

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
член-корр. РАН


_____ А.А. Петрукович
« _____ » _____ 2018 г.

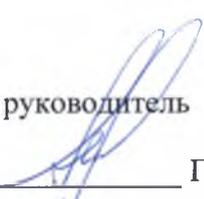
ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

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

Тема ВЕКТОР

0028-2014-0004

Научный руководитель

д.т.н.  Г.А. Аванесов
« 11 » 1/2 _____ 2018 г.

Москва

2018

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.

начальник лаборатории 715

Коновалов А.А.

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

Манагадзе Г.Г.

заведующий лабораторией 645, д.т.н.

Косов А.С.

РЕФЕРАТ

Отчет 27 с., 14 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	18
Раздел 3. Разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой	23
Раздел 4. Разработка малогабаритных космических аппаратов для научных исследований...24	24
Раздел 5. Работы по обновлению научно-производственного центра в ИКИ РАН для создания перспективной космической аппаратуры	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	26
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	27

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.

Федеральное государственно бюджетное учреждение науки 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	129

	Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.	
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 0028-2014-0004 ВЕКТОР.

Тема 0028-2014-0004 ВЕКТОР является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2018 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 физических полей и ориентиров

1.1.1. Автономная оптическая навигация космических аппаратов при посадке на Луну

Автономная оптическая навигация при посадке космического аппарата (КА) на поверхность небесных тел позволит повысить точность вывода КА в исследуемый район, выбрать безопасное место посадки и привести к нему КА. Проведено моделирование оптических навигационных измерений на типичной траектории подлета к району посадки на Луну, на которой в процессе основного торможения КА летит вдоль поверхности Луны, снижаясь с 18 до 2 км, а также на этапе вертикального спуска, на котором КА снижается с высоты 2 км до касания с поверхностью.

На траектории подлета при определении контрольных точек по существующей в настоящее время топографической модели Луны LOLA-256P с разрешением 118 м использование абсолютной навигации возможно до высот ~6,5 км. При этом среднеквадратическая ошибка измерений горизонтальных координат КА составляет около 20 м, а высоты - 35 м (рис.1.1.1.1). При переходе на относительную навигацию на более низких высотах траекторные ошибки возрастают до 200-300 м. Задачей миссии «Луна-26» является построение топографических моделей участков подлета к районам посадки будущих лунных миссий с разрешением ~10 м. Моделирование показало, что при определении контрольных точек по таким моделям абсолютная навигация будет применима на всей траектории подлета, а среднеквадратические ошибки траекторных измерений горизонтальных координат уменьшатся до 8-9 м, а высоты – до 13 м. Отмечена перспективность комплексирования оптических и инерциальных измерений на траектории подлета.

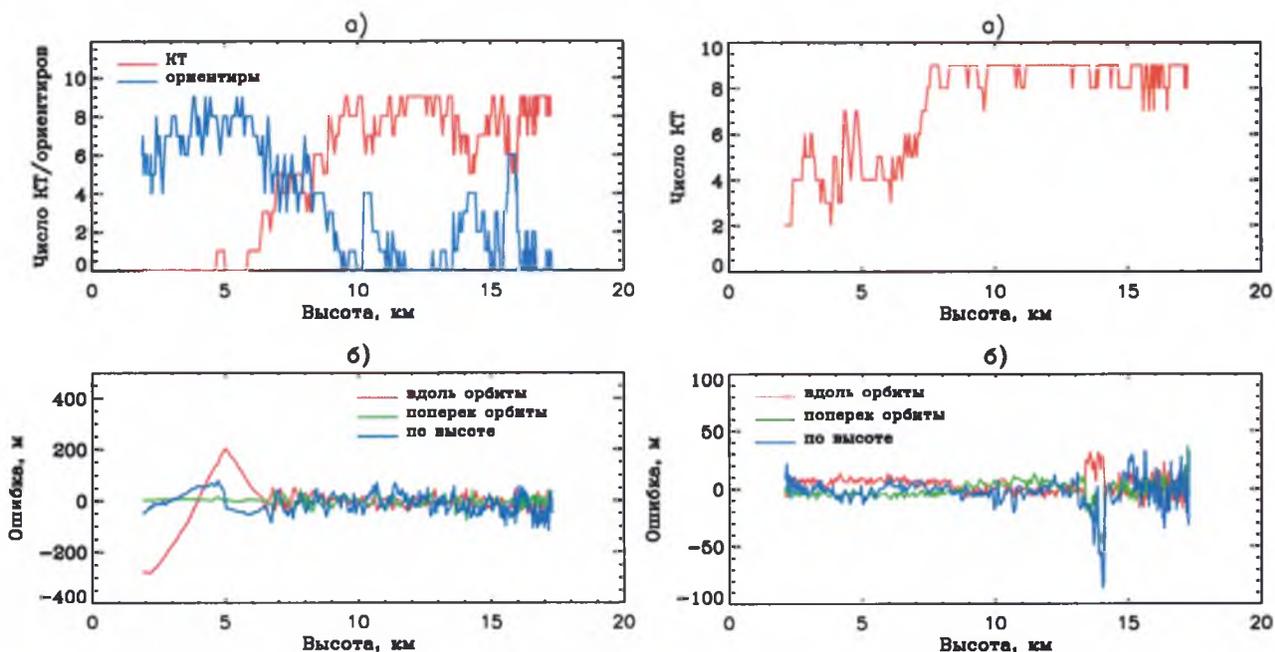


Рисунок 1.1.1.1. Результаты моделирования оптической навигации на этапе подлета при использовании существующих (слева) и перспективных (справа) топографических моделей Луны: а – число распознанных контрольных точек и относительных ориентиров; б – ошибки определения положения КА вдоль орбиты, поперек орбиты и по высоте

На этапе вертикального спуска оптическая навигация позволит построить карту риска, выбрать по ней безопасное место посадки, а также контролировать горизонтальную скорость КА в процессе снижения (рис.1.1.1.2). Для построения карты риска предлагается использовать фотометрический метод, основанный на анализе яркостной неоднородности изображения, которая связана со сложностью рельефа поверхности. Достоинствами метода являются простота, быстрота обработки изображений, возможность идентифицировать затененные участки и отсутствие существенных требований к стабилизации ориентации и скорости КА. Фотометрический метод может резервировать и дополнять карту риска, получаемую методом лазерного сканирования. Горизонтальная скорость КА может быть оценена по смещению ориентиров на последовательных изображениях с использованием независимых измерений высоты, выполняемых радиовысотомером. При моделировании ошибки измерения компонент горизонтальной скорости уменьшались от ~ 1 м/с на высотах более 1000 м до ~ 10 см/с на высоте 100 м и до ~ 1 см/с на высотах ниже 20 м (рис.1.1.1.3). Данный метод может дополнять доплеровские измерения горизонтальной скорости на малых высотах.

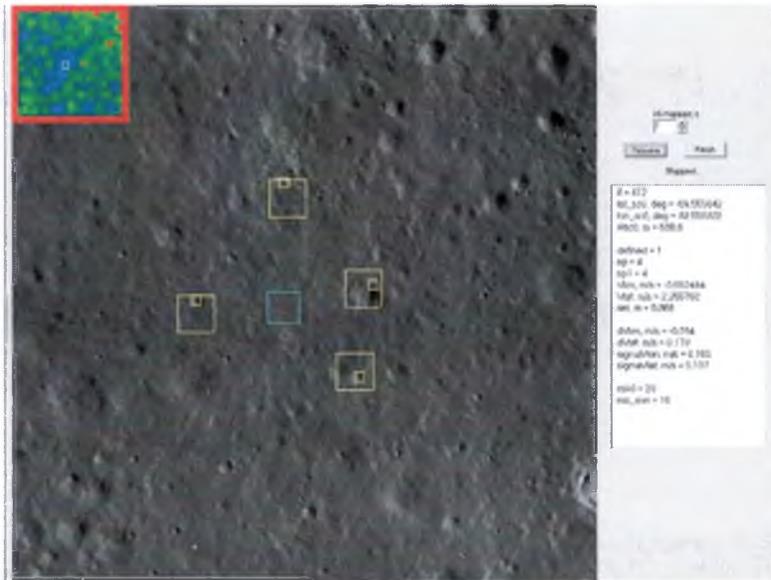


Рисунок 1.1.1.2. Окно программы моделирования оптической навигации на этапе вертикального спуска; оптимальное место посадки обозначено белым квадратом; цветокодированная карта риска показана в верхнем левом углу, где риск увеличивается при изменении цвета от синего в красному; ориентиры для оценки горизонтальной скорости обозначены вложенными желтыми квадратами

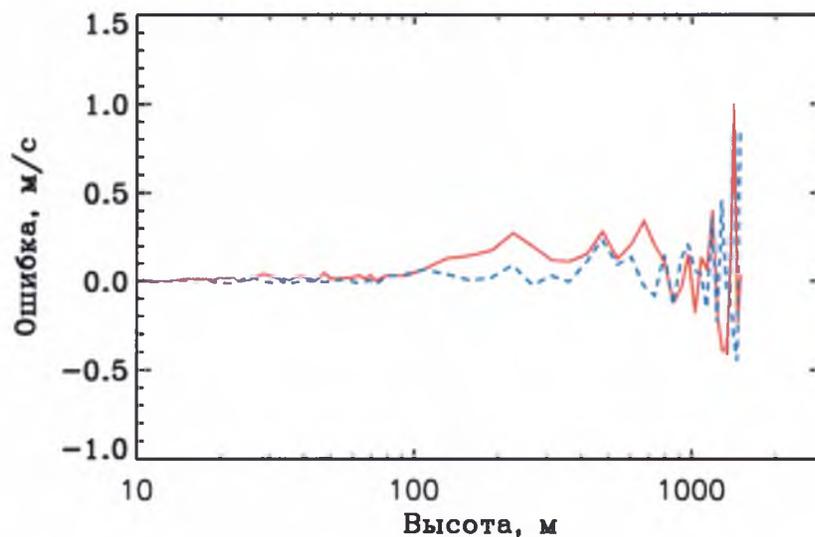
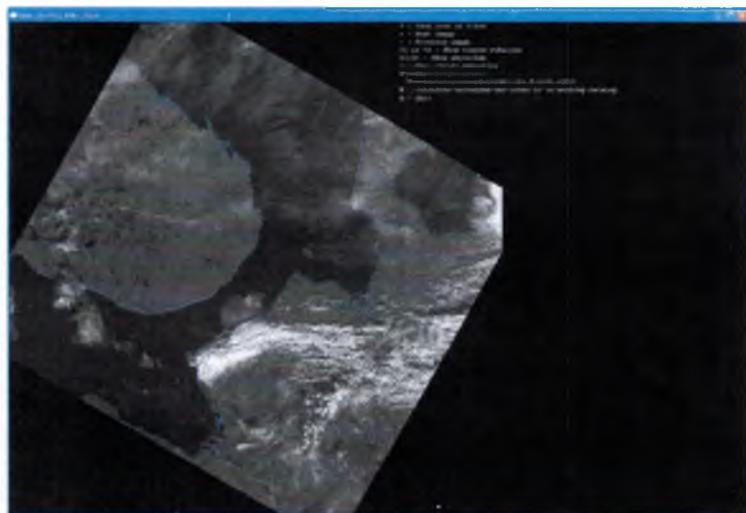


Рисунок 1.1.1.3. Ошибки оптических измерений компонент горизонтальной скорости КА в зависимости от высоты на этапе вертикального спуска: красная линия – ошибка вдоль меридиана, синяя линия – ошибка вдоль параллели

1.1.2. Автономная оптическая навигации космических аппаратов на околоземных орбитах по форме наблюдаемой береговой линии морей и океанов

По результатам работ, проведенных в 2017 году, была разработана программа расчета точности навигации по изображению наблюдаемой береговой линии. Программа адаптирована для расчетов в реальном времени на борту КА. 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 меняются от кадра к кадру. Пример расчета приведен на рис. 1.1.2.1.



$$\text{Var}(\theta) \geq \Gamma^{-1}(\theta) = \begin{pmatrix} 328.6 & 27.9 & -800.1 \\ 27.9 & 281.8 & -279.1 \\ -800.1 & -279.1 & 9707.4 \end{pmatrix}$$

СКО ошибок в метрах по

$$\text{Широте } \sigma_{\lambda} = 18.13 \text{ m}$$

$$\text{Долготе } \sigma_{\mu} = 16.78 \text{ m}$$

$$\text{Высоте } \sigma_h = 98.52 \text{ m}$$

Рисунок 1.1.2.1. Обработанный кадр изображения и матрица ошибок измерений координат КА по данному кадру.

1.1.3. Автономная оптическая навигация при стыковке космических аппаратов

Для решения задач информационного обеспечения процесса стыковки космических аппаратов длительное время использовались радиотехнические системы (в частности – системы «Игла», «Курс»). Такие системы имеют довольно большие габариты, вес, а также потребляемую мощность. Кроме того, в случае сложной пространственной конфигурации объекта, с которым происходит стыковка, возникают заметные отражения сигнала от элементов конструкции, которые могут приводить к сбоям в процессе измерений. В связи с указанными недостатками развиваются системы информационной поддержки процесса стыковки, работающие в оптическом диапазоне. В рамках данного направления рассматривалась стыковка с кооперирующим объектом, т.е. рассмотрен случай, когда на корпусе объекта установлена пассивная (состоящая из ретрорефлекторов) или активная (излучающая) мишень известной конфигурации и размера. Рассматривалась телевизионная измерительная система (видеометр). Выполнены следующие работы:

1. Произведен анализ условий наблюдения мишеней при стыковке, рассмотрены варианты с активной и пассивной мишенью, различными схемами построения устройства, подсвечивающего мишень, подготовлена методика фотометрического расчета.

2. Разработаны и исследованы алгоритмы оптических измерений при решении задач стыковки с использованием видеометра. Доработан метод оценки потенциальной точности измерений.

3. Разработан комплект программного обеспечения, осуществляющий фотометрический расчет яркости изображений элементов мишени и поверхности космической станции. Разработанное программное обеспечение реализует процессы поиска, обнаружения, распознавания, измерения параметров взаимного положения стыкующегося КА и космической станции, а также оценку точности измерений.

Пример изображения мишеней, формируемого в процессе расчетов и моделирования, представлен на рис.1.1.3.1. Графики ошибок измерения дальности в зависимости от расстояния представлены на рис. 1.1.3.2.



Рисунок 1.1.3.1. Изображения мишеней КА, с которыми производится стыковка. Первая камера (верхний ряд по горизонтали) и вторая камера (нижний ряд по горизонтали) различаются фокусным расстоянием и устройствами подсвета. Изображения различаются масштабом (левая колонка – масштаб 1:1, средняя колонка – 1:3, правая – 1:9).

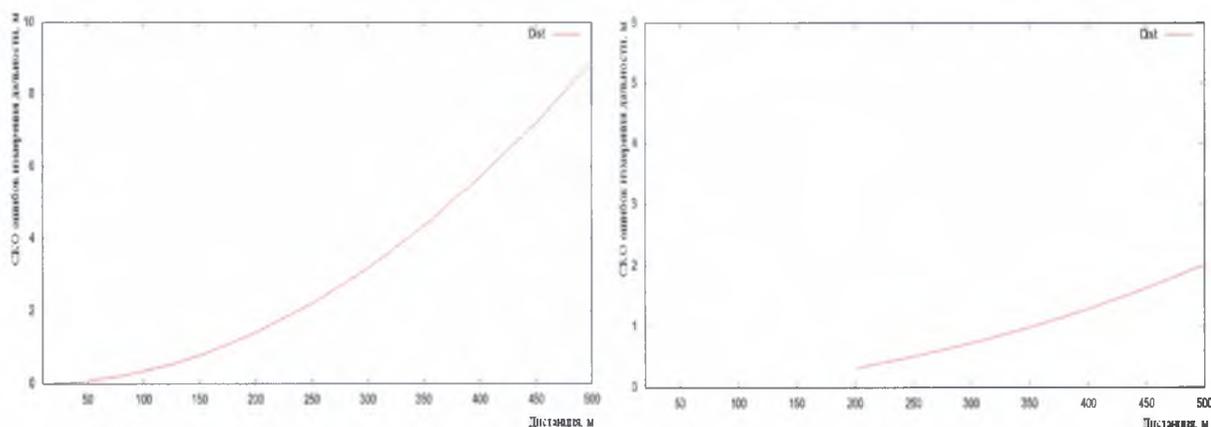


Рисунок 1.1.3.2. Ошибки измерения дальности: слева – для камеры с углом зрения 50° , справа – для камеры с углом зрения 12° .

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 2018 году: Разработка телевизионных средств наблюдения для посадочных платформ исследовательских космических аппаратов.

В ходе реализации исследовательских миссий, связанных с облетом и последующей посадкой космических аппаратов на поверхность других планет и небесных тел важнейшим

вопросом является обеспечение дистанционных телевизионных съемок поверхности объекта исследования как во время орбитального движения, так и после посадки.

К основным задачам научного и прикладного характера, которые могут решаться посредством телевизионных средств на посадочных платформах можно отнести:

- регистрация цветных, радиометрически скорректированных изображений поверхности в видимой области оптического диапазона электромагнитных волн;
- дистанционная съемка на участках орбитального движения, торможения и посадки космического аппарата;
- выбор и уточнение места посадки на основе анализа дистанционных изображений;
- построение трехмерных моделей поверхности на основе стереоскопической дистанционной съемки;
- анализ отражательных, цветовых и морфологических характеристик места посадки;
- измерение спектральных яркостей (цветности) окружающих объектов на трех длинах волн: 0,45, 0,55 и 0,65 мкм;
- формирование круговой панорамы поверхности небесного тела вокруг места посадки;
- в случае исследования Марса – проведение видеосъемки приповерхностных и атмосферных процессов, в том числе исследование пылевой экзосферы;
- визуальный контроль работы механических средств исследования и забора грунта, таких как манипуляторы, штанги, бурильные установки и др.;
- съемка элементов конструкции космического аппарата для контроля его состояния;

Задача обеспечения полного кругового обзора поверхности с достаточным для построения панорамы перекрытием изображений, с захватом элементов конструкции посадочной платформы и участка неба $10\text{--}30^\circ$ над горизонтом может быть решена путем установки четырех стационарных обзорных камеры с углом поля зрения $100\text{--}120^\circ$ 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 геометрической калибровки камер.

Подобная установка также обеспечит получение обзорных изображений поверхности и окружающей обстановки во время и после посадки, а также возможность формирования круговой замкнутой панорамы. В качестве примера рассмотрен вариант размещения телевизионных камер на посадочной платформе КА «Экзомарс-2020» (см. рис. 1.2.1).

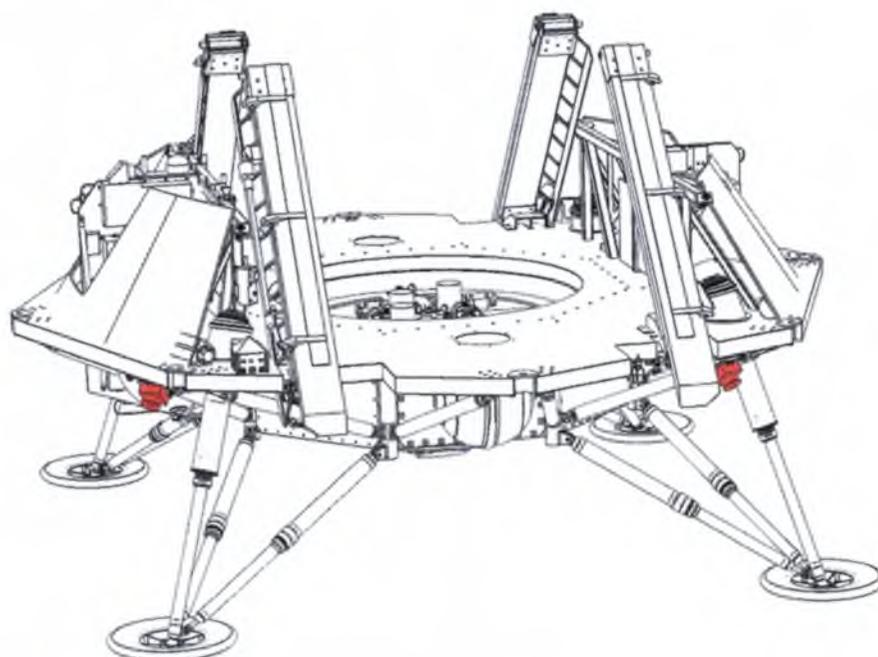
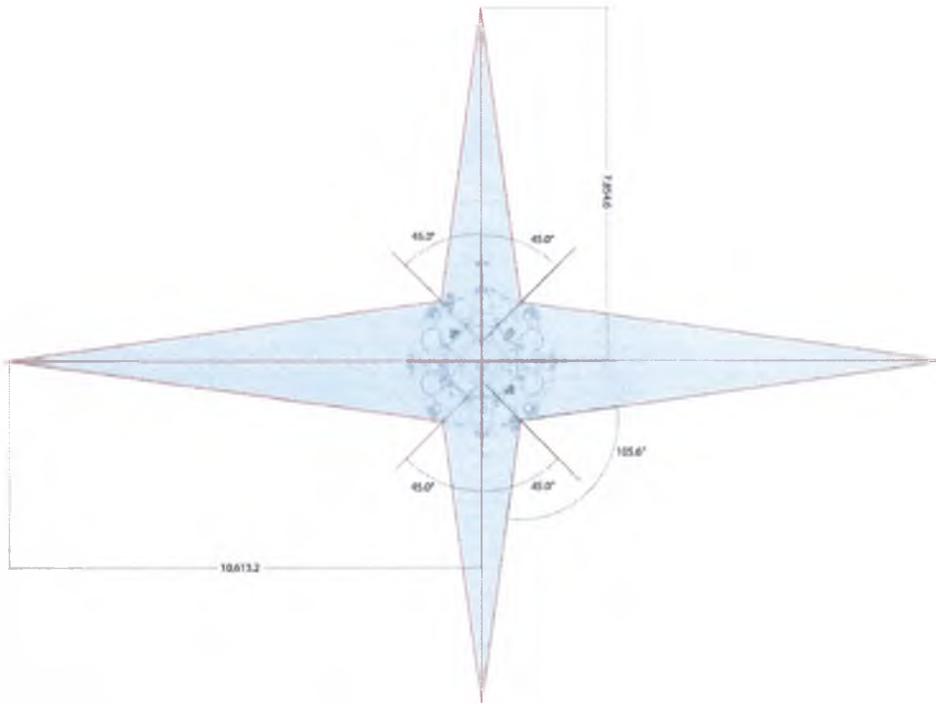


Рисунок 1.2.1. – Общий вид посадочной платформы КА «Экзомарс-2020».

Телевизионные камеры обозначены красным цветом. Для наглядности на рисунке не показаны солнечные панели, трапы и ровер.

Камеры 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 на верхней панели расположены элементы раскрывающихся солнечных панелей и трапов для схода ровера.

В азимутальной плоскости оптические оси камер разнесены на 90° , что позволяют обеспечить полный обзор линии горизонта за счет перекрывающихся полей зрения камер. Расстояния, на которых сходятся поля зрения, составляют ~ 8 метров по оси OY и ~ 11 метров по оси OZ КА. На рис. 1.2.2 показаны площади перекрытия полей зрения и мертвые зоны.



*Рисунок 1.2.2 – Перекрывание полей зрения камер в азимутальной плоскости по осям OY и OZ
КА. Голубым цветом закрашены мертвые зоны*

В вертикальной плоскости оптические оси камер наклонены на 32° относительно плоскости горизонта, что позволяет вести съемку 36-ти градусной панорамы всей видимой поверхности в процессе снижения и посадки. На рис. 1.2.3 показаны модельные изображения полей зрения камер и их перекрывания в вертикальных плоскостях.

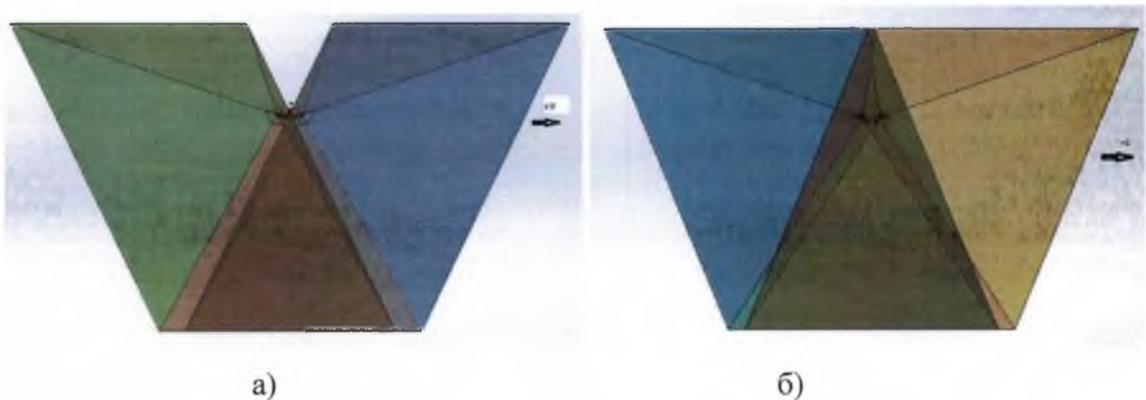


Рисунок 1.2.3 – Моделирование вертикального пересечения полей зрения камер в плоскостях XOY (а) и XOZ (б).

Испытания прототипов

В рамках испытаний телевизионных систем, разрабатываемых для посадочных аппаратов были получены кадры с четырех широкоугольных камер, установленных на специализированную оснастку (рис. 1.2.4). Оснастка позволяет установить произвольный угол наклона для каждой из четырех камер. В ходе эксперимента угол наклона камер составлял 35 градусов от вертикальной оси.



Рисунок 1.2.4 – Фотография оснастки для проведения съемки панорамы

При помощи контрольно-испытательной аппаратуры были заданы следующие параметры съемки:

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

После проведения съемки, кадры были переданы на контрольно-испытательную аппаратуру при помощи имитатора радиоканала с обоих полукомплектов. Проведена успешная проверка идентичности полученных данных.

В ходе разработки телевизионных средств был предложен и реализован режим многократной экспозиции в одном кадре при управлении работой фоточувствительного элемента, который позволяет обеспечить формирование изображений с динамическим диапазоном регистрируемых яркостей до 120 дБ. В иностранной литературе подобные режимы принято обозначать аббревиатурой HDR – high dynamic range.

Полученные кадры были обработаны при помощи ПО HDRConstructor и PTGui, в результате чего была получена круговая панорама комнаты (рис. 1.2.5). Результирующее изображение имеет формат 6220*6408 пикселей. Исходное изображение имеет динамический диапазон порядка 10^5 .



Рисунок 1.2.5 – Панорама, собранная из четырех кадров

Площадь перекрытия кадров и размер «мертвой» зоны под аппаратом должны быть измерены на заводе-изготовителе КА во время испытаний на макете посадочного аппарата. В текущем эксперименте такие измерения не проводились, т.к. расположение камер не соответствует штатному.

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

Цикл наземных испытаний телевизионных средств и специализированного программного обеспечения приема, сохранения и обработки видеоинформации подтвердил правильность выбранных научных подходов и инженерно-технических решений, призванных обеспечить телевизионные наблюдения в ходе планетных исследовательской миссий, связанных с посадкой космических аппаратов – таких как «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс-1 ПА», «Экзомарс-2020», «Бумеранг», «Венера-Д».

Направление дальнейших исследований:

- обеспечение панорамной видеосъемки в ходе снижения и посадки КА,
- исследование методов эффективного сжатия видеоинформации с целью обеспечения передачи больших массивов изображений по радиоканалу с ограниченной пропускной способностью
- разработка алгоритмов, методик и программного обеспечения для автоматизированного формирования фотограмметрически корректных фото- и видеопанорам.

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

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

2.1.1. Отработка методики элементного анализа лунного реголита бортовыми масс-спектрометрами «ЛАЗМА»

В 2018 году проведена реперная физическая калибровка штатного образца прибора «ЛАЗМА-ЛР», определены константы, определяющие зависимость массы иона от времени его пролета K и t_0 , а также число отсчетов инкрементного энкодера и время работы двигателя при смене позиции грунтоприемного устройства на одну ячейку. Для значений отсчетов инкрементного энкодера определены номинальные значения для сохранения во внутренней памяти прибора.

В качестве калибровочного образца для получения спектров и определения констант зависимости массы иона от времени пролета использовался эталонный образец сплава МС-146.

Как хорошо видно, данный образец содержит в матрице элементы, разнесенные практически по всей массовой шкале. Спектр хорошо разбивается на три массовых интервала $C - Ti$ (12 - 48 а.е.м.), $Ti - Nb$ (48 - 93 а.е.м.) и $Nb - W$ (93 - 186 а.е.м.) и имеет достаточное количество элементов, что позволяет провести калибровку всей шкалы прибора даже в случае наличия сильных аберраций ионно-оптической схемы. На рисунке 2.1.1 приведен одиночный характерный спектр данного образца, полученный при проведении физической калибровки прибора. В ходе физической отработки методики проведен анализ образца базальта, использованного в качестве аналога лунного реголита. На рисунке 2.1.2 приведен одиночный спектр базальта, полученный в ходе отработки методики анализа. Показано, что штатный образец прибора «ЛАЗМА-ЛР» позволяет проводить элементный анализ образцов, близких по своим физико-химическим характеристикам к лунному реголиту.

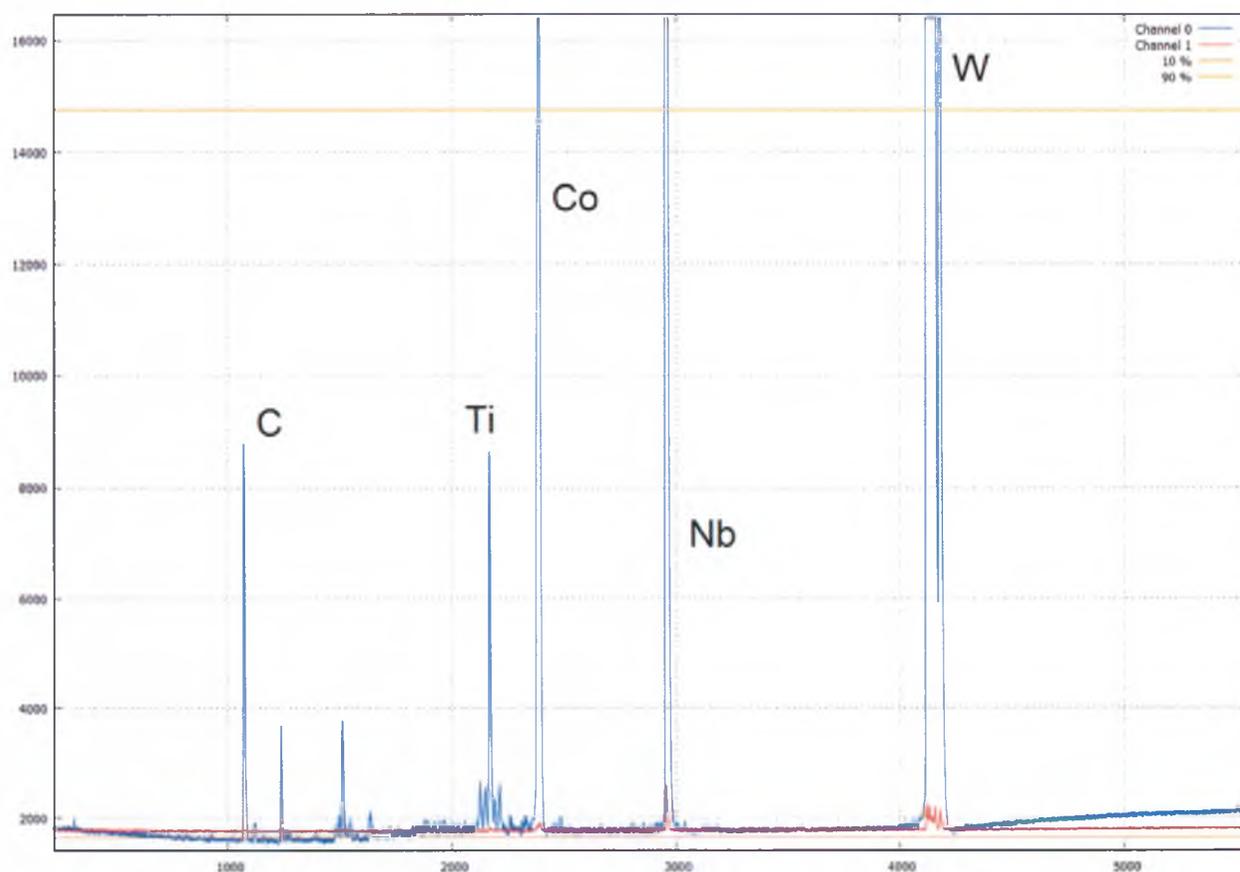


Рисунок 2.1.1. Одиночный спектр сплава MC-146.

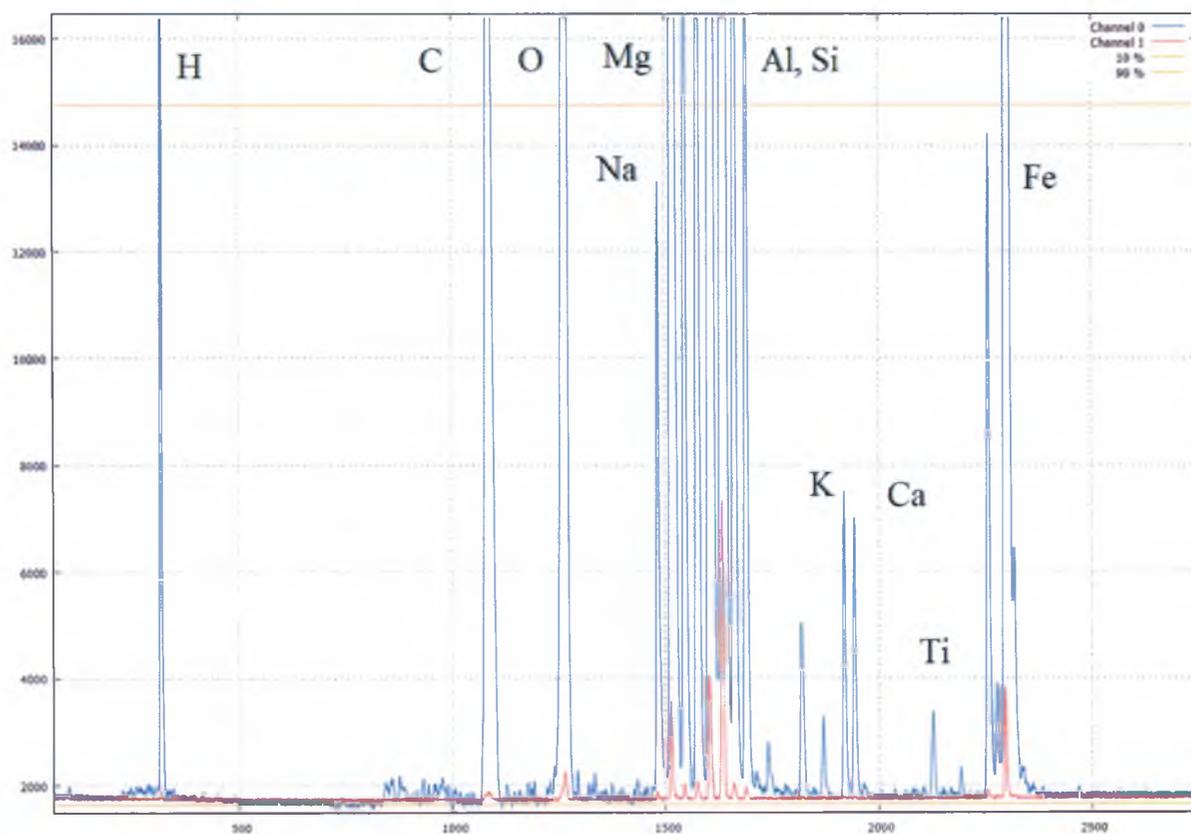


Рисунок 2.1.2. Одиночный спектр базальта.

В процессе выполнения работы также были разработаны режимы автономного функционирования, позволяющие реализовать программу научных измерений в автоматическом режиме при минимальном наборе управляющих кодовых слов (УКС) с учетом не штатных ситуаций. В результате данные режимы, предназначенные для автономного функционирования прибора «ЛАЗМА-ЛР» в условиях космического пространства, в виде программных алгоритмов были внедрены в программно-математическое обеспечение штатных образцов прибора. В процессе наземной отработки лазерного времяпролетного масс-спектрометра «ЛАЗМА-ЛР» работоспособность разработанных режимов автономного функционирования и алгоритмов была подтверждена экспериментально.

2.1.2. Разработка программных модулей, обеспечивающих работу масс-спектрометров «ЛАЗМА» в ходе космических экспериментов

Проводится разработка программного обеспечения (ПО) под управлением операционной системы Linux, которое включает в себя:

- Загрузчик канализированных данных;
- Математическую модель прибора;
- ПО экспресс-оценки научных данных.

В настоящее время завершена разработка загрузчика канализированных данных для прибора «ЛАЗМА-ЛР», ведется разработка математической модели прибора и ПО экспресс-оценки научных данных.

2.1.3. Подготовка технического предложения эксперимента ЛАМРЕКО для миссии Луна-Грунт

Осенью 2018 коллектив лаборатории принял участие в подготовке технического предложения для миссии Луна-Грунт. Нами предложен лазерно-абляционный времяпролетный масс-спектрометр ЛАМРЕКО, являющийся развитием масс-спектрометра ЛАЗМА, ранее установленного на миссию Фобос-Грунт. Основной задачей предложенного эксперимента является проведение количественного анализа элементного и изотопного состава реголита Луны, исследование изотопных аномалий, объемный и поверхностный анализ газообразующих элементов H, C, N, O, анализ инертных газов в различных точках поверхности, определение состава молекулярных ионов реголита. Кроме того, при определенных условиях может быть получена информация о наличии льда в составе реголита. Данные об элементном, изотопном и молекулярном составе лунного реголита внесут вклад в понимание условий формирования и эволюции Луны. Сведения о содержании и распределении редкоземельных элементов и воды в реголите Луны позволят определить перспективы ее промышленного освоения. Предлагаемый масс-спектрометр может быть также применен для предварительного анализа образцов, полученных при бурении, с целью отбора образцов для отправки на Землю.

Нами также предложено рассмотреть возможность возникновения жизни на Луне в один период с возникновением жизни на Земле – в процессе метеоритной бомбардировки во время формирования Земли, и возможно в плазме образованной в ходе столкновения, приведшего к формированию, Луны. Кроме того, в ходе метеоритной бомбардировки поверхности Луны должен был происходить синтез большого разнообразия органических соединений. Также есть все основания полагать, что на Луну могли быть транспортированы земные микроорганизмы, находящиеся в коре Земли во время метеоритной бомбардировки. Таким образом, на ранних стадиях эволюции Луны в ее составе могли присутствовать органические вещества и микроорганизмы, при этом их образование и/или транспорт могли осуществляться сразу несколькими вышеуказанными путями. Подобные гипотезы недавно были выдвинуты и нашими зарубежными коллегами (Schulze-Makuch, Crawford, 2018). В

связи с этим одной из задач эксперимента ЛАМРЕКО стало обнаружение биомаркеров в реголите Луны.

2.1.4. Подготовка предложения эксперимента ЛАВР для миссии Бумеранг (Экспедиция-М)

Нами предложено провести исследование элементного, изотопного и молекулярного состава реголита Фобоса в рамках миссии Бумеранг с помощью лазерно-абляционного масс-спектрометра (МС) ЛАВР, прототипом которого является МС ЛАЗМА, ранее установленный на миссию Фобос-Грунт. Масс-спектрометр ЛАВР имеет осевую симметрию относительно лазерного излучения и движения ионов плазмы. Такая конфигурация обеспечивает высокую воспроизводимость масс-спектров и возможность анализа слоев образца на глубину 1-2 мм. Облучение образца выполняется оптическим узлом устройства, которое включает Nd:YAG лазер с длиной волны 1.06 мм. Лазер обеспечивает энергию импульса 20 мДж длительностью ~7 нс. Максимальная частота импульсов 1 Гц. Лазер может работать в широком диапазоне температур от -50°C до +50°C. Лазерное излучение фокусируется на поверхности мишени в пятне диаметром 30-90 мкм и плотностью энергии ~109 Вт/см². Прототип ЛАЗМА позволяет определять элементный и изотопный состав пробы с чувствительностью не ниже 50 ppmA в одном спектре и 5 ppmA при анализе 100 спектров.

Основной задачей эксперимента является проведение количественного анализа элементного и изотопного состава реголита Фобоса, а также вещества Марса, выброшенного в ходе ударных событий с поверхности планеты и накопленного на поверхности Фобоса. Данные об элементном, изотопном и молекулярном составе лунного реголита внесут вклад в понимание условий формирования и эволюции Фобоса и ряда других тел Солнечной системы. Сведения о содержании и распределении редкоземельных элементов и воды в реголите Фобоса позволят определить перспективы его освоения в качестве промежуточной базы при освоении Марса или как источника сырья. Кроме того, в частицах древнего вещества, выброшенного с поверхности Марса, могли сохраниться органические структуры, которые можно было бы идентифицировать как биомаркеры. Важно, что идентификация таких органических структур возможна на основе их элементного состава с помощью предлагаемого масс-спектрометра (Managadze et al., 2017). Обнаружение биомаркеров позволит ответить на ряд вопросов, касающихся происхождения жизни и ее эволюции.

2.2 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» был создан радиофизический прибор, Генератор Автономный Радиосигналов, ГАРС, который является имитатором бортового передатчика космического аппарата TGO, (Экзомарс-2016). Прибор ГАРС позволяют формировать основные информационные телеметрические сигналы, излучаемые передатчиком X диапазона КА TGO, а также имитировать статический сдвиг частоты, вызванный эффектом Доплера.

В процессе выполнения работ по созданию прибора ГАРС были реализованы новые принципы формирования информационных сигналов. Используя специальное программное обеспечение, создавались файлы сигналов, которые в цифре соответствовали сигналам КА TGO. В процессе передачи сигнала файл подавался на цифро-аналоговый преобразователь, на выходе которого получался аналоговый информационный сигнал.

Параметры генерируемых прибором ГАРС сигналов приведены в таблице 1.
Таблица 1. Параметры информационных сигналов ГАРС.

ID	Символьная скорость, sps	Модуляция, частота поднесущей РСМ, Гц	Кодирование	Информационная скорость, bps
EXM1	94737	GMSK	Turbo 1/2	47178
EXM2	52632	263157,9	Turbo 1/2	26210
EXM4	1023,75	8190	Turbo 1/2	509,8
EXM6	42,66	8190	Turbo 1/4	10,6
EXM7	124,09	8190	Turbo 1/6	20,6
EXM8	6578,95	263157,9	Turbo 1/4	1638,1
EXM9	138462	GMSK	Turbo 1/4	34480
EXM10	2000000	GMSK	Turbo 1/2	995980,3
EXM11	2500000	GMSK	Concat 1/2	1089718,5
EXM12	5000000	GMSK	Concat 1/2	2179437,1

Раздел 3. Разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой

3.1 Разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой

Отв. исп. К.В. Ануфрейчик

В 2018 году продолжились разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой для перспективных научных космических миссий. Ниже перечислены основные результаты по системам и блокам.

Конструкторско-доводочный образец блока управления научной информацией (КДО БУНИ) принял участие в стыковочных испытаниях КДО КНА, отработаны механизмы бортового исполнения циклограмм и сами циклограммы. Изготовлены узлы и детали штатного образца (ШО) БУНИ.

Выпущена конструкторская документация (КД) на макеты БУНИ-ЛР, который является «продвинутой» версией БУНИ, с измерением, логгированием и анализом потребляемых токов, параллельным выполнением нескольких циклограмм. Кроме того, в БУНИ-ЛР доля отечественных ЭРИ составила свыше 90%, что позволяет говорить об успешности импортозамещения в подобных системах и блоках.

Разработана КД на узлы для штатных образцов системы СУСПИ-С. Начата закупка и сертификация ЭРИ.

В марте этого года началась постоянная работа прибора АЦС на низкой круговой научной орбите Марса. Блок электроники АЦС без сбоев принимал телеметрию и передавал цифровые команды во все три спектрометра прибора. Суммарный объем переданной научной информации превышает 100 гигабайт. Прибор весь период до конца года работал непрерывно.

В рамках работ над прибором БИП выпущена документация на штатные образцы прибора, проведена закупка ЭРИ, которые сейчас находятся в процессе сертификации. Изготовлен ТО БИП и успешно прошел стыковочные и комплексные испытания в рамках КНА. Функциональная модель БИП успешно прошла интеграционные электрические испытания на стенде АТВ в ТАС-I в составе функциональной модели всего десантного модуля миссии. По результатам испытаний, замечания (NCR) к ФУМО БИП отсутствуют.

Раздел 4. Разработка малогабаритных космических аппаратов для научных исследований

4.1 Разработка систем малогабаритных космических аппаратов на отечественной элементной базе

Отв. исп. Козлов И.В.

В 2018 году в ИКИ РАН были продолжены работы по созданию малогабаритных космических аппаратов в рамках работ по реализации КЭ «Мониторинг окружающей космической среды электромагнитно-чистыми микроспутниками, интегрированными в инфраструктуру МКС». Особое внимание уделялось при этом вопросу выбора и использования электронной компонентной базы (ЭКБ), поскольку отечественная ЭКБ не всегда в полной мере соответствует специфическим требованиям (см. рис. 4.1), а иностранная ЭКБ из-за экспортных ограничений доступна только индустриального уровня качества, что может отрицательно сказаться на надежности.

В ходе выполненных работ были разработаны ТЗ и исходные данные на составные части микроспутников, а также были сформулированы соответствующие требования по выбору и применению ЭКБ отечественного производства.

В ходе работ по выпуску эскизного проекта на электромагнитно-чистые микроспутники (шифр «Трабант») были также рассмотрены вопросы использования отечественной ЭКБ при разработке бортовой аппаратуры, что нашло отражение в выпущенных материалах пояснительной записки к эскизному проекту.

В июле 2018 года ИКИ РАН в г.Таруса было организовано и проведено международное совещание по перспективам реализации данного КЭ, где среди прочих технических вопросов обсуждались вопросы выбора и применения ЭКБ как отечественного, так и иностранного производства при создании бортовых систем и научных приборов.



Рисунок 4.1 Специфика электронной компонентной базы (ЭКБ) для космического применения

Раздел 5. Работы по обновлению научно-производственного центра в ИКИ РАН для создания перспективной космической аппаратуры

5.1 Оснащение нормативно-технической документацией

Отв. исп. Аверьянова И.Г.

В течение 2018 года было продолжено оснащение разработчиков нормативно-технической и прочей документацией.

В Институте были введены в действие:

- Стандарты (государственные, государственные военные, межгосударственные, национальные) – 8;
- Технические условия – 45;
- Технические условия с дополнением – 1;
- Отраслевые стандарты – 7;
- Руководящие документы – 2;
- Технологические инструкции – 2;
- Методики по сертификации – 18;
- Учебные программы – 1;
- Рекомендации по применению – 3;
- Объединенный документ применяемых стандартов/требований "ЭкзоМарс" ЕКА/Госкорпорация "Роскосмос" – 1;
- Изменения ОСТ, ТУ, ГОСТ, РД – 77;
- Национальные стандарты. Указатель 2018 (по состоянию на 1 января 2018 г.) – 1;
- Национальные стандарты. Информационный указатель – 11;
- Отмененные и замененные национальные стандарты. Указатель (по состоянию на 1 апреля 2018 г.) – 1;
- Нормативные документы национальной и межгосударственной систем стандартизации. Аннотированный перечень 2018 – 1;
- Сводный перечень документов по стандартизации оборонной продукции. Издание 3. Том 5 – 1;
- Сводный перечень документов по стандартизации оборонной продукции. Издание 3. Том 5. Изменение № 1 – 1;
- Изменение указателя государственных военных стандартов – 1;
- Изменение сводного перечня документов по стандартизации оборонной продукции – 3;
- Перечень ЭКБ 01-22-2017 - 1 (46 книг);
- Изменения к перечню ЭКБ 01-22-2017 – 3;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2018 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:

1. Выполнена разработка телевизионных средств наблюдения.
2. Созданы Генераторы Автономные Радиосигналов, приборы ГАРС-ШО и ГАРС-ШО ЗИП, которые являются имитаторами бортового передатчика космического аппарата TGO, (Экзомарс-2016). Генераторы успешно прошли испытания сертификационные испытания в European Space Operations Center (ESOC).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Публикации по теме ВЕКТОР

Всего научных публикаций в 2018 г. - 12, в т.ч. статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 11, статьи в зарубежных изданиях - 1.

1. Grishin V. Estimation of Visual Shoreline Navigation Errors // The Journal of Navigation. Published online: 16 November 2018, pp. 1-16. doi:10.2017/S0373463318000875

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах

1. Бессонов Р.В., Белинская Е.В., Брысин Н.Н., Воронков С.В., Куркина А.Н., Форш А.А. Звездные датчики ориентации в астроинерциальных системах летательных аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т.15. №6.
2. Бессонов Р.В., Жуков Б.С., Караваева Е.С., Кондратьева Т.В., Шевелев В.Е. Основные принципы построения астрокорректора для внутриатмосферных летательных аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т.15. №6.
3. Жуков Б.С., Гришин В.А., Жуков С.Б., Кондратьева Т.В., Тучин А.Г., Ярошевский В.С. Моделирование оптических навигационных измерений на траектории подлета к районам посадки на Луну // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т.15. №6.
4. Жуков Б.С., Гришин В.А., Жуков С.Б., Кондратьева Т.В., Тучин А.Г., Ярошевский В.С. Моделирование оптических навигационных измерений при вертикальном спуске на поверхность Луны // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т.15. №6.
5. Воронков С.В., Никитин А.В., Прохорова С.А., Эльяшев Я.Д. Наземная отработка взаимодействия лунного манипуляторного комплекса и служебной телевизионной системы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т.15. №6.
6. Абрамов Н.Ф., Воронков С.В., Никитин А.В., Полянский А.В., Форш А.А. Обеспечение дистанционных телевизионных съемок на посадочной платформе космического аппарата «ЭкзоМарс-2020» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т.15. №6.
7. Манагадзе Г.Г., Манагадзе Н.Г., Бондаренко А.Л., Чумиков А.Е. «Экзотическая» масс-спектрометрия для исследований космического пространства. Часть 1. Зарождение и развитие. Инженерная физика, 2018, № 2, С. 31-52.
8. Г.Г. Манагадзе, Н.Г. Манагадзе, А.Л. Бондаренко, А.Е. Чумиков. Результаты использования «экзотической» масс-спектрометрии для исследований лазерной и ударной плазмы в космосе и лаборатории. Инженерная физика, 2018, № 3, С. 38-61.
9. Gusev A., Hanada H., Kosov A., Meng Zh., Ping J. Spin-orbit dissipative dynamics of the Moon and radio/laser beacons VLBI/LRR/LLR technologies for ChangE-5/6, Luna-25/26/27, ILOM missions. Actual Problems of Aviation and Aerospace Systems, Kazan, Daytona Beach, No.1 (46), volume 23, 1-48, 2018
10. А.В. Гусев, М.В. Васильев, А.С. Косов, Дж. Пинг, Х. Ханата, Спин-орбитальная эволюция многослойной Луны и лунный навигационный ежегодник, Вторая астрометрическая конференция-школа "Современная астрометрия", — 17.10.25-2
11. А.С. Косов, А.А. Чернышов, М. М. Могилевский, Д.В. Чугунин, В.В. Корогод, В.А. Муницын, М. С. Долгоносков, Д.П. Скулачев. КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ИОНОСФЕРНЫХ ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛА ИЗРС (ИОНОСФЕРНЫЕ ЗАДЕРЖКИ РАДИОСИГНАЛА), «Исследование Земли из космоса», УДК 629.783, 550.388.2., принята к публикации.