешности перехода от системы координат звёздного датчика к системе координат фокальной плоскости. Итоговая точность (ошибка) привязки видеоинформации составляет рекордные 3 угл.с по уровню 3σ . Характеристики телескопа представлены в табл. 2.

Изделие ОЭК-ВР совместно с СППИ «Степь-29», ЗУ-ОЭК и ЗД-ОЭК прошло полный цикл наземных испытаний, подтвердив высокие технические характеристики.

Таблица 2. Характеристики телескопа ОЭК-ВР

№	Характеристика	Значение
1	Оптическая схема	Ричи-Кретьена
2	Диаметр входного зрачка объектива, м	1,2
3	Фокусное расстояние объектива, м	15,6
4	Ширина полосы захвата с высоты орбиты 700 км, км	19,25
5	Проекция пикселя на поверхность Земли с высоты орбиты 700 км, м	0.4(ПХ)/1.6(МС)
6	Угловое поле, град	1,76
7	Предельная погрешность (3σ) определения ориентации визирной оси ОЭК-ВР в абсолютном пространстве при съёмке Земли, угл. с	не более 3
8	Рабочая длина строки ОЭП, мм	432

Информация об авторах

Бакланов Александр Иванович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора АО «РКЦ «Прогресс» – директор филиала – главный конструктор НПП «ОПТЭКС», г. Москва. E-mail: optecs@mail.ru. Область научных интересов: проектирование оптико-электронных приборов, датчиков и систем для дистанционного зондирования и наблюдения Земли из космоса.

Блинов Валентин Дмитриевич, начальник отделения, филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС», г. Москва. E-mail: optecs@mail.ru. Область научных интересов: проектирование оптико-электронных приборов, датчиков и систем для дистанционного зондирования и наблюдения Земли из космоса.

Горбунов Игорь Аркадьевич, заместитель начальника научно-технического комплекса, филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС», г. Москва. E-mail: optecs@mail.ru. Область научных интересов: проектирование оптико-электронных приборов, датчиков и систем для дистанционного зондирования и наблюдения Земли из космоса.

Забиякин Александр Сергеевич, начальник научно-технического комплекса – заместитель главного конструктора, филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС», г. Москва. E-mail: optecs@mail.ru. Область научных интересов: проектирование оптико-электронных приборов, датчиков и систем для дистанционного зондирования и наблюдения Земли из космоса.

Малахов Илья Анатольевич, начальник научно-технического комплекса – заместитель главного конструктора, филиал АО «РКЦ «Прогресс» – НПП «ОПТЭКС», г. Москва. E-mail: optecs@mail.ru. Область научных интересов: проектирование оптико-электронных приборов, датчиков и систем для дистанционного зондирования и наблюдения Земли из космоса.

HIGH RESOLUTION EQUIPMENT FOR THE FUTURE SPACECRAFT «RESOURCE-PM»

© 2016 A. I. Baklanov, V. D. Blinov, I. A. Gorbunov, A. S. Zabiyaikin, I. A. Malakhov

Branch of Space Rocket Center «Progress» – State Research
and Production Enterprise «OPTEKS», Moscow, Russian Federation

The article describes the equipment for the future spacecraft «Resource-PM». The main technical characteristics of the equipment are presented. The equipment includes an optical system, panchromatic and multispectral optoelectronic converters, a memory unit, a control unit and star sensors. The design specification for the equipment included unprecedented requirements for the resolution, efficiency, sensitivity and accuracy of coordinate referencing. In order to meet the requirements a new large-sized optical system, three types of large-format photo sensors, multichannel interference light filters, a high-speed large-format matrix for the star tracker, new algorithms of digital processing and compression of information, high-speed interfaces of data transmission with fiber-optic components had to be developed. The structure of the optical system incorporates a carbon fiber dimension-stable structure, which, combined with lighter mirrors ensured light weight of the objective and high image quality. The equipment makes it possible to survey the Earth surface in panchromatic and eight narrow spectral channels with high spatial resolution.

Earth observation systems, optronic camera, photodetector, high resolution.

About the authors

Baklanov Alexander Ivanovich, Candidate of Science (Engineering), Deputy General Director of Corporation Space Rocket Center «Progress» – Branch Director – Chief Designer of Research and Production Enterprise «OPTECS», Moscow, Russian Federation. E-mail: optecs@mail.ru. Area of Research: design of optronic devices, sensors and systems for Earth remote sensing and observation from space.

Blinov Valentin Dmitrievich, Head of Department, Branch of Corporation Space Rocket Center «Progress» – Research and Production Enterprise «OPTECS», Moscow, Russian Federation. E-mail: optecs@mail.ru. Area of Research: design of optronic devices, sensors and systems for Earth remote sensing and observation from space.

Gorbunov Igor Arkadyevich, Deputy Head of Scientific and Technical Complex, Branch of Corporation Space Rocket Center «Progress» – Research and Production Enterprise SPE «OPTECS», Moscow, Russian Federation. E-mail: optecs@mail.ru. Area of Research: design of optronic devices, sensors and systems for Earth remote sensing and observation from space.

Zabiyaikin Alexander Sergeevich, Head of Scientific and Technical Complex – Deputy Chief Designer, Branch of Corporation Space Rocket Center «Progress» – Research and Production Enterprise SPE «OPTECS», Moscow, Russian Federation. E-mail: optecs@mail.ru. Area of Research: design of optronic devices, sensors and systems for Earth remote sensing and observation from space.

Malakhov Ilya Anatolyevich, Head of Scientific and Technical Complex – Deputy Chief Designer, Branch of Corporation Space Rocket Center «Progress» – Research and Production Enterprise SPE «OPTECS», Moscow, Russian Federation. E-mail: optecs@mail.ru. Area of Research: design of optronic devices, sensors and systems for Earth remote sensing and observation from space.