Обеспечение дистанционных телевизионных съёмок на посадочной платформе космического аппарата «ЭкзоМарс-2020»

Н. Ф. Абрамов, С. В. Воронков, А. В. Никитин, И. В. Полянский, А. А. Форш

Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия

E-mail: abramov.n2@mail.ru

В статье приводится описание телевизионной системы посадочной платформы (ТСПП-ЭМ), предназначенной для использования в составе комплекса научной аппаратуры космического аппарата (КА) «ЭкзоМарс-2020». Рассматриваются конструктивные особенности ТСПП-ЭМ и этапы съёмки. Из конструктивных особенностей важно отметить, что в азимутальной плоскости оптические оси всех четырёх камер (КАМ-О/ЭМ) разнесены на 90°, что позволяет обеспечить полный обзор линии горизонта за счёт перекрывающихся полей зрения камер. Камеры размещены на краях посадочной платформы в непосредственной близости от внешнего контура на специальных кронштейнах. Для обеспечения возможности проведения съёмки в нескольких режимах, а также сбора, хранения и последующей передачи полученных материалов в служебные системы КА для отправки на Землю используется блок сбора данных (БСД/ЭМ). Продемонстрированы результаты тестирования четырёх обзорных камер КАМ-О из состава служебной телевизионной системы (СТС-Л) проекта «Луна-Глоб» с целью получения панорамного изображения. Приводятся сравнительные характеристики телевизионных систем, установленных на марсоходах Sojourner, Spirit, Opportunity и Curiosity, а также посадочной платформы InSight. Отличительной особенностью ТСПП-ЭМ является возможность получения в режиме видео- и фотосъёмки круговой панорамы в ходе снижения, посадки, а также пребывания на поверхности Марса.

Ключевые слова: КА ЭкзоМарс-2020, ТСПП-ЭМ, Марс, телевизионная съёмка, панорамная съёмка, посадочная платформа, научная аппаратура

Одобрена к печати: 23.11.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-188-200

Введение

В последнее десятилетие мы наблюдаем значительный рост числа программ, посвящённых исследованию Марса. В основе этих программ лежит разработка, испытания и последующий запуск к Марсу специального исследовательского оборудования, которое можно разделить по месту установки на два типа: искусственный спутник и десантный модуль. При этом десантный модуль обычно содержит марсоход (ровер). Каждый марсоход имеет своё место посадки и уникальное исследовательское оборудование. Следует особо выделить посадку марсоходов Sojourner, Spirit, Opportunity и Curiosity, которые позволили провести высококачественную съёмку поверхности Марса (Arvidson et al., 2017; Lemmon et al., 2004; Mishkin et al., 1998). Очередным шагом стала разработка космического аппарата (КА) «ЭкзоМарс-2020» (совместный проект ГК «Роскосмос» и Европейского космического агентства), состоящего из двух модулей: перелётного и десантного. Десантный модуль содержит марсоход и посадочную платформу (ПП), оснащённую телевизионной системой и приборами для исследования Марса. В данной статье будет рассмотрена работа телевизионной системы посадочной платформы (ТСПП-ЭМ).

Назначение и состав

Функциональным назначением системы ТСПП-ЭМ является формирование цифровых изображений окружающей обстановки и предметов, находящихся в пределах поля зрения камер (КАМ-О/ЭМ). Полученная информация сохраняется в памяти блока сбора данных

(БСД/ЭМ), а затем передаётся в блок интерфейсов и памяти (БИП) из состава комплекса научной аппаратуры (КНА-ЭМ (КА) «ЭкзоМарс-2020») для последующей трансляции по радиоканалу на наземные пункты приёма данных или ретрансляторы.

Система ТСПП-ЭМ предназначена для решения следующих задач научного и прикладного характера:

- регистрация цветных, радиометрически скорректированных статичных изображений поверхности и атмосферы Марса в видимой области оптического диапазона электромагнитных волн;
- проведение цветной видеосъёмки приповерхностных и атмосферных процессов, в том числе исследование пылевой экзосферы Марса;
- измерение спектральных яркостей (цветности) окружающих объектов на трёх длинах волн: 0,45, 0,55 и 0,65 мкм;
- формирование (в ходе наземной обработки) круговой панорамы поверхности Марса вокруг места посадки и построение видеоряда панорам;
- поддержка других научных экспериментов путём регистрации изображений или видеопоследовательностей;
- мониторинг окружающей обстановки в диапазоне горизонтальных углов до 360°;
- визуальный контроль схода марсианского ровера с платформы;
- съёмка элементов конструкции ПП для контроля её состояния;
- уточнение координат места посадки (совместно с изображениями, полученными в ходе посадки) и анализ карт рельефа;
- анализ отражательных / цветовых характеристик участка посадки.

Для полного кругового обзора поверхности с достаточным для построения панорамы перекрытием изображений, с захватом элементов конструкции ПП и участка неба 10–30° над горизонтом требуются четыре стационарных обзорных камеры с углом поля зрения 100–120° по горизонтали и вертикали. Хотя такие камеры будут обладать значительной дисторсией на краях поля зрения, геометрические искажения получаемых изображений смогут быть скорректированы на Земле по результатам предполётной геометрической калибровки камер.

Съёмка поверхности, освещённой солнцем, требует обеспечения большого динамического диапазона регистрируемых яркостей, отличающихся на 4–5 порядков. Должны регистрироваться как наиболее яркие, так и затенённые участки марсианской поверхности, свечение горизонта и даже звёзды до ~4-й звёздной величины в случае съёмки ночью. Пересвет допускается на изображении Солнца, а также, возможно, на бликах в объективе от прямого солнечного света. Реализация указанного динамического диапазона возможна с помощью режимов программного HDR (High Dynamic Range) и цифрового накопления, обеспечивающих съёмку серии кадров с различными временами экспозиции и их объединение на одном изображении.

Расположение камер на посадочной платформе

С целью получения обзорных изображений окружающей обстановки во время и после посадки в пределах поля зрения, в том числе для формирования круговой замкнутой панорамы, четыре КАМ-О/ЭМ устанавливаются на внешних незатенённых участках корпуса ПП. Общий вид ПП КА «ЭкзоМарс-2020» приведён на *рис. 1* (см. с. 190).

Камеры ТСПП-ЭМ размещены на краях платформы в непосредственной близости от внешнего контура на специальных кронштейнах. Конструкторам космического аппарата удалось установить камеры только на нижней поверхности платформы, поскольку в верхней части расположены элементы раскрывающихся солнечных панелей и трапов для схода ровера.

В азимутальной плоскости оптические оси камер разнесены на 90°, что позволяет обеспечить полный обзор линии горизонта за счёт перекрывающихся полей зрения камер. Расстояния, на которых сходятся поля зрения, составляют ~8 м по оси ОУ и ~11 м по оси ОZ КА. На *рис. 2* (см. с. 190) показаны площади перекрытия полей зрения и «мёртвые» зоны.

Рис. 1. Общий вид посадочной платформы КА «Экзомарс-2020». Две из четырёх камер ТСПП-ЭМ обозначены цифрами 1 и 2. Для наглядности на рисунке не показаны солнечные панели, трапы и ровер

Рис. 2. Перекрытие полей зрения камер ТСПП в азимутальной плоскости по осям OY и OZ КА. Голубым цветом закрашены «мёртвые» зоны

Рис. 3. Моделирование вертикального пересечения полей зрения камер в плоскостях XOY (а) и XOZ (б). Для каждой камеры поле зрения показано своим цветом

В вертикальной плоскости оптические оси камер наклонены на 32° относительно плоскости горизонта, что позволяет вести съёмку 36-градусной панорамы всей видимой поверхности Марса в процессе снижения и посадки. На рис. 3 показаны модельные изображения полей зрения камер и их перекрытия в вертикальных плоскостях.

Технические характеристики ТСПП-ЭМ

Платформа ТСПП-ЭМ представляет собой функционально законченную систему, имеющую в составе все необходимые программно-аппаратные ресурсы для обеспечения требований назначения.

Включение и отключение ТСПП-ЭМ осуществляется от БИП. Реализация рабочей конфигурации ТСПП-ЭМ производится из БСД/ЭМ подачей (снятием) напряжения питания на соответствующие камеры, количество которых определяется заданным режимом работы ТСПП-ЭМ.

Полученные камерами изображения в виде цифрового потока передаются в БСД/ЭМ и сохраняются во внутренней энергонезависимой памяти включённого полукомплекта БСД/ЭМ. Объём памяти в каждом полукомплекте — 3 Гбайт.

Рис. 4. Структурная схема ТСПП-ЭМ

Основные характеристики системы ТСПП-ЭМ приведены ниже.

Основные характеристики ТСПП-ЭМ

Количество камер обзорных КАМ-О/ЭМ	4
Количество блоков сбора и обработки данных БСД/ЭМ	1
Назначенный срок службы	3 года
Из них:	
• эксплуатация и хранение в наземных условиях	2 года
• натурная эксплуатация в космосе	3 года
Вероятность безотказной работы за время эксплуатации	
в штатных условиях, не менее	0,95
Диапазон рабочих давлений окружающей среды	$10^{-6} \dots 10^{-13}$ мм рт. ст
Максимальное энергопотребление, не более	20 Вт
Рабочая температура	$-20 \dots +50$ °C

Структурная схема ТСПП-ЭМ приведена на рис. 4.

Описание камер КАМ-О/ЭМ

Основные технические характеристики КАМ-О/ЭМ приведены ниже.

Основные характеристики КАМ-О/ЭМ

Угловое поле зрения	$115 \times 115^\circ$
Размер матрицы	$11,264 \times 11,264$ мм

Число рабочих пикселей	2048×2048	
Относительное отверстие объектива, не менее	1:8	
Угловой размер пикселя, не более	3,5 угл. мин	
Выходная разрядность квантования, не менее	8 бит	
Цветность	RGB	
Максимальный темп съёмки, не менее.	1 кадр/с	
Динамический диапазон одиночного кадра	60 дБ	
ГРИП (глубина резко изображаемого пространства) при диаметре кружка нерезкости, равном 1,6 диагонали пикселя датчика изображения, не менее .		1,0...∞ м
Масса	0,4 кг	
Габариты		
• высота, не более	79 мм	
• диаметр бленды.	107 мм	
• размер посадочной плоскости	109×97 мм	
Максимальное энергопотребление, не более	1,8 Вт	

Внешний вид КАМ-О/ЭМ представлен на *рис. 5*.

В КАМ-О/ЭМ используется малоформатный широкоугольный объектив ОВК-4,8-ЭМ с фокусным расстоянием $f = 4,8$ мм, угловым полем зрения $115 \times 115^\circ$ и относительным отверстием $D:f = 1:8$. В качестве фоточувствительного элемента в камерах используется неохлаждаемая КМОП-матрица CMV4000 размером $11,26 \times 11,26$ мм, каждый пиксель которой имеет размер $5,5 \times 5,5$ мкм. Количество пикселей на матрице составляет 2048×2048 .

Форматы изображений, получаемые с камер ТСПП-ЭМ, приведены в *табл. 1*.

Таблица 1. Форматы изображений, получаемых при работе с камерами

Ширина × высота, пиксель	Бинирование	Разрядность, бит	Цветность	Объём в памяти, Мбит
2048×512	Нет	12	RGB	16
1024×1024	2×2	14	Монохром	16
1024×1024	2×2	14	RGB	16
2048×2048	Нет	12	RGB	64

Рис. 5. Внешний вид КАМ-О/ЭМ

Описание БСД/ЭМ

Блок БСД/ЭМ представляет собой резервированную вычислительно-управляющую машину с набором информационных интерфейсов и энергонезависимой памятью для хранения данных. Конструктивно БСД/ЭМ реализован в виде моноблока. Функционально БСД/ЭМ состоит из двух идентичных полуккомплектов: основного и резервного.

Блок БСД/ЭМ предназначен для выполнения следующих основных функций:

- информационный обмен по высокоскоростному интерфейсу (ВСИ) с БИП;
- управление функционированием КАМ-О/ЭМ и получение от них видеоданных по специальным интерфейсам связи;
- хранение в энергонезависимой памяти видеоданных и телеметрической информации, полученной от камер, а также собственной телеметрической информации для последующей трансляции на Землю;
- предварительная обработка записанных видеоданных с целью уменьшения объёма информации, передаваемой на Землю (сжатие, формирование фрагментов и т.п.);
- обеспечение электропитанием четырёх КАМ-О/ЭМ;
- самотестирование и тестирование работоспособности четырёх камер наблюдения автоматически или по команде, хранение результатов тестирования для последующей передачи на Землю;
- хранение текущих настроек четырёх КАМ-О/ЭМ.

Удаление массивов данных из внутренней энергонезависимой памяти БСД/ЭМ должно происходить по команде от БИП, в том числе и в случае заполнения всей внутренней памяти БСД/ЭМ.

В состав БСД/ЭМ также входит модуль вторичного источника питания (МВИП), который выполняет следующие функции:

- преобразование напряжения бортсети во вторичные напряжения, гальванически развязанные от напряжения бортсети и необходимые для работы ТСПП-ЭМ;
- коммутация питания КАМ-О/ЭМ;
- контроль наличия напряжения бортсети;
- контроль температуры корпуса БСД/ЭМ;
- защита от токовых перегрузок в цепях электропитания.

Вторичный источник питания БСД/ЭМ состоит из двух идентичных каналов: основного и резервного. В МВИП установлен узел контроля температуры прибора и цепи контроля стыковки для наблюдения за правильностью стыковки соединителей БСД/ЭМ, а также устройство защиты, срабатывающее при превышении потребляемого от бортсети тока. Включение МВИП осуществляется подачей напряжения бортсети на соответствующий канал. Время непрерывной работы БСД-ЭМ не должно превышать 10 мин.

Основные характеристики блока БСД/ЭМ приведены ниже.

Основные характеристики БСД/ЭМ

Количество полуккомплектов	2
Объём памяти в одном полуккомплекте	3 Гбайт
Масса	1,7 кг
Габариты, не более	228×155×81 мм
Максимальная потребляемая мощность, не более	12,8 Вт

Этапы съёмки

Система ТСПП-ЭМ функционирует согласно циклограммам работы, описанным ниже.

Передача данных на Землю для каждой циклограммы определяется графиком работы радиоканала.

Циклограмма «Перелёт»

На этапе перелёта к Марсу предусматривается включение аппаратуры ТСПП-ЭМ для проведения диагностики её блоков, формирования нескольких массивов штатной телеметрической информации (ШТМИ), диагностической телеметрической информации (ДТМИ) и тестовых кадров с четырёх камер. Объём проверок определяется возможностями по передаче данных при перелёте КА.

Циклограмма «Снижение и посадка»

На этапе снижения и посадки планируется включение аппаратуры ТСПП-ЭМ для проведения панорамной видеосъёмки вплоть до касания поверхности, а также панорамной съёмки высокого разрешения непосредственно после посадки.

Циклограмма «Поверхность-1»

При первом включении на поверхности предусматривается проведение полной проверки аппаратуры ТСПП-ЭМ и съёмка панорамы.

Циклограмма «Поверхность-2»

Время и количество включений ТСПП-ЭМ определяются дополнительно, исходя из доступной энергетики и информативности радиоканала.

Конструктивные особенности

В оптико-физическом отделе ИКИ РАН имеется многолетний опыт разработки оптико-электронных систем космического назначения, например телевизионной системы навигации и наблюдения (ТСНН) проекта «Фобос-Грунт» для съёмки Фобоса и служебной телевизионной системы (СТС-Л) в рамках проекта «Луна-Глоб», предназначенной для телевизионных съёмок Луны (Эльяшев и др., 2015; Mishkin et al., 1998). Используемые при разработке ТСПП-ЭМ конструкторские, схемотехнические и программные решения обеспечивают:

- полный круговой обзор;
- получение резких изображений во всём интервале расстояний;
- получение цветовой информации;
- динамический диапазон $\geq 10^4$ для съёмки как освещённых, так и затенённых участков поверхности;
- достижение компромисса между размером изображения (с учётом узкой ширины полосы пропускания радиоканала) и его качеством за счёт использования оптимального алгоритма сжатия изображения (JPEG-LS (LOCO)).

Тестирование камер

В рамках испытаний системы СТС-Л, разработанной для посадочных аппаратов лунных миссий и являющейся изделием-прототипом для ТСПП-ЭМ, были получены кадры с четырёх обзорных камер КАМ-О из состава СТС-Л (Жуков и др., 2011), установленных на специальную оснастку (рис. 6). КАМ-О по своим основным оптико-физическим характеристикам является идентичной КАМ-О/ЭМ. Оснастка позволяет установить произвольный угол наклона для каждой из четырёх камер. В ходе тестирования угол наклона камер составлял 35° от вертикальной оси.

Рис. 6. Оснастка для проведения съёмки панорамы

Рис. 7. Панорама, собранная из четырёх кадров

При помощи контрольно-испытательной аппаратуры (КИА) СТС-Л были заданы следующие параметры съёмки:

- количество кадров для усреднения внутри одной экспозиции — 9;
- минимальная экспозиция — 1 мс;
- число шагов HDR — 16.

После проведения съёмки кадры были переданы на КИА СТС-Л при помощи имитатора радиоканала с обоих полуккомплектов. Проведена успешная проверка полноты и целостности полученных данных.

Далее снимки были обработаны при помощи специального ПО, в результате чего была сформирована круговая панорама комнаты (рис. 7). Результирующее изображение имеет формат 6220×6408 пикселей и динамический диапазон порядка 10^5 .

Площадь перекрытия кадров и размер «мёртвой» зоны под аппаратом будут измерены в АО «НПО Лавочкина» во время испытаний на макете посадочного аппарата. В текущем эксперименте такие измерения не проводились, так как расположение камер не соответствует штатному. Однако полученный результат полностью удовлетворяет задаче качественной панорамной съёмки поверхности Марса.

Сборка HDR не привела к появлению визуально заметных дефектов кадра, яркость и баланс белого на кадрах удалось выровнять, кадры имеют множество общих точек.

Обзор камер марсоходов и посадочных платформ

Для исследования структуры марсианской поверхности необходима высококачественная телевизионная система, дающая изображение с малыми геометрическими и яркостными искажениями, а также имеющая высокое угловое разрешение при большом угле обзора, т. е. большую чёткость.

Однако к телевизионной системе для управления, по сравнению с системой для научных наблюдений, предъявляются меньшие требования, касающиеся чёткости и угловой разрешающей способности, так как её основное назначение — обеспечивать надёжное опознавание лишь тех, сравнительно крупных, препятствий (камней, кратеров, трещин), которые представляют опасность для движения марсохода.

Существует большой опыт применения таких систем как в марсоходах, так и на посадочных платформах. Сравнительные характеристики камер ПП КА «Экзомарс-2020» и ПП InSight и камер, использовавшихся в марсоходах Spirit, Opportunity, Curiosity и Sojourner, приведены в табл. 2 (Coates et al., 2017; Gunn, Cousins, 2016; Josset et al., 2017; Malin et al., 2017). По сравнению с панорамными камерами, использованными в других миссиях, КАМ-О/ЭМ имеет матрицу большего разрешения, а также большое поле зрения, что позволит получить изображения лучшего качества. Таким образом, оптико-физические характеристики КАМ-О/ЭМ смогут обеспечить выполнение поставленных задач телевизионных съёмок.

Таблица 2. Сравнительные характеристики камер марсоходов и КА «ЭкзоМарс-2020»

	КА «Экзомарс-2020»		InSight	Curiosity	Opportunity и Spirit	Sojourner
Место установки	ПП	Марсоход	ПП	Марсоход	Марсоход	Марсоход
Год посадки	2021	2021	2018	2012	2004	1997
Служебные камеры, шт.	—	4	1	12	6	2
Научные камеры, шт.	4	4	1	5	6	1

Окончание табл. 2

	КА «Экзомарс-2020»		InSight	Curiosity	Opportunity и Spirit	Sojourner
Навигационные камеры, шт.	—	2, NavCam 1024×1024 ПЗ 45° Стереобаза 150 мм 2, LocCam 1024×1024	1, IDC ПЗС 1024×1024 ПЗ 45°	2, стерео ч/б ПЗ 45°	2, стерео	1, стерео ч/б ПЗС, 768×484
Камеры по пре- дотвращению опасных ситуа- ций, шт.	—	—	—	8 ч/б ПЗС 1024×1024 ПЗ 120°	4 ч/б ПЗС 1024×1024 ПЗ 120°	—
Панорамная камера, шт.	4 КАМ-О/ЭМ, цвет. КМОП 2048×2048 ПЗ 115×115° (F 4,8 мм)	2 широкоугольные камеры (WAC) для мультиспектраль- ной съёмки ПЗ 32,28° (F 21,85 мм) 1024×1024; 1 камера высокого разрешения (HRC) КМОП APS ПЗ 4,88° (F 180 мм) 1024×1024	1, ICC ПЗС, 1024×1024 ПЗ 124×124°	2 MastCam цвет. ПЗС фото 1600×1200 видео 720 p 10 Гц ПЗ 15 и 5,1° (F 34 мм)	2, стерео цвет. ПЗС Mitel 1024×2048 ПЗ 16×16° (F 43 мм)	—
Другие научные камеры	—	CLUPI, КМОП APS 2652×1768; 3 цвета ПЗ 14±2° диаг. (11,9×8,0°)	—	MastCam, MAHLI, MARDI, ChemCam	Mini-TES	поворотная цвет. ПЗС 768×484

Заключение

Представлены основные функциональные возможности телевизионной системы посадочной платформы космического аппарата «ЭкзоМарс-2020». Решению целевых задач получения фото- и видеоматериалов на всех этапах лётных испытаний КА способствует выбор оптимальных характеристик камер КАМ-О/ЭМ и их расположение на посадочной платформе. БСД/ЭМ обеспечивает возможность проведения съёмок в нескольких режимах, а также сбор, хранение и последующую передачу полученных материалов в служебные системы КА для отправки на Землю.

Литература

1. Жуков Б. С., Жуков С. Б., Снеткова Н. И., Теплухина Т. Р. Проверка характеристик камер телевизионной системы навигации и наблюдения по результатам натурных съёмок // 2-я Всерос. научно-техн. конф. «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов»: сб. тр. Таруса, 13–16 сент. 2010. М: ИКИ РАН, 2011. С. 308–318.
2. Эльяшев Я. Д., Бессонов Р. В., Полянский И. В., Прохорова С. А., Жуков Б. С. Алгоритмы работы съёмочных камер служебной телевизионной системы космического аппарата «Луна-Глоб» // 4-я Всерос. научно-техн. конф. «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов»: сб. тр. Таруса. 8–11 сент. 2014. М: ИКИ РАН, 2015. С. 181–205.
3. Arvidson R. E., Iagnemma K. D., Maimone M., Vasavada A. R. Relating geologic units and mobility system kinematics contributing to Curiosity wheel damage at Gale Crater Mars // J. Terramechanics. 2017. V. 73. P. 73–93.

4. Coates A. J., Jaumann R., Griffiths A. The PanCam Instrument for the ExoMars Rover // *Astrobiology*. 2017. V. 17. No. 6–7. P. 511–541.
5. Gunn M., Cousins C. R. Mars surface context cameras past, present, and future // *Earth and Space*. 2016. V. 3. Iss. 4. P. 144–162.
6. Josset J.-L., Westall F., Hofmann B. A., Vago J. L. The Close-Up Imager Onboard the ESA ExoMars Rover: Objectives, Description, Operations, and Science Validation // *Activities Astrobiology*. 2017. V. 17(6–7). P. 595–611.
7. Lemmon M. T., Wolff M. J., Smith M. D. Atmospheric Imaging Results from the Mars Exploration Rovers: Spirit and Opportunity // *Science*. 2004. V. 306. P. 1753–1756.
8. Malin M. C., Ravine M. A., Caplinger M. A. The Mars Science Laboratory (MSL) Mast cameras and Descent imager: Investigation and instrument description // *Earth and Space*. 2017. No. 4(8). P. 506–539.
9. Mishkin A. H., Morrison J. C., Nguyen T. T., Stone H. W., Cooper B. K. Experiences with Operations and Autonomy of the Mars Pathfinder Microrover // *Proc. IEEE Aerospace Conf. Aspen, CO*, 1998.

Remote television imaging from the landing platform of the ExoMars-2020 spacecraft

N. F. Abramov, S. V. Voronkov, A. V. Nikitin, I. V. Polyanskiy, A. A. Forsh

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: abramov.n2@mail.ru

The paper describes the television system of the landing platform (TSPP-EM), designed as part of the complex of scientific instruments of the ExoMars-2020 spacecraft. Design features of TSPP-EM as well as imaging stages are considered. Among the construction features it is important to note that the optical axes of all four cameras (CAM-O/EM) are spaced by 90° in the azimuthal plane. This makes it possible to completely overview the horizon line due to the overlapping fields of view of the cameras. The cameras are placed on the edges of the landing platform in close proximity to the outer boundary on special brackets. The data collection unit (BSD/EM) provides imaging in several modes, as well as collection, storage and subsequent transfer of the received data to the spacecraft housekeeping systems for sending to the Earth. The results of testing of four surveillance cameras KAM-O from the housekeeping television system (STS-L) of the Luna-Glob project in order to obtain a panoramic image are demonstrated. The comparative characteristics of television systems installed on Mars Rovers Sojourner, Spirit, Opportunity and Curiosity, as well as the InSight landing platform are given. A distinctive feature of TSPP-EM is the ability to obtain a circular panorama in a video and photo mode during the descent, landing, as well as stay on the surface of Mars.

Keywords: ExoMars-2020 spacecraft, TSPP-EM, Mars, TV imaging, panoramic imaging, landing platform, scientific instrumentation

Accepted: 23.11.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-188-200

References

1. Zhukov B. S., Zhukov S. B., Snetkova N. I., Teplukhina T. R., Proverka kharakteristik kamer televizionnoi sistemy navigatsii i nablyudeniya po rezultatam naturnykh s'emok (On-Ground Tests of the Cameras of Television System for Navigation and Observation), *2-ya Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Sovremennye problemy orientatsii i navigatsii kosmicheskikh apparatov"* (2nd All-Russia Scientific and Technological Conf. "Contemporary problems of spacecraft attitude determination and control"), Proc., Tarusa, 13–16 Sept., 2010, Moscow: IKI RAN, 2011, pp. 308–318.
2. Elyashev Ya. D., Bessonov R. V., Polyanskiy I. V., Prokhorova S. A., Zhukov B. S., Algoritmy raboty s'emochnykh kamer sluzhebnoi televizionnoi sistemy kosmicheskogo apparata "Luna-Glob" (Algorithmic

- Support of Service Television System (STS-L) for the Spacecraft Luna-Glob), 4-ya Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Sovremennye problemy orientatsii i navigatsii kosmicheskikh apparatov" (4th All-Russia Scientific and Technological Conf. "Contemporary problems of spacecraft attitude determination and control"), Proc., Tarusa, 8–11 Sept., 2014, Moscow: IKI RAN, 2015, pp. 181–205.
3. Arvidson R. E., Iagnemma K. D., Maimone M., Vasavada A. R., Relating geologic units and mobility system kinematics contributing to Curiosity wheel damage at Gale Crater Mars, *J. Terramechanics*, 2017, Vol. 73, pp. 73–93.
 4. Coates A. J., Jaumann R., Griffiths A., The PanCam Instrument for the ExoMars Rover, *Astrobiology*, 2017, Vol. 17, No. 6–7, pp. 511–541.
 5. Gunn M., Cousins C. R., Mars surface context cameras past, present, and future, *Earth and Space*, 2016, Vol. 3, Issue 4, pp. 144–162.
 6. Josset J.-L., Westall F., Hofmann B. A., Vago J. L., The Close-Up Imager Onboard the ESA ExoMars Rover: Objectives, Description, Operations, and Science Validation, *Activities Astrobiology*, 2017, Vol. 17(6–7), pp. 595–611.
 7. Lemmon M. T., Wolff M. J., Smith M. D., Atmospheric Imaging Results from the Mars Exploration Rovers: Spirit and Opportunity, *Science*, 2004, Vol. 306, pp. 1753–1756.
 8. Malin M. C., Ravine M. A., Caplinger M. A., The Mars Science Laboratory (MSL) Mast cameras and Descent imager: Investigation and instrument description, *Earth and Space*, 2017, No. 4(8), pp. 506–539.
 9. Mishkin A. H., Morrison J. C., Nguyen T. T., Stone H. W., Cooper B. K., Experiences with Operations and Autonomy of the Mars Pathfinder Microrover, *Proc. IEEE Aerospace Conf.*, Aspen, CO, 1998.