

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.

6.1. Разработка методов и средств фотограмметрической обработки изображений оптических съемочных систем, привязки к географической и планетным системам координат, построение цифровых моделей местности

Отв. исп. Полянский И.В.

Разработан метод привязки изображений, полученных комплексом многоспектрального сканирования (КМСС), установленным на КА Метеор-М № 01.

Проведена оценка точности привязки при помощи сравнения точек на синтезированном и трансформированном изображении с соответствующими им точками на карте Google Earth.

Разработан алгоритм и составлено программное обеспечение, позволяющее определять матрицу перехода от систем координат каждого канала МСУ к связанной системе координат КА. Связанная система координат определяется как результат перехода от системы координат прибора звездной ориентации БОКЗ-М через матрицу направляющих косинусов, определяемую по КД. Для этого на исходных изображениях каждого канала выбирается группа характерных контуров, и измеряются моменты времени получения и номера элементов их изображений на ПЗС линейке. На карте Google Earth определяются географические координаты этих контуров. Составляется и решается система уравнений, связывающая координаты на снимке с координатами на карте относительно трех углов поворота по каждому каналу, фокусного расстояния и дисторсии.

Достигнутая абсолютная точность географической привязки составляет 350 м, а относительная (при совмещении каналов) – 50–100 м. При этом 50 м – это точность, определяемая элементом разрешения камеры МСУ-50.

Разработан механизм и составлено программное обеспечение, позволяющие уточнять географическую привязку путем введения корректирующих углов в каждый канал и уточнять время начала сеанса съемки. При этом нужно определить географические координаты по каждому каналу синтезированного изображения и по карте для выбранной группы контурных точек.

Разработан механизм определения координат центров съемки и углов разворота систем координат только по данным АСН. При этом для привязки каждого фрагмента синтезированного изображения необходимо выполнять угловую коррекцию, по крайней мере, по трем углам.

При привязке с использованием данных прибора звездной ориентации и АСН угловая коррекция не требуется. Нужна только коррекция по времени. Если время начала съемки задано с достаточной степенью точности, то можно полностью обходиться без использования коррекции. Для коррекции по времени достаточно 1 точки с измеренными географическими координатами.

Разработан механизм определения координат центров съемки и углов разворота систем координат по данным АСН, ДУС и БОКЗ-М. Промежутки между измерениями БОКЗ-М заполняются данными с датчиков угловой скорости движения.

Разработаны алгоритмы и составлено программное обеспечение, позволяющее строить цифровую модель подстилающей поверхности путем обработки стереопары изображений. Для этого необходимо решить две задачи.

Первая задача состоит в получении информации о пространственном положении точек подстилающей поверхности выбранных участков съемки с орбиты КА. Для этого используются измерения с навигационных приборов и изображения, полученные одной камерой в разные моменты времени.

Вторая задача состоит в получении информации о пространственном положении точек подстилающей поверхности участка съемки после посадки на поверхность. Для этого нужно производить съемку с фиксированного базиса.

В качестве оптико-электронных средств решения указанных задач предлагается использовать камеру на базе КМОП матрицы 2048x2048 элементов с разрешением 5.5 мкм с короткофокусным объективом.

Алгоритм решения задачи построения ЦМР подстилающей поверхности:

1. Наземное определение элементов внутреннего ориентирования камеры.
2. Получение двух стереоизображений при орбитальном движении КА
3. Определение элементов внешнего ориентирования с использованием данных навигационных приборов и баллистических данных в планетоцентрической системе координат.
4. Выбор точек, оптимальных для отождествления на первом изображении.
5. Поиск максимума корреляционной функции в окне поиска второго изображения, размер которого определяется навигационной информацией и диапазоном возможных величин превышений над планетным эллипсоидом.
6. Определение пространственных координат цифровой модели рельефа, используя координаты соответственных точек на стереопаре изображений во внутренней системе координат камеры.
7. Использование различных способов визуализации построенной модели – горизонтали, сетка, перспективная проекция изображения с рельефом при помощи средств OpenGL.

Алгоритм решения задачи построения ЦМР после посадки

1. Наземное определение элементов внутреннего ориентирования 2-х камер.
2. Определение элементов внешнего ориентирования с использованием данных в системе координат тест-объекта, расположенного перед камерами
3. Подсветка подстилающей поверхности при помощи сетки лазерных лучей
4. Синхронное получение стереоизображений с двух концов базиса (до 1 м)
5. Локализация и определение центров изображений узлов лазера на обоих изображениях.
6. Отождествление изображения узла сетки на втором изображении как наиболее близкого к узлу сетки на первом изображении.
7. Определение пространственных координат цифровой модели рельефа, используя координаты соответственных точек на стереопаре изображений во внутренней системе координат камеры.
8. Использование различных способов визуализации построенной модели – горизонтали, сетка, перспективная проекция изображения с рельефом при помощи средств OpenGL.

Публикации по теме:

1. Никитин А.В. Полянский И.В. Построение цифровой модели объекта путем его синхронной съемки двумя камерами с фиксированным базисом. 10-я конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН, Москва 2012.
2. Кондратьева Т.В., Никитин А.В., Полянский И.В. Оценка точности автоматической географической привязки пространственных данных КМСС в ходе летной эксплуатации. 10-я конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН, Москва 2012.

3. Никитин А.В. Полянский И.В. Построение цифровой модели объекта путем его синхронной съемки двумя камерами с фиксированным базисом. «Современные проблемы навигации и ориентации космических аппаратов» ИКИ РАН, //Третья Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов», Таруса 10-13 сентября 2012 г. [Тезисы докладов](#). ИКИ РАН, 2012г.
4. Кондратьева Т.В., Никитин А.В., Полянский И.В. Оценка точности автоматической географической привязки пространственных данных КМСС в ходе летной эксплуатации. «Современные проблемы навигации и ориентации космических аппаратов» ИКИ РАН, //Третья Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов», Таруса 10-13 сентября 2012 г. [Тезисы докладов](#). ИКИ РАН, 2012 г.
5. А.В. Никитин, И.В. Полянский Использование данных с датчиков угловых скоростей для формирования информации об ориентации осей изделия ИКИ РАН, //Третья Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов», Таруса 10-13 сентября 2012 г. [Тезисы докладов](#). ИКИ РАН, 2012 г.

6.4 Численное моделирование генерации электрического тока в бинарных ячейках ВЭРИИТ включая анализ характеристик ион-электронной эмиссии из тонких пленок бинарных токовых ячеек эмиттера

Отв. исп. Ерохин Н.С.

В 2012 году было продолжено моделирование генерации электрического тока в бинарных ячейках вторично-эмиссионного радиоизотопного источника тока (ВЭРИИТ) включая анализ характеристик ион-электронной эмиссии, возникающей при прохождении быстрых ионов (например, альфа-частиц радиационного распада трансурановых элементов с энергиями порядка МэВ) через систему тонких (наноразмерных) пленок бинарных токовых ячеек эмиттера (ВЭРИИТ) с учетом ее зависимости от величины поверхностного потенциального барьера для эмиттируемых из пленок токовых ячеек электронов. Теоретический анализ необходим для последующих экспериментальных работ, включающих создание демонстрационного образца ВЭРИИТ, реализацию технологии изготовления бинарных ячеек с внедренной радиоизотопной прослойкой, обоснование параметров ВЭРИИТ, его конструктивных характеристик, выработка практических рекомендаций по созданию экспериментального образца ВЭРИИТ на мощности порядка ватта и более. Принципиальным отличием предлагаемого ИЭ от термоэмиссионных батарей является использование тонких (с толщиной $l_{Cu} < 0.1$ мкм) металлических пленок, что приводит к значительному повышению к.п.д. преобразования энергии налетающих альфа-частиц в электрическую энергию. Как показали харьковские эксперименты при указанных условиях возможно существенное увеличение вторичной эмиссии электронов из металлических и диэлектрических пленок.

В 2011 году заключен договор с ННЦ "ХФТИ" НАНУ о проведении совместных работ по данной теме включая численное моделирование процессов генерации электрического тока в бинарных ячейках ВЭРИИТ. В стадии подготовки находится совместная статья по данному вопросу. Отметим, что в ННЦ "ХФТИ" НАНУ и Харьковском университете им. Каразина имеются возможности для создания бинарных ячеек наноразмерных толщин.

В 2012 году были проведены предварительные переговоры с представителем Московского отделения фирмы Ниссан о возможности проведения экспериментальных работ по данной проблеме и их участия в финансировании планируемых исследований. Решение вопроса планируется в 2013 году.

Михайловская Л.А., к.ф.-м.н., тел.8-495-333-41-00

Ерохин Н.С., д.ф.-м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

6.3. Разработка и испытания высоконадежных систем управления научной аппаратурой

Отв. исп. Ануфрейчик К.В.

В настоящем году велась работа по разработке и испытаниям высоконадежных систем управления научной аппаратурой в рамках ОКР «Луна-Ресурс», «Луна-Глоб», «Спектр-УФ», «Резонанс», «Ионосфера».

ОКР «Луна-Ресурс» и «Луна-Глоб»

Продолжена работа над созданием блока управления научной информации (БУНИ) посадочных аппаратов. Разработана конструкторская документация (КД) на макеты и опытные образцы БУНИ. Изготовлены и поставлены в НПОЛ макеты БУНИ. Закончено изготовление технологического образца (ТО) БУНИ, проведены приемо-сдаточные испытания (ПСИ). БУНИ успешно прошёл стыковочные испытания со всеми 14 научными приборами, в настоящее время блок проходит стыковочные комплексные испытания.

На выставке «SIMEXPO – научное приборостроение – 2012» БУНИ победил в конкурсе в номинации «За разработку и создание нового поколения научного оборудования».

Разработана конструкторская документация на систему сбора и регистрации информации (ССРНИ-2) для орбитального аппарата. Изготовлены и поставлены в НПОЛ макеты ССРНИ-2, начато изготовление ТО ССРНИ-2.

СВЧ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЛУННЫХ МИССИЙ

1 РАДИОМАЯК

В течение ближайших лет в России планируются несколько запусков космических аппаратов на орбиту и поверхность Луны. Для успешного осуществления этих миссий необходимо возможно более точное определение селенодезических координат космических аппаратов. С этой целью была рассмотрена возможность установки на борту лунного посадочного модуля специального радиомаяка, представляющего собой генератор, излучающий стабильный по частоте СВЧ сигнал. Точные координаты источника подобного сигнала могут быть определены с Земли с использованием техники радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ). Для работы радиомаяка предполагается использовать частоту 8,4 ГГц.

Если генератор будет иметь достаточную автономность и большой срок службы, то его можно будет использовать для обеспечения посадки последующих лунных миссий. В том случае, если будущие лунные посадочные модули также будут снабжены аналогичными радиомаяками, возможно создание на Луне сети опорных маяков и значительное увеличение точности посадки будущих космических аппаратов на поверхность Луны.

Длительность работы радиомаяка может быть обеспечена, если электрическое питание прибор будет получать от долгоживущего автономного источника, например, радиоактивного (РИТЭГ). В этом случае функционирование маяка не будет зависеть от технического состояния солнечных батарей посадочного модуля и от условий освещения модуля Солнцем.

Сигнал, излучаемый радиомаяком, может быть также использован для привязки орбиты лунных космических аппаратов к точкам расположения уже севших модулей и для измерения скорости относительного движения космических аппаратов по сдвигу принимаемой частоты из-за эффекта Доплера. Для этой цели на борту орбитальных и посадочных модулей должны быть установлены соответствующие приемники. Использование несущей частоты 32 ГГц и современных высокостабильных генераторов позволяет получить точность измерения скорости порядка 1 мм/сек и ускорения порядка 0,1 мм/сек². Измерения могут проводиться как низких (около 50 км), так и высоких (порядка 500 км) орбитах.

Возможность точного определения скорости и ускорения орбитального космического аппарата дает возможность проведения научного эксперимента по измерению неоднородностей гравитационного поля Луны. Кроме того, измерения малых изменений частоты сигналов радиомаяка, принимаемых на Земле, позволяют определить вариации параметров движения Луны и судить о физических свойствах этого небесного тела.

Технические характеристики аппаратуры и методы измерений сигнала радиомаяка

Радиомаяк может быть выполнен как высокостабильный передатчик СВЧ сигналов, работающий в двух частотных диапазонах: 8,4 ГГц и 32 ГГц. Определение положения посадочного модуля при этом выполняется путем приема сигнала радиомаяка в диапазоне 8,4 ГГц сетью наземных приемных станций, работающих в режиме РСДБ. Для этих целей требуется не менее трех приемных станции. Задача приема и обработки сигналов радиомаяка может быть решена в институте прикладной астрономии РАН (ИПА РАН), который занимается приемом и обработкой сигналов астрономических объектов в режиме РСДБ. Ниже на рис. 1 приведены фотографии антенн РСДБ сети ИПА РАН.



(А) (Б) (В)

Рис.1. Антенны РСДБ сети «Квазар-КВО»: А – 32 м антенна в Светлом; Б – 32 м антенна в Зеленчукской; В – 32 м антенна в Бадарах.

Точность определения координат посадочных модулей в системе селенодезических координат составит порядка 1 метра.

При необходимости, радиомаяк может передавать на Землю собственную или внешнюю телеметрическую или научную информацию на частоте 8,4 ГГц. В случае приема информации антеннами системы «Квазар-КВО» может быть достигнута скорость передачи до 100 кбит/сек.

Для приема сигнала радиомаяка на борту лунного орбитального аппарата должен быть установлен приемник СВЧ диапазона, работающий на частоте 32 ГГц. Приемник должен принимать сигнал радиомаяка, преобразовывать СВЧ сигнал на низкую частоту и измерять частоту принятого сигнала. Частота принятого сигнала отличается от частоты сигнала маяка на величину сдвига Доплера, связанного со скоростью движения орбитального модуля.

На Рис.2 представлена баллистическая схема совместной работы двух радиомаяков и приемника на орбитальном модуле.

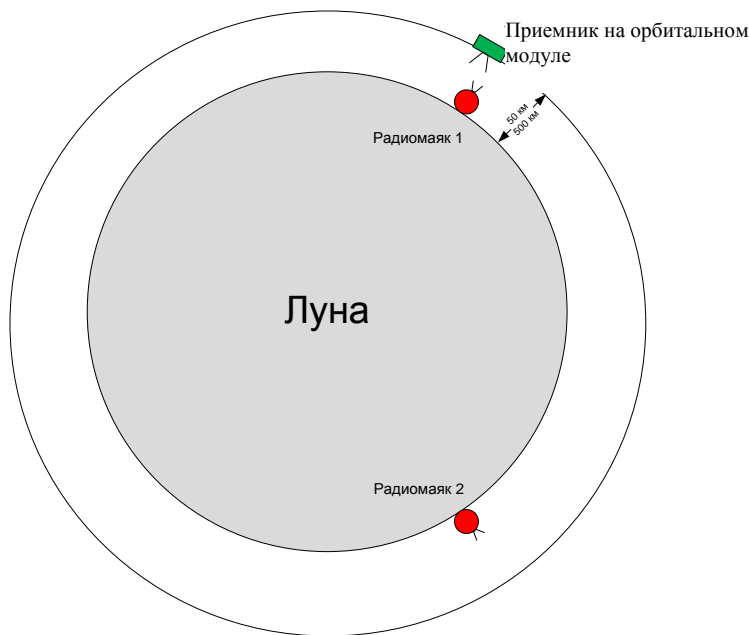


Рис.2. Баллистическая схема работы радиомаяков и приемника на орбитальном модуле

Суммарная точность измерений определяется стабильностью частоты сигналов радиомаяков и точностью измерения сдвига Доплера приемником. Эти параметры определяются качеством стандартов частоты, примененных в радиомаяках и приемнике. В качестве стандарта частоты предполагается применить прецизионный кварцевый генератор типа ОСХО 8607 (BVA8607), производства Oscilloquartz, Switzerland. Этот кварцевый генератор был успешно использован на космическом аппарате ESA “Mars Express”, “Venus Express”, “Rosetta”. На Рис.3 представлена зависимость относительной нестабильности частоты опорного генератора ОСХО 8607 от времени накопления (вариация Аллана).

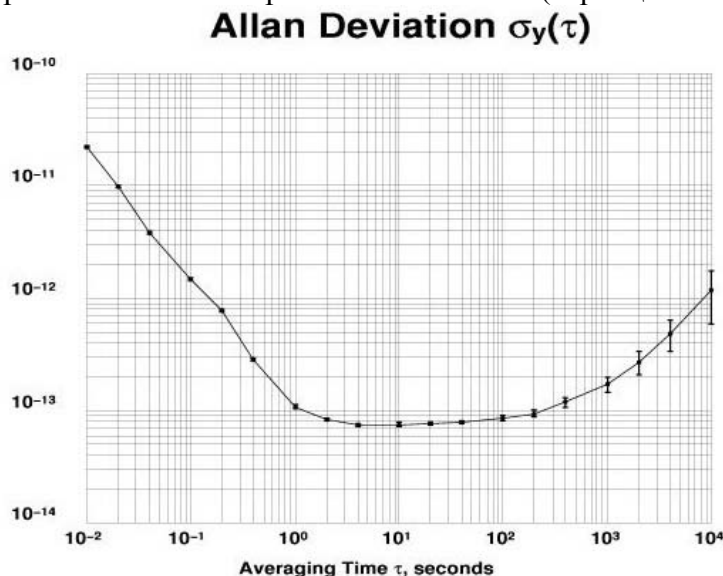


Рис.3 Вариация Аллана ОСХО 8607 в зависимости от времени накопления

Рис.3 показывает, что нестабильность частоты генератора ОСХО 8607 не превышает 10^{-13} на временах накопления от 1 до 250 секунд.

На рис.4 представлено сравнение различных типов стандартов частоты. Видно, что на временах накопления менее 30 секунд ОСХО 8607 является лучшим выбором. При времени накопления более 30 секунд лидером является водородный стандарт частоты (РН-Maser). Для задач навигации и изучения неоднородности гравитационного поля Луны времена накопления не превышают 30 секунд, в этом

случае генератор ОСХО 8607 (BVA8607) является наилучшим выбором, как по стабильности частоты, так и по массе и габаритам.

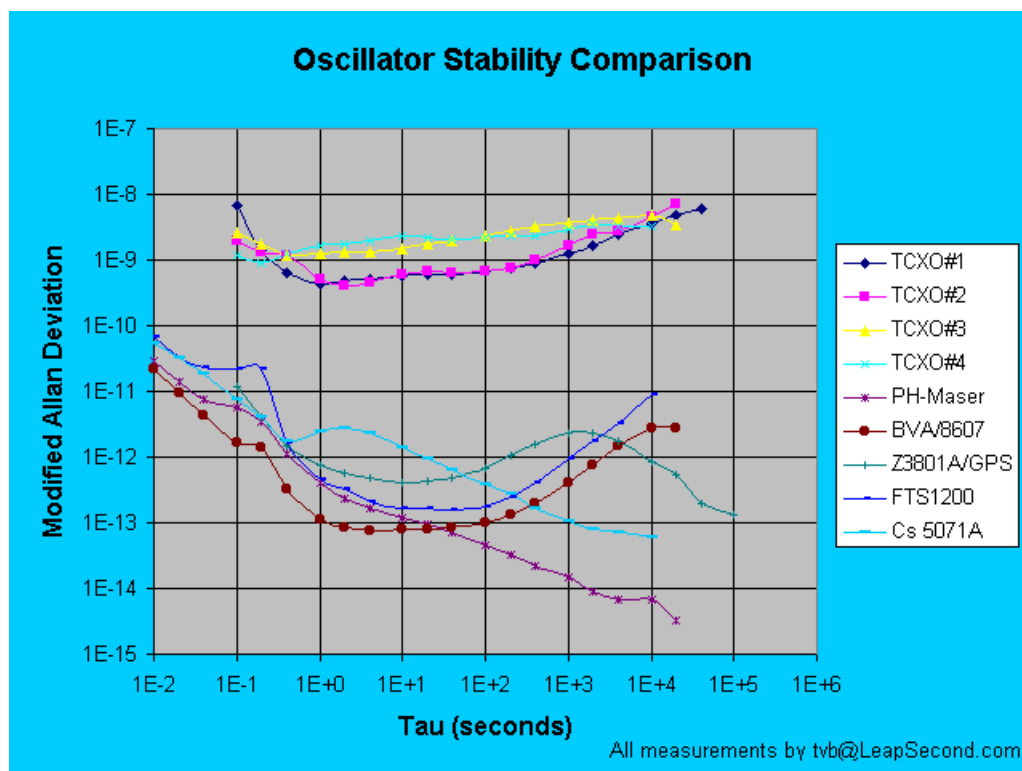


Рис.4 Сравнение нестабильности частоты различных опорных генераторов космического применения

Существенными параметрами, влияющими на точность эксперимента, являются ширина спектральной линии излучения радиомаяка и уширение этой линии после преобразования в приемнике. Ширина спектральной линии сигнала, поступающего на обработку, определяет интервал времени возможного накопления сигнала. Этот параметр в основном зависит от величины фазовых шумов опорных генераторов, примененных в радиомаяке и приемнике. В таблице 1 приведены фазовые шумы генератора ОСХО 8607 при различных отстройках от несущей на номинальной частоте (5 МГц), и после преобразования на частоту 32 ГГц.

Таблица 1.

Фазовый шум генератора ОСХО 8607 (option L, dBc, BW=1 Hz)		
Частота	5 МГц	32 ГГц
1 Гц	-130	-54
10 Гц	-145	-69
100 Гц	-153	-77
1000 Гц	-156	-80
10000 Гц	-156	-80

Для оценки нестабильности на частотах менее 1 Гц примем, что при уменьшении частоты отстройки в 10 раз уровень фазового шума увеличивается на 15-20 дБ. В этом случае ширина спектральной линии на частоте 32 ГГц не превышает 0,01 Гц. При такой ширине спектральной линии, возможно время накопления до 100 секунд.

Нестабильность частоты опорного генератора ОСХО 8607 (option L, H) за большие интервалы времени и в интервале температур приведена ниже:

- за 24 часа: $5 \cdot 10^{-12}$;
- за 10000 часов: $2 \cdot 10^{-9}$;

– в диапазоне температур $-30^{\circ}\dots+60^{\circ}\text{ C}$: $1\cdot 10^{-10}$.

Важным параметром является потенциал радиоканала, или величина отношения P_R/P_N (мощность сигнала/мощность шума) на максимальных дальностях приема. Для нахождения потенциала радиоканала рассмотрим баллистическую схему измерений, изображенную на рис. 5.

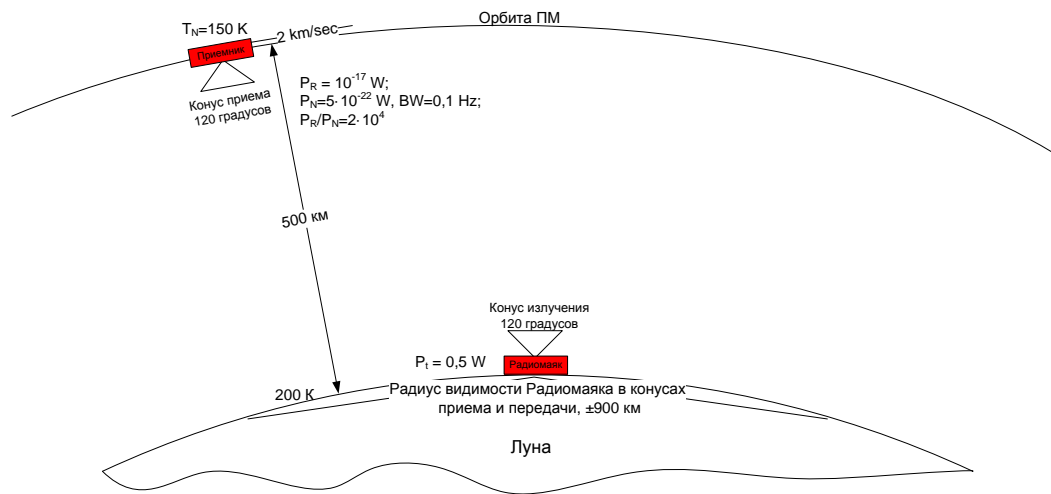


Рис.5. Баллистическая схема СВЧ измерений

В радиомаяке и в приемнике предполагается применить одинаковые антенны с шириной диаграммы направленности порядка 120 угловых градусов. В этом случае при высоте орбиты 500 км будет исследоваться область на поверхности Луны диаметром не менее 1800 км.

Принимаемая приемником мощность сигнала P_R (в случае нахождения орбитального аппарата в зените над радиомаяком) рассчитывается по формуле:

$$P_R = \frac{G_R * G_T * \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} * P_T,$$

где $G_R=G_T=9$ - коэффициент усиления антенн приемника и передатчика;

$\lambda=0,94$ см - длина волны;

$R=5\cdot 10^7$ см - расстояние между ПКД и радиомаяком;

$P_T=0,5$ Вт - мощность сигнала, излучаемая Радиомаяком.

Расчет показывает, что принимаемая мощность составляет 10^{-17} Вт.

Мощность шума определяется шумовой температурой приемника, температурой фона и шириной полосы сигнала. Приемник может иметь температуру собственного шума 150 К, что вместе с шумовой температурой фона 200 К даст суммарную температуру шума на входе приемника 350 К. Предполагая, что накопление сигнала будет происходить в десятисекундном интервале, находим, что в полосе 0,1 Гц мощность шума будет $5\cdot 10^{-22}$ Вт, а отношение сигнал-шум $2\cdot 10^4$. При нахождении приемника вблизи горизонта это соотношение будет не менее ста.

При выполнении научного эксперимента приемник на борту орбитального аппарата должен производить измерение частоты сигнала радиомаяка и по сдвигу Доплера вычислять скорость и ускорение орбитального модуля в направлении на радиомаяк. Время накопления сигнала определяет пространственное разрешение эксперимента. Предполагается, что время накопления будет около 30 секунд, что соответствует пространственному разрешению от 50 до 70 км. При времени накопления 30 секунд суммарная нестабильность частоты сигналов радиомаяка и приемника будет порядка 10^{-13} , что при частоте сигнала 32 ГГц составляет 0,003 Гц. Неточность измерения частоты в 0,003 Гц приводит к ошибке в измерении скорости

$\Delta V=0,003$ cm/sec и, соответственно, к ошибке в расчете ускорения порядка 3 mGal. Измерение ускорения орбитального космического аппарата с ошибкой 3 mGal позволит уточнить карту гравитационного поля Луны в районах расположения посадочных аппаратов с радиомаяками.

На рис. 6(A) изображена расчетная зависимость частоты принимаемого сигнала от времени при пролете орбитального аппарата на высоте 500 км над радиомаяком в предположении, что после двойного преобразования средняя частота будет 500 кГц. Поле при этом предполагалось однородным, а поверхность Луны плоской.

На рис.6(Б) представлена расчетная зависимость радиального ускорения от времени при пролете орбитального аппарата над радиомаяком на высоте 500 км.

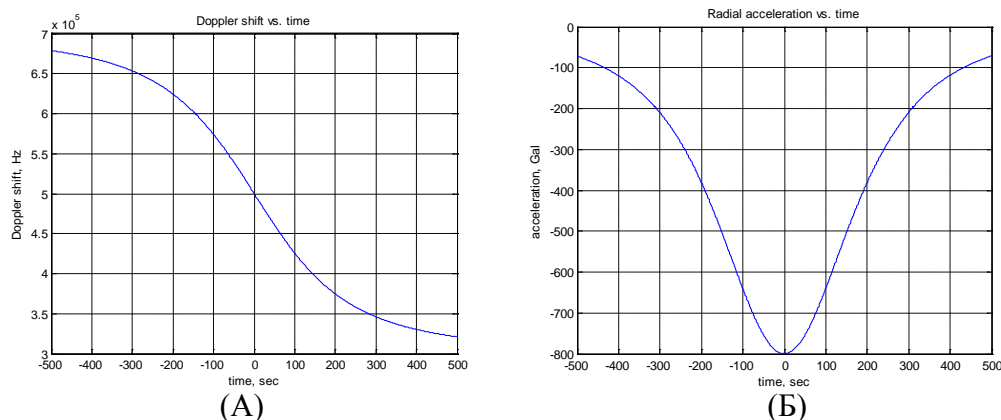


Рис.6 Результаты моделирования принимаемого сигнала при пролете орбитального аппарата над радиомаяком на высоте 500 км: (А) – зависимость частоты принимаемого сигнала от времени; (Б) – радиальное ускорение орбитального аппарата в предположении однородного поля.

Неоднородности гравитационного поля Луны вызовут малые искажения приведенных зависимостей. Эти искажения могут быть выявлены при наземной обработке телеметрических сигналов приемника.

Ведущий по теме: д.т.н. Косов А.С. Тел. 495-33-5167. e-mail akosov@iki.rssi.ru.

2 ПРИЕМНИК СИГНАЛА РАДИОМАЯКА

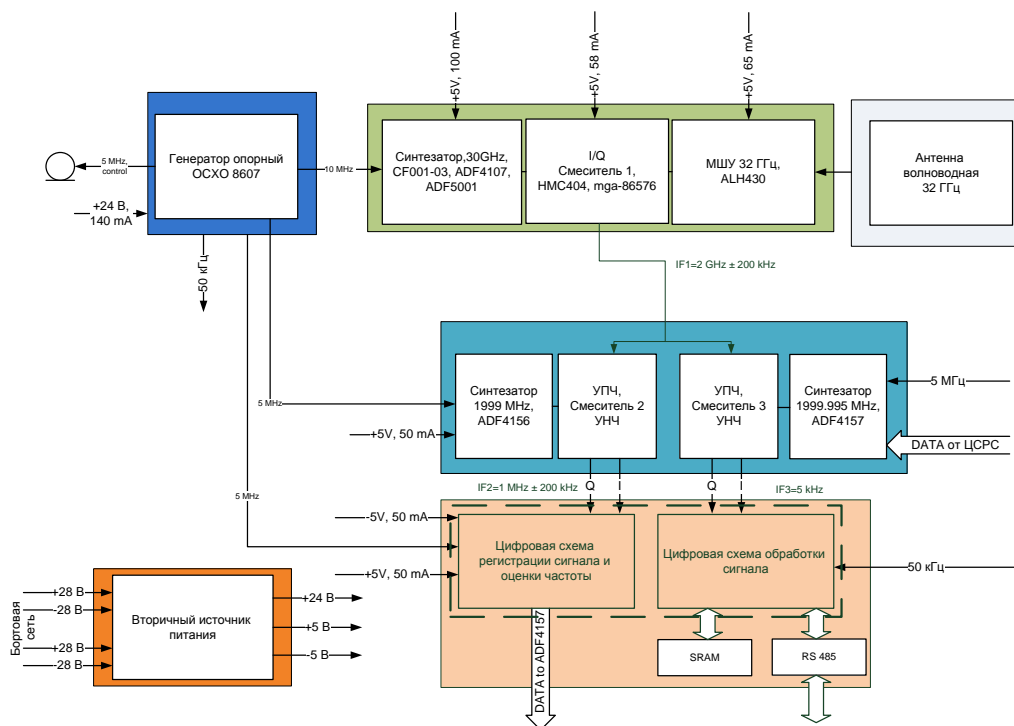
Для грубой оценки частоты в приемнике можно использовать комплексный сигнал, перенесенный на частоту 1 МГц, получаемый с двух каналов, сдвинутых по фазе на 90 угловых градусов. Подавление зеркального канала при переносе частоты может быть эффективно проведено программным методом в блоке цифровой обработки приемника. При этом отношение сигнал-шум в канале приема при орбите высотой 500км на минимальном расстоянии между антеннами будет около минус 24 дБ, а на границе области взаимной видимости приемника и радиомаяка – около минус 36 дБ. Если для оценки частоты сигнала использовать метод быстрого преобразования Фурье (БПФ) по 32768 точкам и экспоненциальное усреднение по 10 спектрам, то ширина частотного канала составит 153 Гц, а соотношение сигнал-шум в канале – около 9 дБ.

Для уменьшения объема сохраняемых и передаваемых приемником в телеметрический канал данных необходимо дополнительное преобразование сигнала на частоту, близкую к 1 кГц. Для достижения необходимой точности частота опроса должна быть не менее 5 кГц. В этом случае сигнал будет иметь отношение сигнал-шум около 6 дБ при нахождении приемника на расстоянии 500 км от радиомаяка.

В телеметрической информации должны сохраняться отсчеты сигнала и код перестройки частоты с меткой времени перестройки в хронологическом порядке. Для сохранения одного отсчета сигнала достаточно 8-разрядного числа. Для сохранения

кода частоты требуется 32-разрядное число, что вызвано необходимостью использования цифрового синтезатора с субгерцовым шагом по частоте.

Возможная структурная схема приемника показана на рис. 7.



Ри

с.7 Структурная схема приемника

Приемник включает в себя следующие устройства:

- опорный кварцевый генератор ОСХО 8607 на частоту 5 МГц;
- СВЧ блок на частоту 32 ГГц;
- блок промежуточной частоты;
- блок цифровой обработки;
- блок антенны;
- блок вторичных источников питания.

Один из вариантов исполнения блока цифровой обработки приемника показан на рис.8.

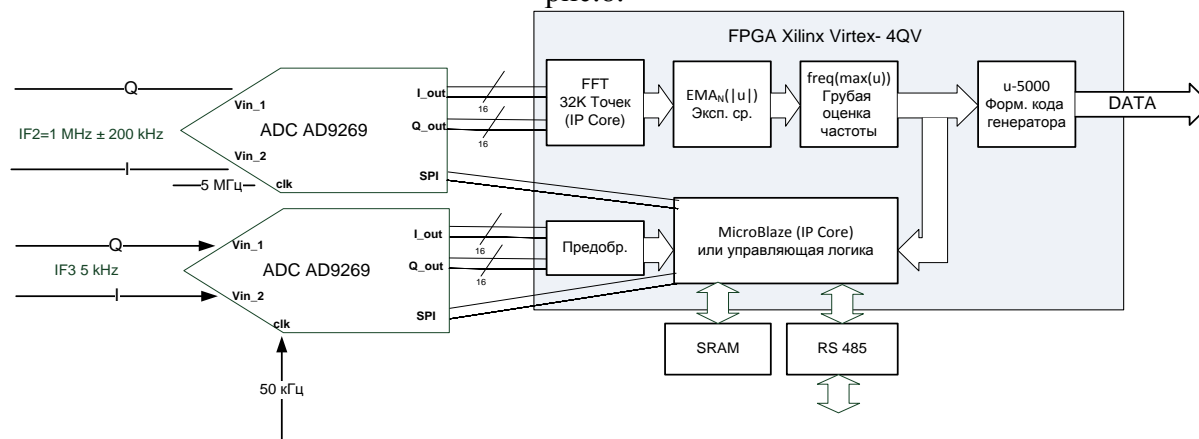


Рис.8 Блока цифровой обработки приемника

Блок цифровой обработки работает следующим образом.

Сигнал второй промежуточной частоты (1 МГц ± 200 кГц) подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), оцифрованный сигнал поступает в блок регистрации сигнала и определение частоты. Производится оценка частоты по максимуму в усредненном по 10 реализациям спектре сигнала на интервале времени

65.5 мсек. Ширина спектрального канала после преобразование составляет 152.58 Гц. За время 65 мсек частота сигнала изменится не более чем на 65 Гц (Рис.6А), и вся энергия сигнала будет распределена в одном или двух соседних спектральных каналах. Отношение сигнал-шум в спектральном канале будет не менее 8.85 дБ на максимальной дальности.

После определения частоты сигнала вырабатывается код перестройки синтезатора ADF4157, с помощью которого вырабатывается сигнал гетеродина смесителя 3. Процедура перестройки частоты гетеродина проводится каждую секунду. На выходе смесителя 3 получается сигнал на частоте от 4 до 5 кГц, поскольку за время 1 сек сигнал меняется по частоте не более, чем на 1 кГц. Процедура преобразования сигнала на частоту 5 кГц позволяет снизить частоту опроса АЦП до 50 кГц и уменьшить объем данных, передаваемых на Землю.

После оцифровки сигнал накапливается в памяти прибора, а затем передается в телеметрическую систему орбитального аппарата для передачи на Землю.

Ведущий по теме: д.т.н. Косов А.С. Тел. 495-33-2267. e-mail akosov@iki.rssi.ru.

3 СВЧ ТЕРМОМЕТР

Знание температуры лунного грунта (реголита) на различных глубинах позволяет судить о тепловом режиме и других физических свойствах реголита. Для целей космического эксперимента большой интерес представляют бесконтактные дистанционные методы исследований. Одним из таких методов является пассивная СВЧ радиометрия. Радиометр с антенной, расположенной над поверхностью реголита, измеряет естественное тепловое СВЧ излучение, приходящее от грунта. При этом используется тот факт, что глубина, с которой СВЧ радиометр регистрирует излучение, зависит от используемой рабочей частоты прибора. Проводя измерения на нескольких частотах, можно оценить температуру грунта на различных глубинах.

Максимальная глубина H , с которой возможна регистрация теплового СВЧ излучения может быть оценена по формуле для скин-слоя диэлектрика с потерями:

$$H = c / (F * 2 * \pi * \operatorname{tg} \delta * \epsilon^{0.5}),$$

где c – скорость света;

F – рабочая частота;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь в реголите;

ϵ – реальная часть диэлектрической проницаемости реголита.

Для лунного реголита характерные параметры равны: $\operatorname{tg} \delta = 0,01$, $\epsilon = 2,7$. Для частоты $F = 10$ ГГц глубина H равна 27 см, для частоты 20 ГГц глубина H равна 13,5 см. Расчеты с использованием теплофизических параметров реголита, полученных в результате миссий «Луна» и «Аполлон» показывают, что суточные вариации температуры реголита максимальны на поверхности и сильно затухают на глубинах более 10 – 30 см.

Таким образом, в качестве термометра для оценки подповерхностной температуры лунного реголита может быть использован СВЧ радиометр, работающий на нескольких частотах в диапазоне от 10 до 20 ГГц. Для упрощения конструкции прибора и уменьшения его массы предполагается использовать три частотных полосы внутри указанного диапазона.

По данным измерений, проведенных с борта китайского спутника Чанъэ-1, реальные вариации температуры в выбранных частотных каналах ожидаются в пределах от единиц до десятков градусов Кельвина. Исходя из этого, флуктуационный порог (минимально обнаружимая вариация температуры) СВЧ радиометра должен быть не более одного градуса Кельвина.

Технические характеристики СВЧ термометра

Для упрощения прибора предлагается использовать модуляционный радиометр прямого усиления, работающий во всем выбранном диапазоне (от 10 до

20 ГГц). В таком же диапазоне должны работать приемные антенны устройства. Разделение сигнала на отдельные частотные полосы в этом случае можно выполнить с помощью трех полосовых СВЧ фильтров, установленных на выходе СВЧ части. Данные спутника Чанъэ-1 показывают, что температура подповерхностного слоя реголита мало изменяется за период времени, меньший пяти - десяти часов. С другой стороны, для проведения измерений с помощью СВЧ термометра достаточно времени порядка одной минуты. Таким образом, появляется возможность проводить реальные измерения в повторно – кратковременном режиме со скважностью более 300, что резко снижает расход энергии бортового источника электропитания.

На Луне нет атмосферы, поэтому в точке посадки радиояркая температура небосвода постоянна и составляет около 3 К. Это дает возможность точной и стабильной самокалибровки прибора.

Следует отметить, что выбранная схема построения СВЧ термометра является чисто пассивной: прибор не содержит внутренних генераторов, излучает каких-либо сигналов и не может являться источником помех для других научных приборов и служебных систем космического аппарата.

Предполагаемые характеристики СВЧ термометра приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика	Величина
Флуктуационный порог, не более	0.25 К
Полоса частот	10...20 ГГц
Число частотных каналов	3
Ширина диаграммы направленности антенны	от 30 до 45 ⁰
Средняя мощность потребления	менее 5 мВт

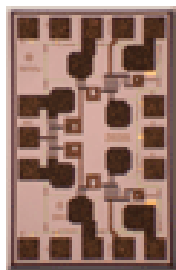
Конструктивные элементы прибора

В качестве входного СВЧ модулятора радиометра может быть использована микросхема переключателя на два направления (SPDT), например типа НМС347 фирмы Hittite (США). Параметры переключателя приведены в таблице 3, внешний вид микросхемы показан на рис.9 , а ее структура – на рис.10.

Таблица 3.

Параметр	Значение
Размеры кристалла, мм	1.3x0.85x0.1
Потери пропускания, дБ	2
Развязка, дБ	Более 40
Полоса частот, ГГц	До 20
Рабочий диапазон температур, ⁰ С	минус 40...+85

Рис.9 Внешний вид



микросхемы НМС347

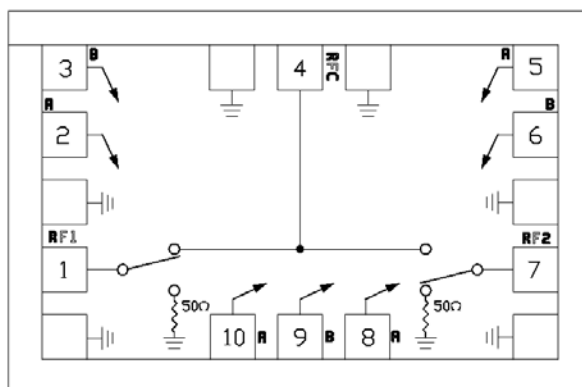


Рис.10 Структура микросхемы НМС347

В качестве СВЧ усилителя радиометра может быть применена микросхема типа НМС565 фирмы Hittite. Параметры микросхемы приведены в таблице 4, внешний вид показан на рис. 11.

Таблица 6.

Параметр	Значение
Размеры кристалла, мм	2.53x0.98x0.1
Коэффициент усиления, дБ	22
Коэффициент шума, дБ	2.3
Полоса частот, ГГц	2...20
Напряжение питания, В	3
Ток потребления, мА	55
Рабочий диапазон температур, °С	минус 55...+85

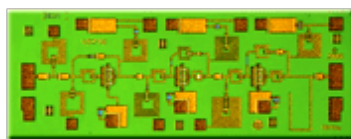


Рис. 11 Внешний вид микросхемы НМС565

Эта микросхема использует автоматическое смещение затворов транзисторов, поэтому не нуждается в дополнительном источнике напряжения смещения. Работа микросхемы в меньшей степени зависит от внешних условий, т.к. режим транзисторов устанавливается автоматически. Для работы микросхема требуется источник питания стандартного напряжения 3 В.

Работа прибора в ночное время

В штатном режиме посадочный аппарат во время лунной ночи (примерно 15 земных суток) находится в режим ожидания с минимальной потребляемой мощностью. Научная аппаратура на это время отключается от бортовой системы электропитания.

Работу СВЧ термометра можно не прерывать на период лунной ночи, если снабдить прибор автономным источником электропитания. Учитывая малую среднюю мощность, потребляемую прибором, такой источник может иметь достаточно малые габариты и массу. Анализ рынка существующих изделий показал, что наилучшими характеристиками обладает литий-тионил-хлоридный элемент типа LSH-20 производства фирмы SAFT (Франция-Германия). Батареи подобного типа

широко используются в зарубежных военных приборах. Параметры элемента LSH-20 приведены в таблице 7.

Таблица 7.

Габариты, мм	Ø33.5x62
Масса, г	100
Напряжение	3.6 В
Емкость при разряде током 2 мА при 20 ⁰ С	13 А-ч
Саморазряд	3% в год
Рабочая температура	От минус 60 до +85 ⁰ С
Потеря емкости при температуре минус 40 ⁰ С	50%
Материал корпуса	Нержавеющая сталь

Расчеты показывают, что емкость элемента LSH-20 в наихудших условиях (эксплуатация при минус 40⁰С после хранения в течение 3 лет) достаточна для работы СВЧ термометра в течение как минимум трех лунных ночей. Для экономии энергии автономного источника питания необходимо отключение прибора от питающей батареи между сеансами измерений. Это позволит использовать СВЧ термометр не только для определения суточных вариаций температуры лунного реголита, но и для оценки сезонных вариаций температуры в течение года.

Ведущий по теме: к.ф.-м.н. Скулачев Д.П. Тел. 495-333-4322.
e-mail: dskulach@mx.iki.rssi.ru.

ОКР «Спектр-УФ»

Продолжена работа над бортовым маршрутизатором (БМ-4) потоков научной информации и блоком управления служебным комплексом (БУСК) телескопа. Завершено изготовление и поставка макетов БМ-4. Завершено изготовление, проведены ПСИ и стыковочные испытания с технологическими образцами приборов БУНД и БУСК. Завершена доработка КД и технологического образца БУСК.

ОКР «Резонанс»

Продолжена работа над системой управления, сбора и передачи информации (СУСПИ). С положительным результатом проведены приемо-сдаточные и стыковочные испытания как с российскими, так и с иностранными приборами комплекса научной аппаратуры. Результаты работы над СУСПИ доложены на международных конференциях в г. Тарусе и Киеве.

ОКР «Ионосфера» и «Ионозонд»

Завершено изготовление ТО блока управления и сбора научной информации (БКУСНИ). Успешно проведены ПСИ и предварительные испытания со всеми приборами комплекса целевой аппаратуры. Также успешно проведены испытания со служебными системами космического аппарата – бортовым вычислительным комплексом (БВК) и радиокомплексом (РЛЦИ). Идет подготовка к испытаниям в составе КА на головном предприятии (ВНИИЭМ).

Завершен выпуск конструкторской документации на блок БКУСНИ-3 проекта «Ионозонд», изготовлены и проходят программно-аппаратную отладку узлы ТО БКУСНИ-3.

ОКР «Ионосфера» и «Ионозонд» (эксперимент «Плазма-Ф»)

18 июля 2011 г. был запущен высокоапогейный спутник Земли «Спектр-Р», на котором установлен комплекс научного эксперимента «Плазма-Ф». Комплекс включает в

себя монитор энергичных частиц МЭП, энергоспектрометр плазмы БМСВ, магнитометр ММФФ, систему управления и сбора научной информации ССНИ-2. Приборы (за исключением прибора ММФФ) непрерывно работают на орбите, выдавая качественно новую научную информацию с рекордно высоким временным разрешением. Система управления ССНИ-2 обеспечивает гибкое управление потоками информации, а наземный научный комплекс (ННК) обеспечивает быстрое получение в ИКИ РАН информации со спутника в сеансах связи.

В ИКИ РАН в 2012 году были выполнены работы по сопровождению сеансов связи и первичной обработке получаемой информации.

Публикации по теме:

1. Космическая миссия «Радиоастрон». Первые результаты. Авдеев В.Ю., ..., Чесалин Л.С.* ... и др. «Вестник» - научно-технический журнал НПО им. С.А. Лавочкина, 2012, №3, стр. 4-21.

2. Эксперимент «Плазма-Ф» – первые результаты работы Г.Н. Застенкер*, Л.М. Зеленый*, А.А. Петрукович*, Л.С. Чесалин*, В.Н. Назаров*, Е.А. Гаврилова*, А.В. Дьячков*, Я.И. Марков*, И.В. Колоскова*, М.О. Рязанцева*, О.М. Чугунова*, В.В. Храпченков*, Е.Е. Рязанова*, Ю.Н. Агафонов*, К. Кудела**, Я. Балаш**, Я. Шафранкова***, З. Немечек***, Л. Прех***. «Вестник» - научно-технический журнал НПО им. С.А. Лавочкина, 2012, №3, стр. 22-27.

3. Быстрые измерения параметров солнечного ветра с помощью прибора БМСВ. Застенкер Г.Н.* , Шафранкова Я.*** , Немечек З.*** , Прех Л.*** , Чермак И.*** , И. Ваверка*** , А. Комарек*** , Войта Я.³ , Чесалин Л.С.* , Каримов Б.Т.* , Агафонов Ю.Н.* , Бордкова Н.Л.* , Гаврилова Е.А.* , Гагуа Т. И.* , Гагуа И. Т.* , Далин П.А.* , Дьячков А.В.* , Колоскова И.В.* , Лейбов А.В.* , Семена Н.П.* , Чернов В.В.* , Марков Я.И.* , Рязанова Е.Е.* , Рязанцева М.О.*⁴ , Шевырев Н.Н.* , Храпченков В.В.* , Чугунова О.М.* , Юрасов А.С.*^{****} Направлена в журнал «Космические исследования».

4. Эксперимент «Плазма-Ф» на спутнике «Спектр-Р». Зеленый Л.М., Застенкер Г.Н., Петрукович А.А., Чесалин Л.С., Назаров В.Н., Прохоренко В.И., Ларионов Е.В. Направлена в журнал «Космические исследования».

5. Fast solar wind monitor (BMSW): Description and first results. Jana Safrankova***, Zdenek Nemecek***, Lubomir Prech***, Georgy N. Zastenker*, Ivo Cermak****, Lev Chesalin, Arnost Komarek***, Jakub Vaverka***, Martin Beranek***, Jiri Pavlu***, Lena Gavrilova*, Boris Karimov*, Arkadii Leibov*. Направлена в журнал Space Science Reviews

* Институт космических исследований РАН, Россия, г. Москва.

** Институт экспериментальной физики Словацкой Академии Наук, Словакия.

*** Карлов Университет, Чешская Республика.

**** Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ

***** CGC Instruments, Chemnitz, Germany

Анализ работоспособности аппаратуры и программного обеспечения канала передачи-приема данных комплекса ВИРК КА «Радиоастрон»

В январе 2012 года была выполнена работа по поиску источника ошибок в канале передачи данных от высокоинформативного радиокон комплекса (ВИРК) космического аппарата (КА) «Радиоастрон» и возможности доработки наземной части для обеспечения качественного приема информации. Для решения указанной задачи была разработана и изготовлена дополнительная система анализа и записи данных ВИРК. Использование созданной системы доказало, что бортовое оборудование КА «Радиоастрон» работает нормально, и прием качественных данных от объекта возможен при модификации существующей наземной системы приема. В результате этого эксперимента в АКЦ ФИАН была создана штатная система, позволившая добиться качественного приема и передачи данных.