

## ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО КОМПЛЕКСА ПРОЕКТА «ФОБОС-ГРУНТ»

*А.В. Бондаренко<sup>2</sup>, И.В. Докучаев<sup>2</sup>, О.И. Кораблев<sup>1</sup>, А.Б. Киселев<sup>1</sup>,  
О.Е. Козлов<sup>1</sup>, В.А. Котцов<sup>1</sup>, Ж.-П. Бибринг<sup>3</sup>, Ж.Ж. Фурмонд<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт космических исследований Российской академии наук, Москва

<sup>2</sup> ООО «Растр Технолоджи», Москва

<sup>3</sup> Институт космической астрофизики, Франция

Одной из основных задач проекта «Фобос-Грунт» является забор и возврат грунта. Для реализации этой задачи перелетный модуль (ПМ) планируется оснастить манипулятором с целым набором специальных инструментов. Однако для анализа морфологических особенностей поверхности, выбора мест взятия грунта, оценки представительности образца и других подобных целей необходимо применение систем технического зрения. Планируется, что манипуляторный комплекс проекта «Фобос-Грунт» должен быть оснащен телевизионными системами для решения задач разного уровня. Таких систем предполагается три: 1) камера, закрепленная на подвижной части манипулятора, которая позволяет получить и передать панораму места посадки и старта возвращаемого модуля; 2) стереокамера, жестко закрепленная на борту ПМ, которая позволяет наблюдать пространственную структуру поверхности и определять координаты положения интересующих образцов; 3) микроскоп-камера – спектрометр, также прикрепленный к основанию манипулятора, который позволяет наблюдать компонентный состав частиц, составляющих образец грунта, и их спектральные характеристики отражения для пяти спектральных зон излучения. Управление всеми телевизионными системами осуществляется через один общий блок электроники. Он содержит ВИП, средства управления, накопления, хранения и передачи видеoinформации.

One of the primary goals of the project “Phobos-Grunt” is the fence and return of a ground. For realization of this task flying module (FM) is planned to equip with the manipulator with the whole set of special tools. However for the analysis of morphological features of a surface, a choice of places of a capture of a ground, an estimation of imposing appearance of a sample and other similar purposes application of systems of technical sight is necessary. It is planned, that manipulator of the project “Phobos-Grunt” should be equipped with television systems for the decision of tasks of a different level. Such systems it is supposed three: 1) the chamber fixed on a mobile part of the manipulator which allows to receive and

transfer a panorama of a place of landing and start of the returned module; 2) the stereocamera rigidly fixed on-board FM which allows to observe spatial structure of a surface and to define coordinates of position of interesting samples; 2) a microscope – Spectrometer also attached to the basis of the manipulator which allows to observe componential structure of the particles making a sample of a ground, and their spectral characteristics of reflection for five spectral zones of radiation. Management of all television systems is carried out through one general block of electronics. It contains control facilities, accumulation, storages and transfers of video information.

Телевизионные наблюдения Фобоса, выполненные с российского космического аппарата «Фобос-2» и европейского космического аппарата «Марс-Экспресс» со значительного расстояния, дали интересные результаты для изучения спутника Марса. Эти исследования будут продолжены наблюдениями с близкого расстояния в новом проекте «Фобос-Грунт».

Одной из основных задач посадки на Фобос перелетного модуля (ПМ), разрабатываемого для космического проекта «Фобос-Грунт», является взятие проб грунта в месте посадки, анализ его научными приборами, находящимися на борту ПМ, и возвращение образца грунта на Землю. Для этого в состав необходимого оборудования ПМ должна входить рука-манипулятор, оснащенная грунтозаборным устройством (ГЗУ). На ПМ используется трехзвенный радиальный манипулятор, высота крепления на корпусе — 450 мм, рабочая область манипулятора — 800 мм на 120°, точность позиционирования 2 мм. На рис. 1 приведено изображение действующего макета такого манипулятора.

Планируется, что ГЗУ возьмет характерные образцы грунта с разных точек поверхности в месте посадки и разместит их в возвращаемый контейнер, а также в приемные лотки научных



**Рис. 1.** Действующий макет манипулятора

приборов ПМ для исследований. Возникают вопросы, как осуществить этот выбор, какие из образцов будут характерны или уникальны для изучаемого участка.

Очевидно, что для выполнения всех этих задач манипуляторный комплекс необходимо оснастить средствами технического зрения. Специалистами французского Института космической астрофизики (IAS) было предложено использовать для этого камеры, уже разработанные для европейского космического проекта «Розетта». В камерах применяются твердотельные матричные фотоприемники фирмы Томсон. Запущенный в марте 2004 г., космический аппарат с такими же камерами должен достичь в 2014 г. своей цели — кометы Чурюмова–Герасименко. Применение одинакового оборудования должно обеспечить сопоставимость результатов, получаемых в обоих проектах. Кроме того, эти камеры уже разработаны для длительной работы в космических условиях, прошли весь цикл испытаний и соответствуют требованиям и задачам проекта «Фобос-Грунт». Это снижает расходы, сокращает сроки и повышает эффективность разработки. На рис. 2 показан базовый образец камеры, используемой в проекте «Розетта».

Для осуществления различных функций в составе манипуляторного комплекса планируется иметь несколько следующих типов оборудования технического зрения:



Рис. 2. Образец французской камеры технического зрения проекта «Розетта»

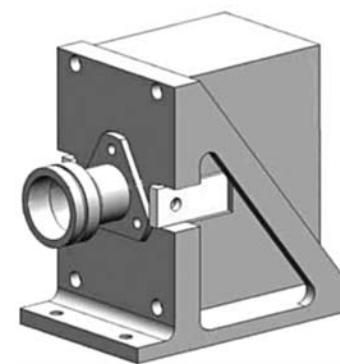


Рис. 3. Панорамная камера с кронштейном

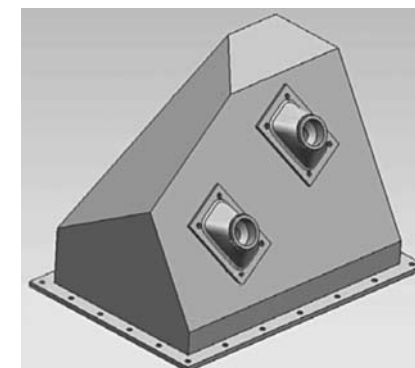


Рис. 4. Блок стереокамеры

- панорамную (обзорную) телевизионную камеру (рис. 3), размещенную на подвижной части манипулятора; она обеспечит как общий обзор района с получением панорамы места посадки, так и целевой крупномасштабный анализ морфологической структуры участка поверхности, выбранного для взятия образца грунта, а также наблюдение взлета возвращаемого модуля с образцом грунта и, возможно, визуальный контроль состояния научных приборов в отдельных случаях;
- стереокамеру (рис. 4), жестко закрепленную на платформе ПМ с областью наблюдения, перекрывающей рабочую зону манипулятора, которая позволит целенаправленно выбрать образец грунта; она содержит две взаимно ориентированные камеры; стереокамера передаст стереопару изображений для выбора образцов грунта, фотограмметрического определения координат его положения и управления манипулятором при наведении для взятия этих образцов; она также обеспечит стереоскопические определения морфологических элементов пространственной структуры поверхности Фобоса вблизи места посадки;
- камеру-микроскоп (рис. 5), размещенную на корпусе ПМ в пределах доступности манипулятора, которая

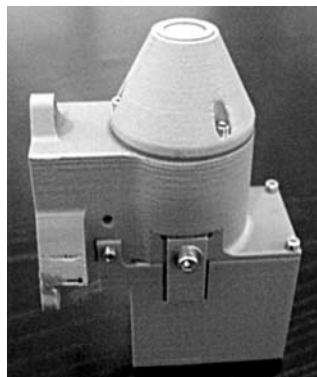


Рис. 5. Конструкция микроскопа

обеспечит анализ микроструктуры и спектральный состав образцов грунта; оптическая часть микроскопа имеет коническую форму; сверху ее закрывает сапфировое предметное стекло; внутри конуса находятся светодиоды и микрообъектив; загрузочно-разгрузочный узел (рис. 6) для образца грунта выполнен в виде опрокидывающегося лотка с ометателем предметного стекла.

Во всех трех телевизионных системах предложено использовать однотипные камеры. Однако в зависимости от выполняемых задач технические требования к ним должны быть различны. Укажем их основные особенности.

Объектив панорамной камеры должен передавать детали изображения с хорошим качеством, как при наблюдении на близком расстоянии, так и на значительном удалении для получения обзорных панорам, обладать значительной глубиной резкости. Она функционирует вне корпуса ПМ, в жест-

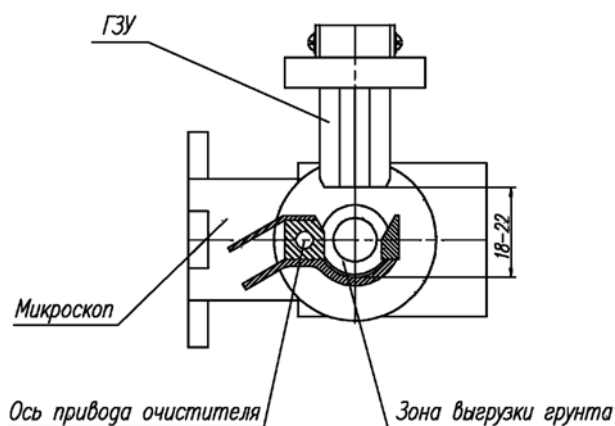


Рис. 6. Загрузочно-разгрузочный узел микроскопа с ометателем

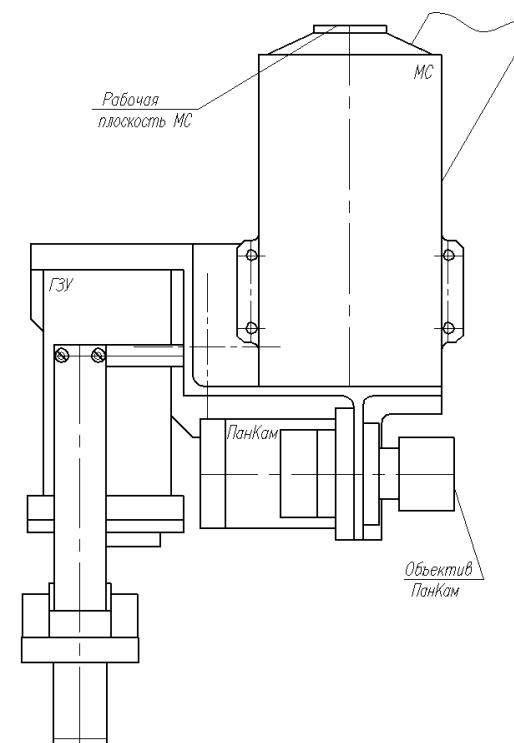


Рис. 7. Размещение трех приборов на манипуляторе

ких условиях открытого космоса в большом диапазоне температур. Это требует внимания к выбору конструкции. При этом камера должна иметь малые габариты и массу, чтобы не затруднять работу манипулятора.

Одновременно с камерой на руке манипулятора находятся мессбауэровский спектрометр (МС) и инструмент для забора образца грунта. На рис. 7 показано взаимное положение этих трех инструментов на руке. Смена выполняемых функций производится разворотом этого узла. Размещение панорамной камеры, МС и «пальцев захвата» руки на манипуляторе организовано таким образом, что при замене одного из этих инструментов на другой их функциональные оси оказываются на одной и той же линии.

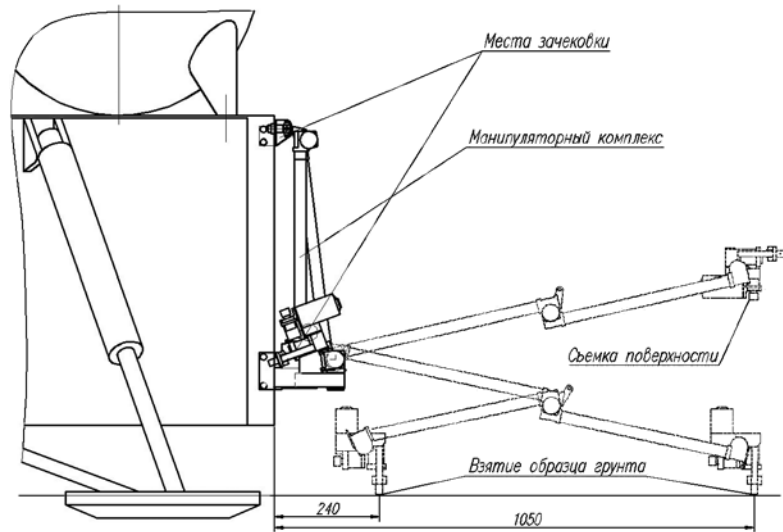


Рис. 8. Фазы работы манипулятора

На рис. 8 показано положение манипулятора в трех разных фазах состояния: при исходном зачехованном положении, в положении съемки заданного участка и два варианта взятия образца грунта. При зависании над поверхностью камера позволяет уточнить положение руки для взятия заданного образца, затем выполнить сеанс спектральных измерений, а потом взять образец грунта для анализа в микроскопе или, например, для загрузки в спускаемый аппарат для доставки на Землю.

При загрузке образцов грунта в приемные лотки разных научных анализаторов возможен предварительный визуальный контроль их положения. Для большей эффективности на приемных лотках наносятся целеуказатели.

При наблюдении старта с Фобоса камеру ориентируют в заданном направлении и в момент выброса капсулы получают серию изображений для анализа процесса запуска.

Стереокамера должна отвечать фотограмметрическим требованиям. Объективы пары камер должны иметь одинаковые фокусные расстояния и минимальную дисторсию для

обеспечения фотограмметрического качества изображения. Глубина резкости при этом может ограничиваться областью работы манипулятора. Обе камеры жестко закрепляются на корпусе ПМ. Расстояние между центрами зрачков двух камер — базис — определяет угол засечки для измеряемого расстояния. Оптические оси двух камер ориентируют взаимно параллельно, перпендикулярно базису. Элементы внутреннего и внешнего ориентирования стереокамеры должны быть измерены и паспортизованы для использования в последующих измерениях.

Камера-микроскоп должна давать хорошее качество изображения микроструктуры образцов грунта в рабочем диапазоне температур. Для получения спектральной информации необходимо обеспечение фотометрических требований.

Для оценки спектральных характеристик частиц грунта выбраны пять зон спектра со следующими эффективными длинами волн: 505, 600, 670, 750, 880 нм. Для спектрометрии на микроскопе требуется специальный мини-объектив с одинаково хорошим пропусканием в выбранном диапазоне длин волн. Объектив камеры должен работать без значимых геометрических искажений во всех пяти выбранных зонах спектра. Качество изображений обеспечивается геометрическим совмещением снимков с разными спектрами. Такая цветокоррекция позволяет получить синтезированные спектрально-зональные снимки.

При работе с микроскопом образец грунта помещается манипулятором в лоток перед объективом микроскопа. Засыпанный на приемное стекло грунт закрывает внешний свет. Образец грунта освещается снизу светодиодами, размещенными вокруг объектива. Последовательное освещение анализируемого образца грунта в микроскопе светодиодами с разной длиной волны излучения преобразует микроскоп в видеоспектрометр. Это позволяет получить одновременный набор оценок оптических спектральных характеристик составляющих частиц грунта, которые характеризует их оптические свойства, связанные с природой минералогического состава (подробнее камера-микроскоп описана в статье настоящего сборника *Кораблев О.И.* и др. Микроскоп-спектрометр проекта «Фобос-Грунт», с. 324).

Для управления всеми камерами системы технического зрения ПМ, выбора функциональных каналов наблюдения, координации работы с другими подсистемами, получения и запоминания изображений, хранения и передачи видеoinформации предполагается изготовить один (общий) для всех камер блок электроники.

Блок электроники размещается на основании ПМ под стереокамерой. Это создает дополнительную защиту блока электроники от внешних воздействий и упрощает термостабилизацию подсистем электроники. Блок обеспечивает контроль состояния и управление работой камер, временное хранение получаемой видеoinформации и сброс для последующей передачи ее на Землю.

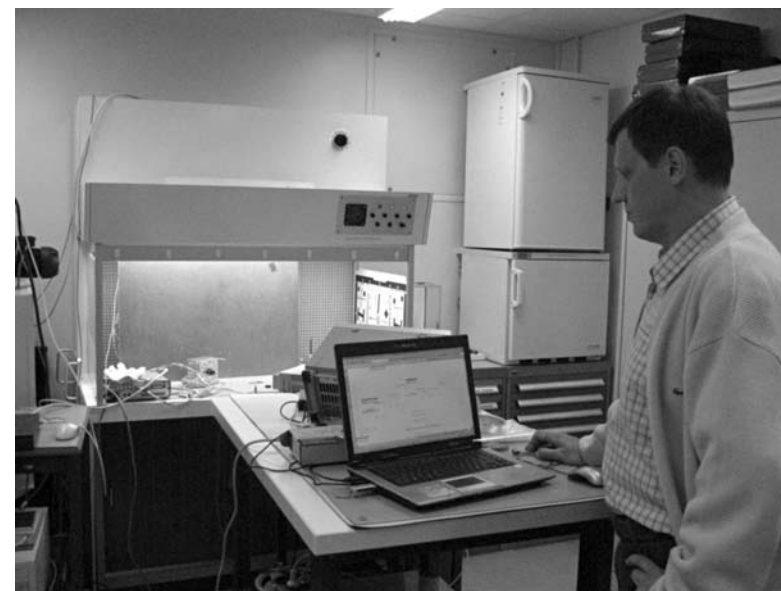
Блок электроники должен иметь входные интерфейсы для всех камер, содержать процессорный модуль управления операциями наблюдения и обработки получаемых данных, иметь необходимую по объему память для хранения полученной видеoinформации, а также выходной интерфейс для передачи данных. В корпусе блока электроники размещены вторичные источники питания.

Камеры соединены с блоком электроники кабелями. При поступлении питания камеры включаются. Каждая из камер подключена к цифровой информационной шине.



На рис. 9 показаны технологические образцы камеры микроскопа и электронной платы, подготовленные для проведения электрических испытаний. На рис. 10 представлен момент настройки электрических параметров во французском Институте космической астрофизики.

**Рис. 9.** Технологические образцы платы управления блока электроники и камеры-микроскопа



**Рис. 10.** Процесс наладки электрических параметров

Предлагаемый комплекс технического зрения манипуляторного комплекса обеспечит не только служебные функции при выборе образцов и взятии проб грунта для возврата его на Землю в решении основной задачи проекта «Фобос-Грунт», но и обзор места посадки и детальное наблюдение структуры поверхности. Это позволит получить важную научную информацию о морфологии поверхности и ее физических свойствах, даст более глубокое понимание природы Фобоса и существенно повысит эффективность космического эксперимента.