

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

УДК 520 681.3 681.7

Номер государственной регистрации 01.20.03 03422

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Института космических исследований

Российской академии наук

академик РАН



Л.М. Зелёный

2017 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Разработка перспективных бортовых систем и приборов, программно-аппаратных средств, создание КА малой размерности для проведения космических исследований, реализации прикладных и образовательных программ

Тема ВЕКТОР

0028-2014-0007

Научный руководитель

д.т.н. _____ Г.А. Аванесов

«_____» _____ 2017 г.

Москва

2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

г.н.с., д.т.н.



Аванесов Г.А.

Ответственные исполнители разделов темы:

заместитель директора



Чулков И.В.

заведующий отделом 57, к.т.н.



Бессонов Р.В.

начальник лаборатории 711



Ануфрейчик К.В.

заведующий лабораторией 538, д.ф.-м.н.



Манагадзе Г.Г.

заведующий лабораторией 645, д.т.н.



Косов А.С.

РЕФЕРАТ

Отчет 24 с., 10 рисунков

**БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ, НАУЧНЫЕ ПРИБОРЫ, ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ
СРЕДСТВА, СОВРЕМЕННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ, РАДИОФИЗИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА,
МАСС-СПЕКТРОМЕТРЫ**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Раздел 1. Разработка перспективной оптико-физической аппаратуры для научных и прикладных космических исследований	7
Раздел 2. Создание современных детекторов, научных приборов и комплексов для проектов ФКП, находящихся в стадии ОКР: «Луна-Ресурс», «Луна-Глоб», «Спектр-РГ», «Спектр-УФ», «Резонанс», программы EchoMars и пр. Сопровождение созданной аппаратуры при проведении летно-космических испытаний	14
Раздел 3. Разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой	20
Раздел 4. Работы по обновлению научно-производственного центра в ИКИ РАН для создания перспективной космической аппаратуры	21
Раздел 5. Выпуск технической документации	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Основные направления деятельности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук соответствуют Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 3 декабря 2012 г., № 2237-р.

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с заданиями Российской академии наук, ежегодным тематическим планом Института и “Федеральной космической программой России” по следующим основным направлениям:

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 16, 14);
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно-земных связей (номер направления в Программе 16, 14);
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 16, 129);
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 137,138);
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики (номер направления в Программе 21);
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 16).

Эти направления НИР и ОКР соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 03 декабря 2012 г. № 2237-р.

№ п/п	Направление фундаментальных исследований	Номер направления в «Программе»
1.	Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач	16
2.	Современные проблемы физики плазмы, включая физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы её применения в технологических процессах	14

3.	Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.	129
4.	Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС- технологии.	138
5.	Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества	137
6.	Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем.	21

Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики проводятся по теме 0028-2014-0007 ВЕКТОР.

Тема 0028-2014-0007 ВЕКТОР является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2016 г. по теме ВЕКТОР Разработка перспективных бортовых систем и приборов, программно-аппаратных средств, создание КА малой размерности для проведения космических исследований, реализации прикладных и образовательных программ.

Тема «ВЕКТОР». Разработка перспективных бортовых систем и приборов, программно-аппаратных средств, создание КА малой размерности для проведения космических исследований, реализации прикладных и образовательных программ.

Гос. регистрация №01.20.03 03422

Науч. рук. д.т.н. Аванесов Г.А.

Зам. рук. темы Чулков И.В.

Раздел 1. Разработка перспективной оптико-физической аппаратуры для научных и прикладных космических исследований

1.1 Разработка методов и средств автономной навигации летательных аппаратов на основе измерения параметров естественных полей и ориентиров

Навигация по береговой линии

Отв. исп. И.В. Полянский.

В 2017 году продолжались начатые ранее работы в области навигации космических аппаратов по форме наблюдаемой береговой линии морей и океанов. В рамках указанного выше направления выполнены следующие работы:

1. Проведена оценка вычислительной сложности разработанных алгоритмов. Установлено, что большая часть затрат времени приходится на первоначальный грубый поиск (корреляционного типа) по координатам. Это имеет место даже при том условии, что грубый поиск выполнен с использованием достаточно экономичного в вычислительном плане метода редких сеток.

2. Для сокращения вычислительных затрат был последовательно отработан ряд алгоритмов структурного поиска, которые имели значительно меньшую вычислительную сложность. Однако, как и следовало ожидать, точность и надежность структурных методов оказались весьма зависимыми от локальной конфигурации береговых линий.

3. Был предложен и реализован структурно-корреляционный алгоритм грубого поиска (рисунок 1.1), который обладает двумя особенностями. Во-первых, он работает существенно быстрее использованного ранее корреляционного алгоритма, и, во-вторых, обладает более высокой надежностью и устойчивостью к вариациям локальной конфигурации береговых линий, чем указанные выше структурные алгоритмы.

Дополнительно указанный алгоритм дает возможность управлять формированием корреляционного пика с целью получения приемлемых свойств целевой функции сходства (ограниченность отношения собственных чисел матрицы вторых производных целевой функции и ограниченность корреляционных связей между определяемыми координатами). Это ускоряет сходимость алгоритма, т.е. опять же служит задаче сокращения вычислительных затрат.

Алгоритм выполняется в режиме реального времени и включает в себя загрузку векторной карты до заданной величины ошибки (Ramer–Douglas–Peucker алгоритм), селекцию опорных отрезков, которые будут использованы для локализации, формирование с заданным коэффициентом закругления изображений в окрестности опорных отрезков, формирование расчетных соотношений пересчета координат космического аппарата в локальные координаты окрестностей опорных отрезков и поиск экстремума целевой функции.

Направление дальнейших исследований – повышение эффективности алгоритмов селекции опорных отрезков исходя из локального топологического анализа границы береговых линий, выполняемого в реальном времени на борту.

4. Доработан алгоритм точного поиска для работы с объективом типа fish-eye.

5. Продолжены работы по формированию индивидуальных оценок точности навигации по каждому конкретному кадру. Дело в том, что точность оптической навигации определяется формой береговой линии, расстоянием и ракурсом её наблюдения, конкретными значениями наблюдаемого контраста и величинами наблюдаемых вариаций яркости материка и моря в непосредственной окрестности береговой линии. Все эти параметры постоянно меняются.

Предложена численная оценка точности локализации отрезков границы для конкретных наблюдаемых в данный момент времени изображений, основанная на анализе регрессионных остатках аппроксимации профиля яркости границы в предположении, что эти регрессионные остатки статистически независимы.

Рассмотрено получение оценок точности в случае вырождения информационной матрицы Фишера. Анализ показал, что из множества возможных решений наиболее адекватным решением является построение псевдообратной матрицы с использованием метода Moore–Penrose.

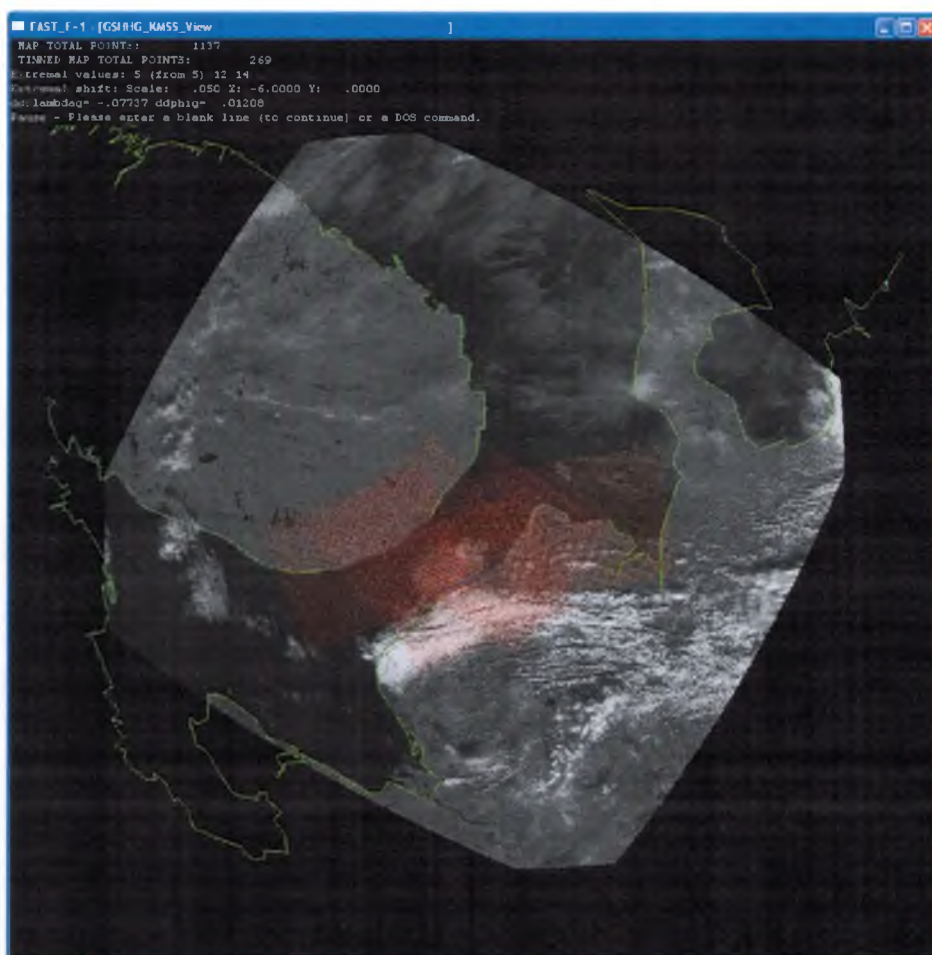


Рисунок 1.1 – Структурно-корреляционный алгоритм грубого поиска. На фрагмент изображения наложена точная карта (светло-серые линии), наложена загрубленная карта (зеленые линии), синим цветом выделено пять опорных отрезков, красными точками показаны массивы отсчетов изображения в окрестности этих отрезков. Размер этих массивов определяется размерами области неопределенности координат космического аппарата перед началом грубого поиска

Исследование методов автономной оптической навигации при посадке на Луну

Проведены исследование и разработка режимов и алгоритмов функционирования системы автономной оптической навигации космического аппарата (КА) при посадке на Луну.

На траектории подлета к району посадки начальное определение положения КА с точностью от нескольких сотен метров до нескольких километров проводится по баллистическому прогнозу или с помощью навигации по горизонту. В последнем случае достигается полная автономность системы оптической навигации. Далее траектория подлета уточняется по контрольным точкам, привязанным к карте Луны. Показано, что при разрешении современных топографическим моделям Луны ~ 100 м навигация по контрольным точкам применима до высоты ~ 10 км, обеспечивая определение положения КА с точностью ~ 50 м. На меньших высотах следует переходить на относительную навигацию по смещению выделяемых на изображении ориентиров, которые априорно не привязаны к карте. Для ограничения эффекта накопления ошибок при относительной навигации необходимо проводить многократную съемку одних и тех же ориентиров при максимально возможном изменении углов наблюдения и использовать баллистическую фильтрацию результатов измерений. Для обеспечения возможности применения навигации по контрольным точкам на всем этапе подлета вплоть до высоты 1-2 км необходимо построение топографических моделей участков подлета с разрешением не хуже ~ 10 м, что является приоритетной задачей топографического картирования Луны в проекте «Луна-Ресурс-1-ОА». Показано, что в этом случае будет возможным определение положения КА на всей трассе подлета с точностью не хуже ~ 10 м. Пример нахождения на изображении контрольных точек и оценки по ним положения КА в этом случае показан на рисунке 1.2.

После выхода в район посадки и начала вертикального спуска основными задачами системы автономной оптической навигации являются измерения боковой скорости КА методом относительной навигации с использованием независимых измерений высоты радиолокационными и лазерными высотомерами и построение карты риска. Показано, что точность оценки боковой скорости КА увеличивается с ~ 10 см/с на высоте 500 м до ~ 1 см/с на высоте 20 м. Для построения карты риска и выбора по ней наиболее безопасной площадки для посадки предложено использовать метод, основанный на анализе фотометрической неоднородности поверхности, которая у безатмосферных тел тесно связана со сложностью рельефа (рисунок 1.3). Проведено исследование чувствительности метода и показано, что для детектирования опасных кратеров и неровностей необходимо разрешение съемочной системы 10-20 см на момент принятия решения о маневре уклонения от препятствий.

Проанализированы требования к структуре и вычислительным характеристикам системы автономной оптической навигации с учетом требований рассмотренных выше навигационных задач при посадке на поверхность Луны и планет и их пример их реализации при эскизном проектировании Камеры обзора системы посадки (КОСП) для миссии «Луна-Ресурс» (см. п.1.2).



Рисунок 1.2 – Модельное изображение, получаемое камерой с полем зрения 180° с высоты 10 км на этапе подлета к месту посадки «Луна-Глоб»; центральная часть изображения, по которой проводится выбор контрольных точек, моделировалась по искусственной топографической модели разрешением 12 м, остальная часть – по модели LOLA256P с разрешением 120 м; детектированные контрольные точки показаны желтым цветом; ошибки оценки положения КА: по долготе – 1,4 м, по широте – 1,6 м, по высоте – 4,4 м

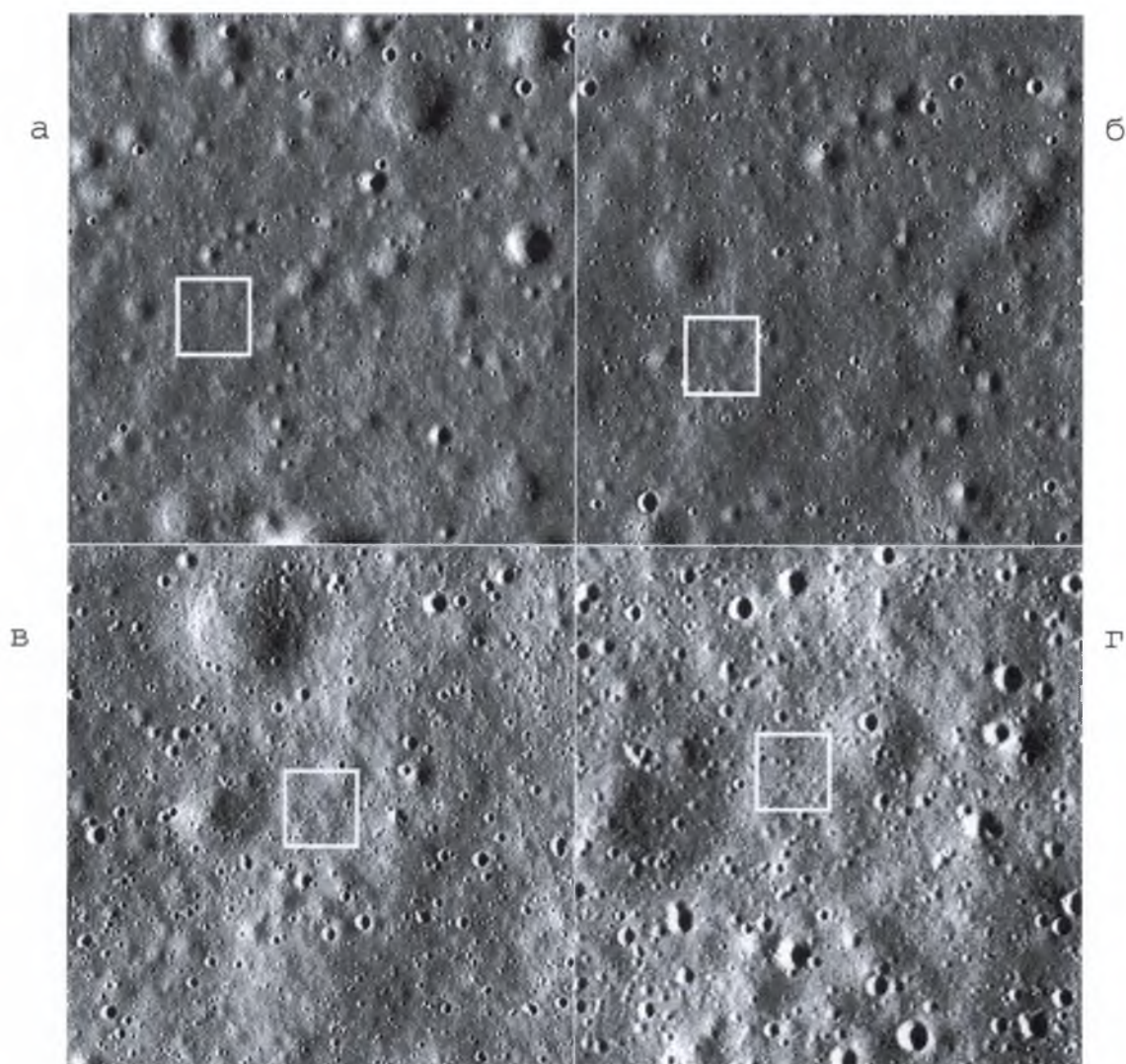


Рисунок 1.3 – Выбор наиболее безопасного места посадки на последовательности изображений района посадки КА Apollo 11 с разрешением: а – 4,16 м; б – 2,08 м; в – 1,04 м; г – 0,52 м; исходные изображения получены LROC/NAC с разрешением 0,52 м

1.2 Разработка малогабаритных оптико-электронных средств дистанционной съемки звезд, планет, других небесных тел и искусственных объектов в видимом и ближнем ИК диапазонах э/м спектра. В том числе в 2017 году: Разработка оптико-электронной камеры обеспечения безопасной посадки космических аппаратов на поверхность Луны и других небесных тел

Одной из задач, стоящих перед оптическим каналом систем космического аппарата, обеспечивающих получение информации о его движении и ориентации относительно поверхности планет, является построение так называемой «карты риска» того участка поверхности, на который планируется осуществить посадку (см. п. 1.1). Для формирования такой карты, а также определения угловых скоростей КА при снижении, разрабатывается оптическая телевизионная камера и специальное программно-алгоритмическое обеспечение, посредством которого производится обработка видеоинформации в бортовом вычислительном устройстве.

При выборе разрешения и поля зрения посадочной камеры для задачи построения карты риска необходимо исходить из следующих требований:

- должны детектироваться неровности размером 0,3 м,
- расстояние первого маневра с высоты 300 м – 100 м,
- расстояние второго маневра с высоты 100 м – 15 м,
- угол отклонения оси камеры от гравитационной вертикали не превышает 3 град (при условии стабилизации ориентации КА).

Для того, чтобы детектировать опасные неоднородности уже на высоте первого маневра (300 м), разрешение камеры на этой высоте должно быть не хуже 0,3 м.

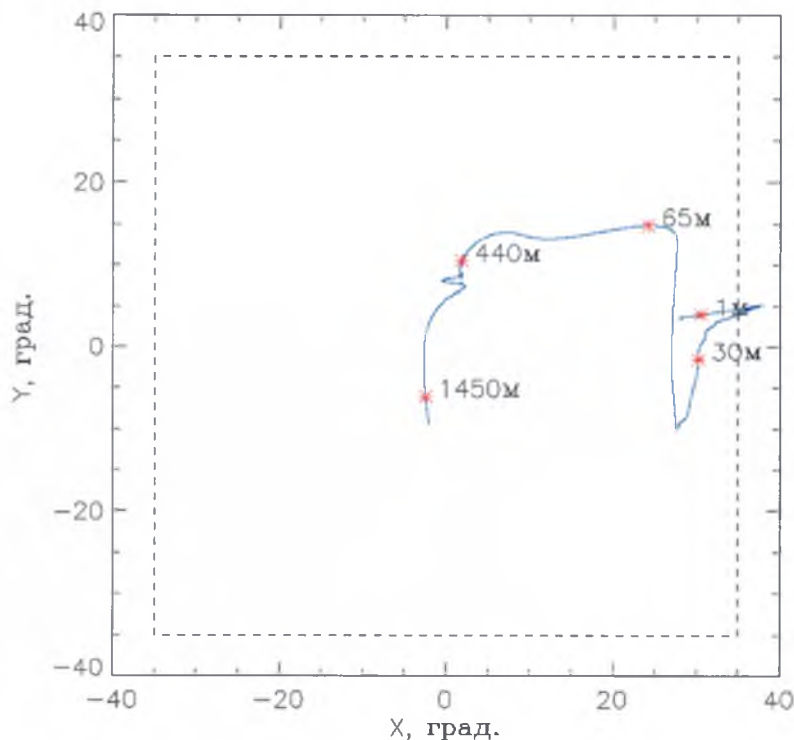


Рисунок 1.4 – Движение расчетной точки посадки в поле зрения посадочной камеры при ее ориентации по гравитационной вертикали (по результатам моделирования ИПМ РАН)

Поле обзора посадочной камеры опять должно быть максимально большим (при выполнении требований по разрешению) для того, чтобы:

- планируемая точка посадки на этапе выбора места посадки находилась в поле зрения камеры (на высотах выше 100 м отклонение направления на точку посадки от гравитационной вертикали достигает 20-25°);
- в поле зрения камеры был весь участок, достижимый при боковых маневрах КА, т.е. не менее ± 100 м с высоты 300 м и ± 15 м с высоты 100 м (отклонение направления на границы достижимого участка от гравитационной вертикали достигают $\sim 20^\circ$);
- обеспечить указанные требования при возможных отклонениях КА от гравитационной вертикали (при стабилизации – до 3°, при отсутствии стабилизации - до 45°).

Посадочная камера, обеспечивающая получение изображений поверхности Луны, предназначена для работы под управлением центрального вычислительного устройства (ВУ). Основные параметры работы камеры, такие как время экспозиции, частота кадров, характеристика преобразования свет-сигнал и т. д. определяются набором значений управляющих регистров КМОП матрицы и параметров синхросигналов, формируемых в

управляющей ПЛИС. Некий начальный набор стандартных параметров хранится в энергонезависимой памяти ВУ и передается в камеры для их первоначальной настройки. В процессе работы значения этих параметров могут быть изменены внешними командами.

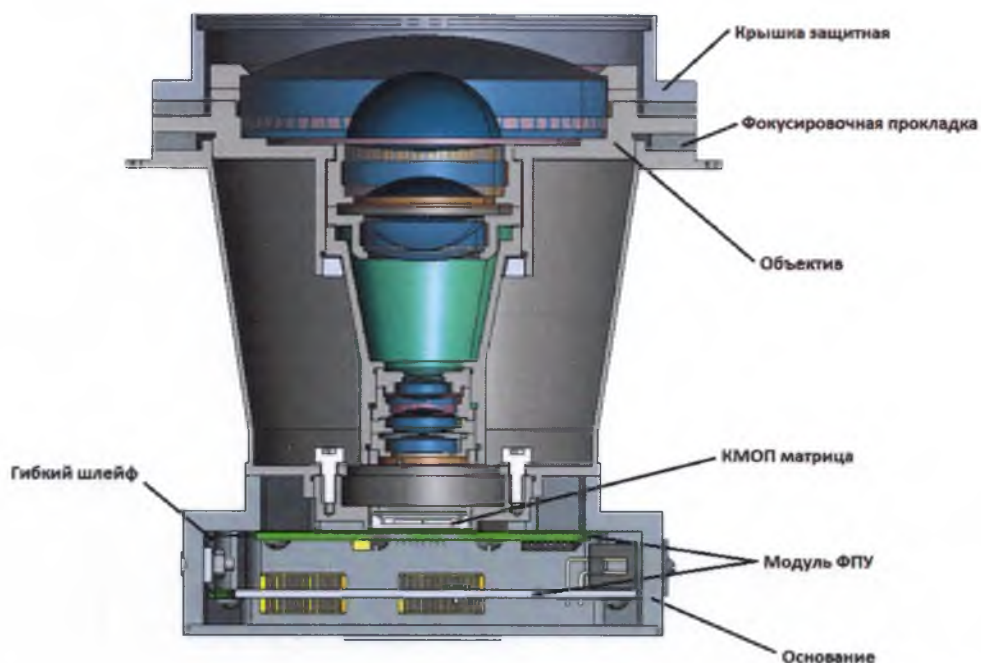


Рисунок 1.5 – Посадочная камера с объективом типа "фишай"

Камера представляет собой моноблок, состоящий из следующих узлов (см. рис. 1.5): оптико-механический модуль, включающий в себя объектив, бленду и механическое основание (корпус); модуль фотоприемного устройства (ФПУ), который представляет собой плату электроники с установленной в специальной детали фоточувствительной КМОП матрицей.

Бленда предназначена для подавления боковой засветки от источников, находящихся вне угла поля зрения объектива 70° и обеспечение крепления теплоизоляционного мата. В случае установки объектива 180° , основной функцией бленды становится обеспечение крепления теплоизоляции.

Камера должна комплектоваться объективом с полем зрения $70 \times 70^\circ$ и/или 180° . Это поле зрения должно соответствовать отображению телевизионного кадра 2048×2048 элементов с линейным размером $11,264 \times 11,264$ мм.

Объектив формирует изображение наблюдаемого объекта в плоскости размещения фоточувствительных элементов КМОП-матрицы. С целью сохранения стабильного положения фоточувствительных элементов относительно оптической оси и плоскости фокусировки объектива, плата с микросхемой КМОП-матрицы жестко устанавливается в корпусе, к которому крепится посадочный фланец объектива.

Конструктивный узел, объединяющий бленду, объектив и плату с матрицей обеспечивает не только необходимое качество оптического изображения, но и его сохранение в условиях меняющихся внешних воздействий в течение срока службы камеры.

КМОП-матрица типа CMV4000 размером 2048×2048 элементов является высоко интегрированным микронэлектронным прибором, предназначенным для регистрации оптического изображения и передачи его в виде цифровых последовательных потоков.

Учитывая высокое пространственное разрешение, обеспечиваемое при съемке крупноформатными КМОП матрицами, вариант построения посадочной камеры, как кадровой камеры, принимается как предпочтительный при дальнейшем проектировании.

Одной из причин, обусловивших выбор метода съемки является высокий технологический уровень современных крупноформатных матриц и, в частности, выбранной модели CMV4000, которая к тому же имеет достаточно высокую стойкость к радиации и воздействию высокоэнергетических частиц.

Раздел 2. Создание современных детекторов, научных приборов и комплексов для проектов ФКП, находящихся в стадии ОКР: «Луна-Ресурс», «Луна-Глоб», «Спектр-РГ», «Спектр-УФ», «Резонанс», программы ExoMars и пр. Сопровождение созданной аппаратуры при проведении летно-космических испытаний

2.1 Разработка метода обнаружения и отождествления внеземной бактериальной биомассы и ее останков по элементному составу пробы и создание прототипа бортового ВП МС, для решения этих задач с борта посадочного или орбитального модулей в атмосфере Марса, Венеры, Европы

Отв. исполнитель д.ф.-м.н., проф., Г.Г. Манагадзе

В 2017 были продолжены работы по усовершенствованию метода обнаружения и отождествления внеземной бактериальной биомассы и ее останков по элементному составу пробы. Были разработаны и прошли лабораторные испытания различные узлы и подложки, предназначенные для ввода пробы в анализатор. Были выполнены калибровки, необходимые для проведения оценок аналитических характеристик нового инструмента с использованием специальной пробы, состоящей из сухой смеси бактериальной культуры и стандарта реголита Марса. Они показали не только высокую чувствительность и массовое разрешение инструмента, но и высокую избирательность, позволяющую «увидеть» бактерии, когда их общая масса в 100-1000 раз меньше массы реголита в пробе (что соответствует $\sim 10^3$ клеток бактерий в 1 г реголита).

Более подробно с результатами разработки можно ознакомиться в публикации:
G.G. Managadze, A.A. Safronova, K.A. Luchnikov, E.A. Vorobyova, N.S. Duxbury, P. Wurz, N.G. Managadze, A.E. Chumikov, and R.Kh. Khamizov, A New Method and Mass-Spectrometric Instrument for Extraterrestrial Microbial Life Detection Using the Elemental Composition Analyses of Martian regolith and Permafrost/Ice, опубликованной в журнале ASTROBIOLOGY (Vol. 17, Number 5, 2017).

Публикация вызвала большой интерес читателей и получила высокую оценку редакции (High-Impact Article). Представлено в приложении 1. В связи с этим редакция журнала на несколько месяцев предоставила открытый доступ читателям (Free Access) к ней.

2.2 Лабораторная отработка и калибровка бортового МС для обнаружения и отождествления внеземных микроорганизмов и их останков

При первых калибровках макетов бортовых приборов для регистрации и отождествления микроорганизмов была выявлена сложность ионизации пробы, так как микроорганизмы были прозрачны для ИК излучения, на котором работал используемый в этой установке лазер.

Для решения этой проблемы были предложены и испытаны подложки мишени различной конструкции, которые в ходе испытаний выявили ряд недостатков.

Решение было найдено в использовании подложки из полированного вольфрама, на которую наносилась тонким слоем водная суспензия микроорганизмов.

В этом случае энергия лазера, прошедшая сквозь слой микроорганизмов, образовала факел на подложке из вольфрама. Такая конфигурация мишени позволяла зарегистрировать

массовый спектр элементов, входящих в состав микроорганизмов, с пиком вольфрама.

Данные решения предполагается использовать при изготовлении грунтоприемного устройства бортового МС.

2.3 Подготовка предложений для участия в конкурсе НАСА по миссии поиска микробной жизни с посадочного модуля на ледовой поверхности Европы

В середине года НАСА объявило конкурс на установку бортовой научной аппаратуры на посадочный модуль, который совершит мягкую посадку на ледовую поверхность Европы.

В связи с наличием запатентованной методики по поиску микробной жизни, а также имеющемуся инструментальным заделом в ИКИ РАН было принято решение об участии нашей лаборатории в данном конкурсе.

Заинтересованность в данной Миссии и согласие на участие в эксперименте также было получено от д-ра В. Бринкергоффа (США, НАСА) и д-ра П. Вурца (Швейцария, Университет Берна). Совместно с иностранными участниками работ были подготовлены предложения для представления в НАСА.

Подтверждением трехстороннего согласия явился устный доклад на 8MS3-IM-21:

K.A. Luchnikov, G.G. Managadze, W.B. Brinckerhoff, P. Wurz, M. Tulej, A.E. Chumikov, V.S. Cheptsov. Method and Laser Ablation Mass-Spectrometer for the Search of Evidence of Life From the Europa Lander. Устный доклад 8MS3-IM-21 (2017 год).

2.4 Разработка и лабораторные испытания бортового МС для обнаружения и регистрации молекулярных ионов

В 2017 году в лаборатории 538 было завершено изготовление макета бортового МС для регистрации молекулярных ионов.

Прибор работал в режиме доускорения молекулярных ионов, которые были образованы в процессе воздействия на мишень лазерного излучения низкой плотности мощности, и которая не превышала 10^7 Вт/см².

Такой режим позволял избегать фрагментации молекулярных ионов, ионизация которых происходила за счет поверхностных процессов во время их десорбции от поверхности мишени.

Использование такого прибора совместно с МС, обеспечивающим элементный анализ пробы, существенно повышает аналитические возможности каждого из этих приборов.

Это важно еще и потому, что конструктивные возможности приборов позволяют их совмещение и после введения в их конструкцию дополнительных узлов можно осуществлять изменения режима дополнительными источниками питания.

Это хорошо видно на представленных масс-спектрах, которые отличаются тем, что в одном из них зарегистрированы массовые пики элементов, а в другом молекулярные ионы исходного вещества (Рис. 1.4.).

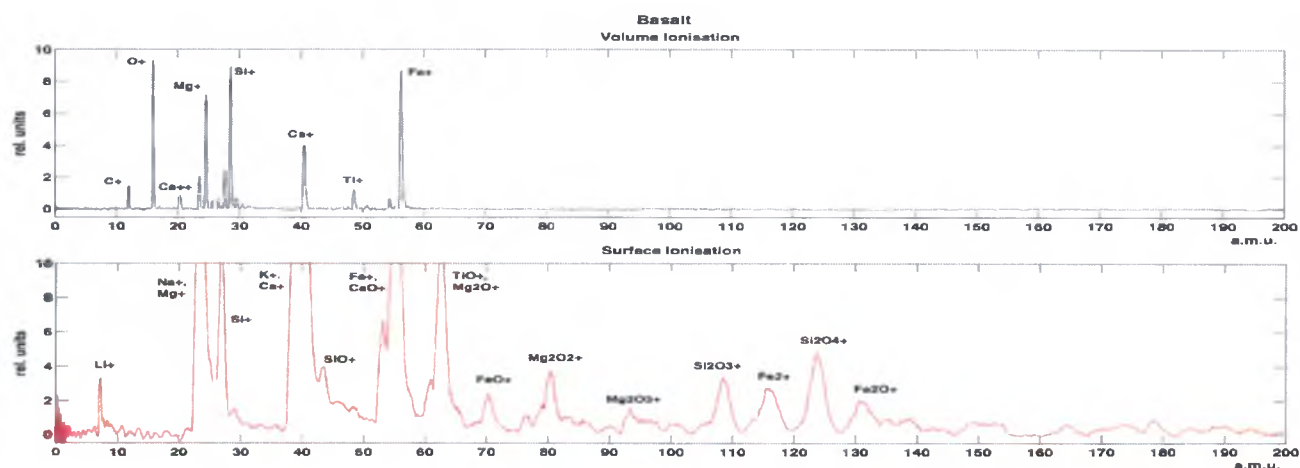


Рисунок 2.1 Элементный и молекулярный масс-спектры базальта.

2.5 Использование МС ЛИМБ для обнаружения, отождествления и изучения бактерий на внешней поверхности МКС

После ознакомления с нашими разработками бортовых МС руководством ИМБП РАН было предложено провести совместный эксперимент с помощью нашего инструмента на борту МКС.

Целью эксперимента на МКС является проведение детектирования микроорганизмов в условиях открытого космоса. Предложенные измерения элементного состава пробы будут осуществляться при помощи бортового ВП МС с лазерной абляцией пробы, набираемой на специальную подложку прибора. Полученные результаты будут сравниваться с данными, полученными после анализа аналогичных проб, набранных на специальные ловушки, расположенные вблизи масс-спектрометра. Это позволит отработать и улучшить масс-спектрометрическую методику поиска микроорганизмов, которая может использоваться для выполнения астробиологических задач в миссиях к Марсу и Европе.

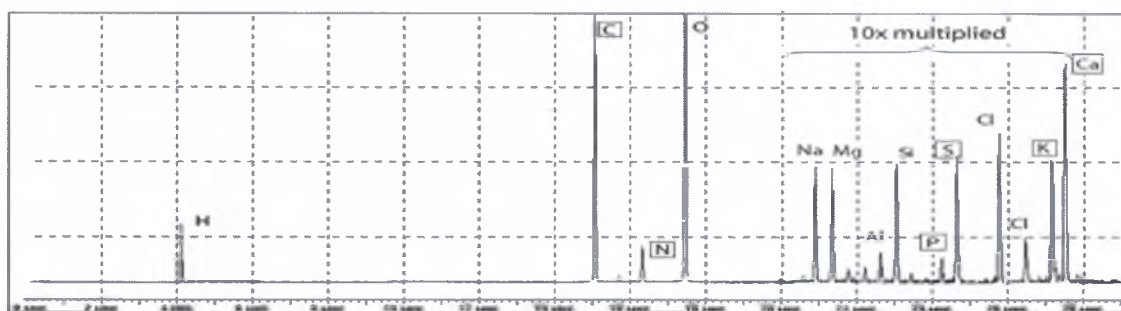


Рисунок 2.2 Пример масс-спектра спор бактерий. Маркерные элементы заключены в квадраты.

Было разработано и утверждено ТЗ на космический эксперимент ЛИМБ, и он был введен в долгосрочную программу экспериментов на МКС на основании решения КНТС Роскосмоса №6 от 5 октября 2017 г. (см. Приложение 2).

В этой связи после получения финансирования нам предстоит разработка бортового прибора с учетом расположения прибора на внешней поверхности МКС. В настоящее время идут подготовительные работы.

2.6 Разработка и изготовление бортового МС «ЛАЗМА-ЛР» для проектов «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс-1»

В 2017 году в рамках ОКР «Луна-Глоб» («Луна-Ресурс-1») было завершено изготовление конструкторско-доводочного образца прибора «ЛАЗМА-ЛР» (Рис. 2.1) и проведены его функциональные испытания. На Рис. 2.2 представлен характерный массовый спектр имитатора лунного грунта JSC-1.

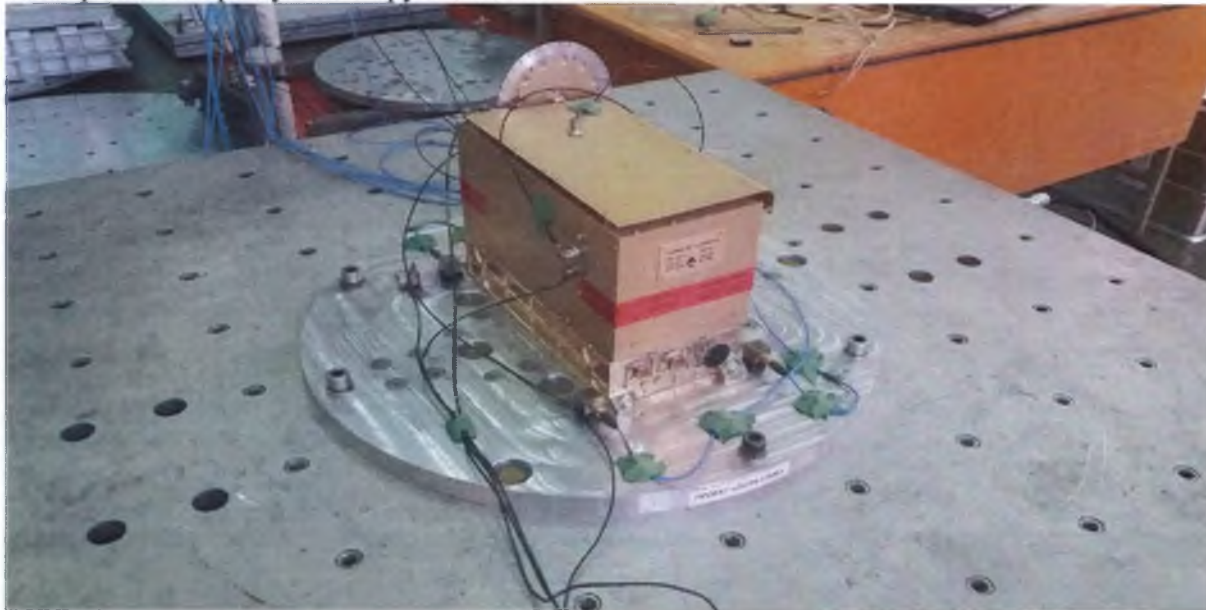


Рис. 2.3 Конструкторско-доводочный образец прибора «ЛАЗМА-ЛР» на вибростенде.

В соответствии с конструкторской документацией были успешно проведены конструкторско-доводочные испытания и начато изготовление летного образца для КА «Луна-Глоб».

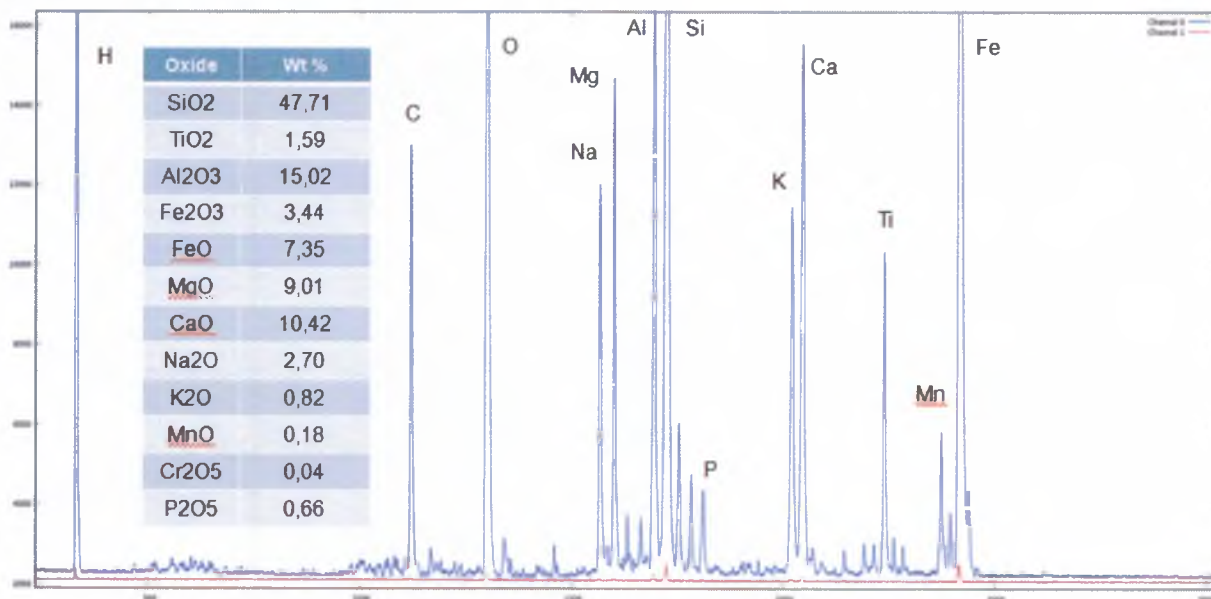


Рис.2.4 Калибровочный спектр, полученный в ходе функциональных испытаний конструкторско-доводочного образца прибора «ЛАЗМА-ЛР».

В ходе физических испытаний прибора была произведена дополнительная отработка методики поиска микроорганизмов по элементному составу образца.

Полученные результаты были отражены в постерном докладе на 8MS3:

A.E. Chumikov, G.G. Managadze, K.A. Luchnikov, V.S. Cheptsov, A.I. Kuznetsov, N.G. Managadze, A.L. Bondarenko. Elemental composition measurement as a powerful approach to searching and characterizing samples containing microorganisms. 8MS3-PS-44 (2017).

2.7 Создание радиофизической аппаратуры для космических аппаратов «Луна-Ресурс», «Луна-Глоб», «Экзо-Марс», «Чибис-АИ»

Отв. исп. д.т.н. Косов А.С.

Для проектов «Экзомарс-2016-НИ» и «Экзомарс-2020» создается Генератор Автономный Радиосигналов, прибор ГАРС. ГАРС это имитатор бортового передатчика космического аппарата TGO, (Экзомарс-2016), предназначенный для формирования информационных телеметрических сигналов, аналогичных передатчику TGO. ГАРС позволяет генерировать все типы сигналов передатчика TGO, имитировать статический и динамический сдвиг частоты, вызванный эффектом Доплера. ГАРС позволяет оперативно подготавливать наземные станции приема информации к сеансам связи с TGO и является инструментом решения проблем наземной приемной станции в случае нештатной ситуации.

ГАРС имеет в своем составе высокостабильный рубидиевый стандарт частоты. Это позволяет использовать ГАРС для подготовки космического эксперимента LaRa (Lander Radioscience) проекта «Экзомарс-2020» в части проверки наземного сегмента.

В настоящее время создан штатный образец (ШО) прибора ГАРС, который прошел сертификационные испытания в European Space Operations Center (ESOC).

ГАРС представляет собой портативный прибор, питающийся от источника постоянного напряжения 12 В. Сигналы ГАРС могут передаваться как по кабелю, так и по эфиру, для чего прибор оснащен портативной малонаправленной антенной. Внешний вид комплекта ГАРС показан на рисунке 1.



Рисунок 1. Внешний вид комплекта прибора ГАРС.

Основные параметры ГАРС следующие:

- частота несущей, МГц - 8410,655577;
- стабильность частоты (вариация Алана) $<2 \cdot 10^{-12}$ за 100 сек;
- выходная мощность может устанавливаться от 0 до -110 дБм с шагом 10 дБ;
- сдвиг частоты Доплера может устанавливаться в диапазоне ± 70 ppm с шагом 1 ppm;
- объем внутренней Flash памяти – 64 ГБ;
- питание от источника постоянного тока 12 В; потребление после прогрева не более 40 Вт;
- прибор предназначен для наружного использования в диапазоне температур от минус 40 до плюс 50 градусов С;
- параметры генерируемых ГАРС сигналов приведены в таблице 1:

Таблица 1. Параметры информационных сигналов ГАРС.

Выходная частота кодера , fs [ksps]			fb [kbps], coding		
fs	Fsc (kHz)	N	Turbo (1/6)	Turbo (1/4)	Turbo (1/2)
5000.000	GMSK				
2500.000	GMSK		414.99	622.49	
2000.000	GMSK				995.98
138.462	GMSK			34.48	
94.737	GMSK				47.18
52.632	263.1579	5			26.2100
6.57895	263.1579	40		1.6381	
1.02375	8.1900	8			0.5098
0.12409	8.1900	66	0.0206		
0.04266	8.1900	192		0.0106	

fb = информационная скорость [kbps]

fs = символьная скорость [ksps]

Fsc = частота поднесущей [kHz]

N = отношение (частота поднесущей)/(символьная скорость)

Прибор ГАРС является базовой разработкой для создания современных бортовых передатчиков телеметрической информации в X диапазоне длин волн.

2.8 Разработка спутникового видеоспектрометра УФ-видимого диапазона для мониторинга озона и других газов в атмосфере Земли

Отв. исполнитель Доброленский Ю.С.

В 2017 году проведён расчёт оптической схемы видеоспектрометра. Прибор состоит из двух каналов для работы в ультрафиолетовом (0,3–0,4 мкм) и видимом (0,4–0,8 мкм) диапазонах спектра. Оптическая схема каждого канала содержит плоскую дифракционную решётку и зеркально-линзовый входной объектив. Схема обеспечивает сверхширокое поле зрения (100 град) и спектральное разрешение 0,3 нм в УФ-канале и 0,5 нм в ВИЗ-канале, что отвечает научным задачам прибора.

2.9 Перспективные системы теплозащиты спускаемых аппаратов для исследований Венеры

Отв. исполнитель Ксанфомалити Л.В.

Спускаемые аппараты ВЕНЕРА-9 – ВЕНЕРА-14 советской серии «ВЕНЕРА», созданные в НПО им. Лавочкина, уже более 40 лет остаются непревзойденными советскими достижениями в космических исследованиях Солнечной системы. За прошедшие почти полвека эксперименты по исследованию поверхности планеты, выполненные аппаратами ВЕНЕРА-9 – ВЕНЕРА-14, не были повторены ни одним космическим агентством мира, главным образом, из-за весьма значительных технических трудностей. Венера обладает бескислородной углекислотной атмосферой, с давлением 9.2 МПа и температурой 735 К у поверхности. Спускаемый аппарат должен противостоять этим условиям в течение длительного времени. Какими техническими решениями можно было бы обеспечить более продолжительную работу нового аппарата для исследования поверхности Венеры, если строить его тепловую схему подобно аппаратам ВЕНЕРА-9 – ВЕНЕРА-14, с гермоотсеком, сохраняющим физические условия, необходимые для работы обычных приборов или для новых, высокотемпературных устройств? В 2017 году опубликована статья, в которой рассматриваются и обсуждаются варианты технического обеспечения долговременной теплозащиты внутренней части герметичного спускаемого аппарата, в частности, поглощение проникающего тепла в процессе испарения воды.

Раздел 3. Разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой

3.1 Разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой

Отв. исполнитель К.В. Ануфрейчик

В 2017 году продолжились разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой в рамках ОКР «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс-1» (ОА), «Луна-Ресурс-1», «Марс-Сервейер-СП», «Экзомарс».

Проект «Луна-Глоб»

Проведены отработки технологического образца блока управления научной информацией (ТО БУНИ) на комплексных испытаниях всей научной аппаратуры. Результаты испытания положительные и подтвердили правильность выбранных схмотехнических и программных решений, ТО БУНИ допущен до последующих испытаний в составе космического аппарата (КА).

Проект «Луна-Ресурс-1» (ОА)

В рамках ОКР изготовлен и прошел автономные испытания технологический образец системы сбора и регистрации информации (ТО ССРНИ-2). С учетом больших объемов информации (в сутки до 100 Гбайт), в первую очередь за счёт высокодетальной стереосъемки, в данной системе разработан кластер, обеспечивающий высоконадежное хранение до 256 Гбайт данных. ТО ССРНИ-2 является первым образцом, в котором реализован и успешно испытан полноразмерный кластер.

Проект «Луна-Ресурс-1»

Проект посвящен второму посадочному лунному аппарату (первый – Луна-Глоб). В рамках проекта завершено дополнение к эскизному проекту прибора БУНИ-ЛР. В отличие от БУНИ для Луны-Глоб, БУНИ-ЛР позволяет не только коммутировать электропитание, но и измерять, записывать в логи и анализировать потребляемые токи. Что в свою очередь позволяет не допустить катастрофического распространения сбоев и отказов, связанных с работой какого-либо прибора. Усовершенствовано и управление приборами – поддерживается

выполнение нескольких циклограмм параллельно. Кроме качественных изменений, БУНИ-ЛР отличается и в количественном плане – в Луне-Ресурс-1 в два раза больше приборов, чем в Луне-Глоб, что приводит к кратному увеличению интерфейсов электропитания и телеметрии.

Проект «Марс-Сервейер-СП» («Экзомарс-2016»)

В феврале-марте этого года прошли включения и работа спектрометрического комплекса (прибор АЦС) на КА проекта Экзомарс-2016, находящимся на орбите Марса. В рамках тематики особенно интересным было поведение модулей долговременной памяти блока электроники АЦС. Тестирование показало, что в памяти каждого полукомплекта блока электроники за год полета деградировало соответственно 10 и 11 из 131072 страниц памяти. Данное количество значительно меньше заложенного запаса и позволяет рассчитывать на успешное выполнение миссии. Тестирование и работа по остальным интерфейсам обоих полукомплектов блока электроники показало полное отсутствие сбоев как в интерфейсах с космическим аппаратом, так и со спектрометрами, входящими в состав комплекса. Суммарный объем переданной научной информации исчисляется гигабайтами.

Проект «Экзомарс-2020»

В рамках прибора БИП (проект «Экзомарс-2020») продолжена разработка документации, изготовлена контрольно-испытательная аппаратура, узлы и детали технологического образца, а также функциональной модели БИП. Прибор успешно прошел процедуру critical design review (CDR) как десантного модуля, так и всего космического аппарата.

Раздел 4. Работы по обновлению научно-производственного центра в ИКИ РАН для создания перспективной космической аппаратуры

4.1 Оснащение нормативно-технической документацией

Отв. исп. Аверьянова И.Г.

В течение 2017 года было продолжено оснащение разработчиков нормативно-технической и прочей документацией. В Институте были введены в действие:

- Стандарты (государственные, государственные военные, межгосударственные, национальные) - 21;
- Технические условия - 48;
- Учебно-практические пособия - 1;
- Изменения, дополнения к ОСТ, ТУ, ГОСТ, РД, ТО - 59;
- Национальные стандарты. Указатель 2017 (по состоянию на 1 января 2017 г.) - 1;
- Национальные стандарты. Информационный указатель - 10;
- Отмененные и замененные национальные стандарты. Указатель (по состоянию на 1 декабря 2016 г.) - 1;
- Нормативные документы национальной и межгосударственной систем стандартизации. Аннотированный перечень 2017 - 1;
- Сводный перечень документов по стандартизации оборонной продукции. Издание 3. Том 1 - 1;
- Изменения указателя государственных военных стандартов - 3;
- Государственный реестр средств измерений. Указатель 2016 - 1;
- Перечень ЭКБ-К. Редакция 2017 - 1;

- Перечень ЭКБ 01-22-2016 – 48 книг;
- Изменения к Перечню ЭКБ 01-22-2016 - 4;
- прочее (Положения, приказы, информационные справочники, дополнения, инструментари) - 23.

Раздел 5. Выпуск технической документации

Отв. исп. Аверьянова И.Г.

В течение 2017 года в ИКИ РАН были продолжены работы по созданию бортовой научной аппаратуры и наземной базы для ее испытаний. За январь - октябрь 2017 года по проектам, экспериментам, темам разработчиками Института было выпущено технической документации:

3860 документов рабочей конструкторской, программной и технологической документации (по проектам Луна-Глоб, Луна-Ресурс-1 (ПА), Луна-Ресурс-1 (ОА), МВН, СПЕКТР-РГ, ЭкзоМарс-2016, ЭкзоМарс-2020):

- формата А4 - 10412 л.;
- формата А3 - 902 л.;
- формата А2 - 221 л.;
- формата А1 - 137 л.;
- формата А0 - 3 л.;

236 документов проектной конструкторской и технической документации (по проектам Дриада, Грозовой комплекс, Конвергенция, Луна-Глоб, Луна-Ресурс-1 (ПА), Луна-Ресурс-1 (ОА), Плазма-ЭРП, СПЕКТР-РГ, СПЕКТР-УФ, ЭкзоМарс-2016, ЭкзоМарс-2020):

- формата А4 - 5043 л.;
- формата А3 - 30 л.;
- формата А2 - 2 л.;
- формата А1 - 1л.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2017 г. по теме ВЕКТОР (Разработка перспективных бортовых систем и приборов, программно-аппаратных средств, создание КА малой размерности для проведения космических исследований, реализации прикладных и образовательных программ).

Наиболее важные результаты:

Проведены исследование и разработка режимов и алгоритмов функционирования системы автономной оптической навигации космического аппарата (КА) при посадке на Луну.

Осуществлены включения и работа спектрометрического комплекса (прибор АЦС) на КА проекта Экзомарс-2016, находящимся на орбите Марса.

Создан малогабаритный имитатор бортового передатчика космического аппарата TGO, (Экзомарс-2016), предназначенный для формирования информационных телеметрических сигналов, аналогичных передатчику TGO, для настройки приемных спутниковых антенн.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Публикации по теме ВЕКТОР

Всего научных публикаций в 2017 г. - 13, в т.ч. статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 8, статьи в зарубежных изданиях - 5.

- 1 Alexander Gusev, Alexander Kosov et al, SPIN-ORBITAL EVOLUTION AND INTERIOR OF THE MOON: PAST, MODERN, FUTURE, The Eighth Moscow Solar System Symposium (8MS3), Moscow 2017
- 2 Alexander Kosov et. al. RADIOSCIENCE EXPERIMENTS FOR MARTIAN AND LUNAR MISSIONS, The Eighth Moscow Solar System Symposium (8MS3), Moscow 2017
- 3 Ping J., Gusev A., Kosov A., Vasilev M., RESEARCH OF TECHNOLOGY AND EXPERIMENT FOR LUNAR AND MARTIAN RADIO EXPLORATION USING PHASE RADIO RANGING AND VLBI/VLBI 2010/VGOS, the 3rd Beijing International Forum on Lunar and Deep-space Exploration (LDSE 2017)
- 4 Скулачев Д.П., Косов А.С., Корогод В.В. Компактный СВЧ радиометр с автономным питанием // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2017. № 7(40). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/5030>
- 5 G.G. Managadze, A.A. Safronova, K.A. Luchnikov, E.A. Vorobyova, N.S. Duxbury, P. Wurz, N.G. Managadze, A.E. Chumikov, and R.Kh. Khamizov, A New Method and Mass-Spectrometric Instrument for Extraterrestrial Microbial Life Detection Using the Elemental Composition Analyses of Martian regolith and Permafrost/Ice // ASTROBIOLOGY (Vol.17, Number 5, 2017).

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах

1. Беличенко М.Л., Бессонов Р.В. Завгородний Д.С., Эльяшев Я.Д., Прохорова С.А. Классификация и анализ погрешности измерения координат объектов на кадрах звездного неба // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017. Т. 14. № 3. С. 67-77.
2. Бессонов Р.В., Брысин Н.Н., Полянский И.В., Воронков С.В., Белинская Е.В., Строилов Н.А., Полищук Г.С., Трегуб В.П., Завгородний Д.С. Стенды для определения фотограмметрических параметров высокоточных звездных датчиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017, Т. 14. № 3. С. 107-117.
3. Гришин В.А. Установление соответствия между векторными эталонами и полутоновыми изображениями // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 1. С. 40–49.
4. Б.С. Жуков, И.В. Полянский, С.Б. Жуков. Автономная оптическая навигация на окололунных орбитах и при посадке на Луну с помощью сверхширокоугольной камеры // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017 Т. 14. № 2. С. 24-35.
5. Сметанин П.С., Аванесов Г.А., Бессонов Р. В., Куркина А.Н., Никитин А.В. Геометрическая калибровка звездного датчика высокой точности по звездному небу // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017. Т. 14. № 2. С. 9-23.
6. Строилов Н.А, Никитин А.В., Куркина А.Н., Бессонов Р.В., Белинская Е.В., Воронков С.В. Методики наземной взаимной привязки систем координат звёздных датчиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017. Т. 14. № 4. С. 52-63.
7. Эльяшев Я.Д., Брысин Н.Н., Бессонов Р.В., Прохорова С.А., Сметанин П.С., Форш А.А. Возможности применения APS сенсоров в астровизирующих устройствах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017, представлена к печати.

8. А.П. Экономов, Л.В. Ксанфомалити. Перспективные системы теплозащиты спускаемых аппаратов для исследований Венеры // Вестник НПО им. С.А.Лавочкина, №2, 2017, с. 163-169.

Статьи в сборниках материалов конференций

1. Гришин В.А., Кондратьева Т.В. Точность и надежность оптической навигации, формирование тестовой базы изображений береговых линий // Сборник трудов Пятой всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Изд-во ИКИ РАН, 2017. Стр. 197-204.

Доклады на конференциях.

1. Гришин В. А. Локализации границ в задачах навигации по береговым линиям // Тезисы научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления-2017». Москва, 14-16 марта 2017 г. Стр. 75-76.
<http://tvcs2017.technicalvision.ru/file/Tezis-2017.pdf>

Научно-технические отчеты

1. Камера обзора система посадки, пояснительная записка, 2017, ИКИ РАН, инв. № 565.