

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. Научный руководитель Чулков И.В.

Раздел 6.1

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

6.1.1. Отработка технологии и ПМО массовой обработки данных, получаемых с помощью приборов КМСС, АСН и БОКЗ-М на борту КА «Метеор-М №1.

Отв.исп. к.т.н. Никитин А.В.

При отработке данных сканирующих систем МСУ-100 и МСУ-50 возникает проблема координатной привязки и совмещения изображений подстилающей поверхности, получаемых в трех спектральных каналах. Основная причина проблемы - угловые колебания строительных осей космического аппарата относительно его орбитальной системы координат.

Известно, что для координатной привязки, изображений, построенных по законам центрального проектирования, требуется определить координаты центра съемки и три угла наклона системы координат камеры относительно единой системы координат, то есть элементы внешнего ориентирования камеры.

В качестве этой системы координат следует принять геодезическую систему координат эллипсоида WGS-84, используемую для определения географических координат (долгота, широта) объектов подстилающей поверхности.

Использование данных Автономной системы навигации (АСН)

Для определения координат центра проекции следует использовать данные системы спутниковой навигации (прямоугольные координаты центра масс космического аппарата).

Для построения орбитальной системы координат следует использовать данные системы спутниковой навигации АСН (прямоугольные координаты и вектор линейной скорости).

Оси орбитальной системы координат расположены следующим образом:

Ось Z направлена от центра Земли к центру масс КА.

Ось X направлена по вектору линейной скорости КА.

Ось Y дополняет систему координат до правой тройки векторов.

Центр системы расположен в центре масс КА.

Использование данных БОКЗ-М

Для определения отклонений системы координат, определяемой направлением строительных осей КА, от орбитальной системы координат, построенной в текущий момент времени, используются данные об угловой ориентации осей прибора БОКЗ-М относительно инерциальной системы координат. При этом используется матрица перехода от системы координат прибора БОКЗ-М к связанной системе координат, а также учитывается поворот инерциальной системы координат на угол, определяемый звездным временем на

среднем гринвическом меридиане. По данным БОКЗ-М вычисляется матрица перехода от осей связанной системы координат к осям системы геодезической координат WGS-84.

Учитывая матрицу установки системы координат камеры МСУ относительно связанной системы координат, определяется для текущей строки изображения матрица перехода от системы координат камеры к системе координат эллипсоида WGS-84.

Использование данных КМСС

Так как съемочная информация поступает с камер МСУ с частотой 156.75 Гц, то возникает проблема сопоставления измерений БОКЗ-М, обновляемых каждые 3 с, АСН, обновляемых каждую секунду и МСУ, обновляемых каждые 6,4 мс.

Для увеличения частоты следования элементов внешнего ориентирования используется интерполяция данных о линейной и угловой ориентации полиномами 2-й степени.

Выходной информацией, используемой при координатной привязке, являются координаты центра съемки в системе координат WGS-84.

После получения элементов внешнего ориентирования в системе координат WGS-84 на момент времени формирования текущей строки выполняется трансформирование каждой строки изображения на поверхность эллипсоида WGS-84, которая затем отображается в заданной картографической проекции. Следует использовать UTM в качестве проекции для трансформирования. Для определения положения каждого элемента изображения используется файл геометрической калибровки, определяющий направление на каждый элемент строки ПЗС линейки текущего канала камеры МСУ в системе координат камеры.

Состав программно-математического обеспечения

1. Прием информации с помощью антенн наземного комплекса слежения за аппаратом.
2. Выделение из потока информации, поступающей с КА Метеор-М №1, данных приборов КМСС, БОКЗ-М и АСН
3. Построение навигационного файла, содержащего элементы внешнего ориентирования для каждой строки ПЗС линейки.
4. Трансформирование и координатная привязка изображений с использованием навигационного файла в проекции UTM.
5. Формирование файла геометрической калибровки по опорным точкам с известными географическими координатами.
6. Определение географических координат путем наземной стереосъемки объектов.

Разработанное программное обеспечение включено в потоковую обработку данных, принимаемых НЦОМЗ (см. рис. 1). Оно позволяет осуществлять координатную привязку каждого элемента с точностью до 0.5 км и достигать точности совмещения каналов до 200 м.

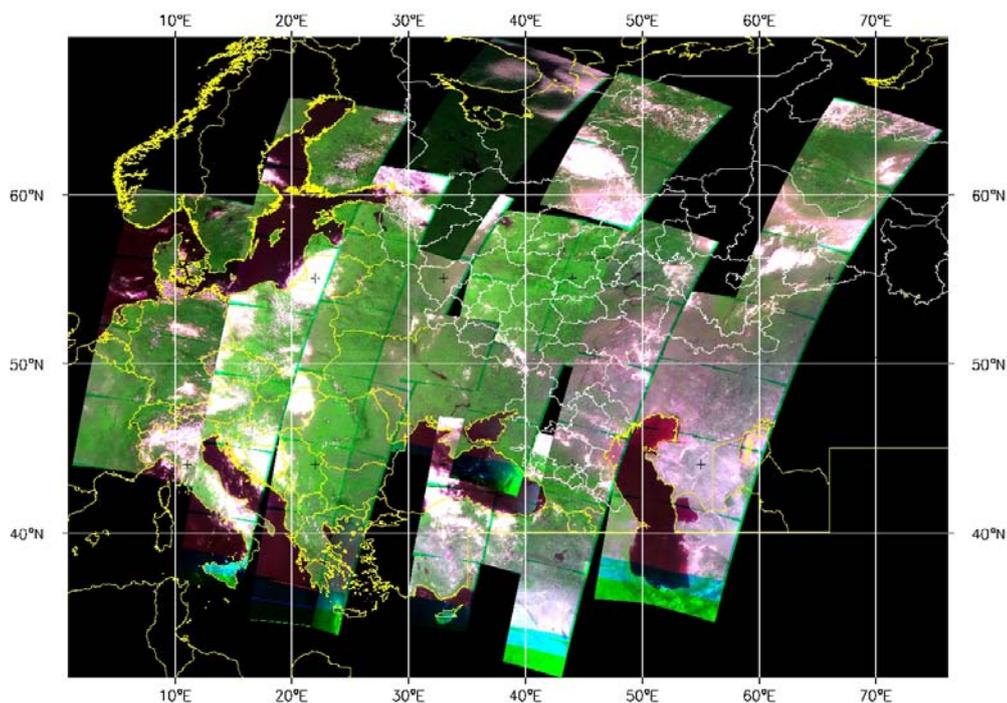


Рис. 1 Мозаика синтезированных изображений, полученных камерами МСУ-100. Область покрытия определяется видимостью антенны наземного пункта приема информации НЦОМЗ

Публикации по теме:

1. А.В. Никитин, Б.С. Дунаев, Т.В.Кондратьева, И.В. Полянский. Определение геометрических параметров многозональных сканирующих устройств МСУ-100 и МСУ-50 на лабораторном стенде и в условиях полета: Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов, Сборник трудов, Таруса 2010.
2. А.В. Никитин, Б.С. Дунаев, Т.В.Кондратьева, И.В. Полянский. Полетная и наземная геометрическая калибровка многозональных сканирующих устройств МСУ и МСУ-50: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса ISSN 2070-7401, Москва 2011
3. Р.Н. Гельман, А.В. Никитин. Аналитическая обработка снимков при наземной цифровой стереофотосъемке: Препринт ИКИ РАН Москва 2010.

6.1.2. Проект «Фобос-Грунт». Завершение отработки режима «Посадка» на основе данных «Телевизионной системы навигации и наведения».

Отв. исп. к.ф.-м.н. Жуков Б.С.

Программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО) режима «Посадка» Телевизионной системы навигации и наблюдения (ТСНН) разработано для поддержки посадки КА «Фобос-Грунт» на поверхность Фобоса. Оно может быть также использовано для управления посадкой других космических аппаратов на другие небесные тела.

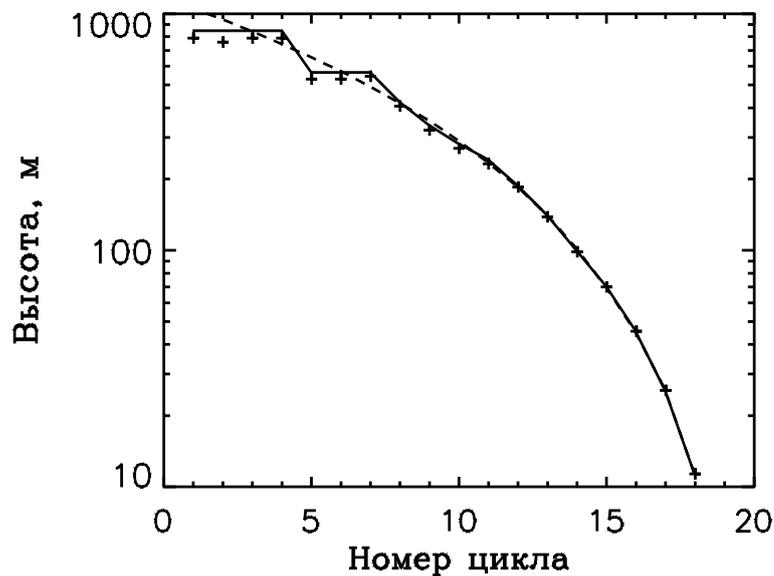
Режим «Посадка» ТСНН предусматривает измерение в реальном времени высоты и боковых смещений КА, построение карты неоднородности поверхности и выбор по ней оптимального места посадки, а также формирование репортажного кадра.

ПАО режима «Посадка» отработывалось на специальном стенде, где две камеры ТСНН снимали выводимые на экраны мониторов стереоизображения, разрешение и стереопараллакс которых соответствовали планируемой траектории спуска КА. На рис.1 показан пример результатов измерения высоты на участке снижения от ~1 км до ~10 м. За это время ТСНН выполняет 20 циклов измерений. На этом рисунке сплошная линия показывает измерение высоты на заданной на стенде траектории спуска, аппроксимирующей

реальную траекторию (штриховая линия). Реальные измерения высоты с помощью камер ТСНН, обозначенные крестиками, хорошо ложатся на график заданного изменения высоты. Ошибки измерений высоты уменьшаются от ~100 м на высоте 1 км до ~10 м на высоте 300 м и до 1-2 см на высоте 10 м.

Алгоритм построения карты неоднородности тестировался по имеющимся изображениям Фобоса и Луны высокого разрешения, а также по изображениям шероховатых поверхностей со структурой, близкой к структуре поверхности Фобоса. Тестирование показало, что получаемая карта неоднородности адекватно отображает опасные неровности видов поверхности, которые ожидаются на Фобосе (кратеры, борозды, положительные изломы рельефа, большие камни), и позволяет выбирать наиболее однородную площадку заданных размеров, избегая близости к указанным неровностям. В качестве примера рис.2 иллюстрирует построение карты неоднородности поверхности и выбор места посадки в предполагавшемся районе посадки КА «Фобос-Грунт».

В результате проведения работ отлажено ПАО режима «Посадка» и его взаимодей-



ствие с бортовым вычислительным комплексом КА «Фобос-Грунт».

Рис.1. Измерения высоты камерами ТСНН (крестики) для заданной траектории спуска (сплошная линия)

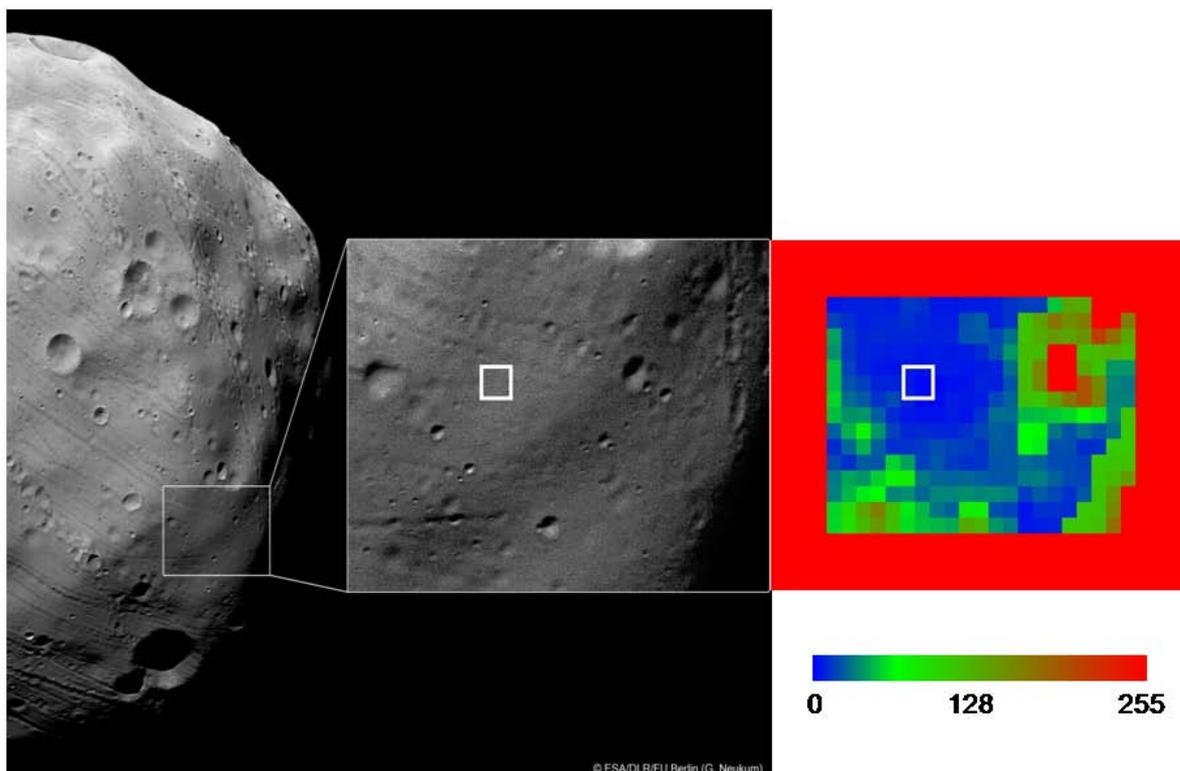


Рис.2. Построение карты неоднородности поверхности и выбор места посадки в предполагаемом районе посадки КА «Фобос-Грунт». Исходное изображение Фобоса (слева) получено HRSC-SRC на КА Mars-Express и имеет разрешение 4,4 м (предоставлено ESA/DLR/FU Berlin, G.Neukum). Его увеличенный фрагмент (в центре) соответствует предварительно выбранному району посадки. Карта неоднородности поверхности (справа) кодирует степень риска при посадке значениями от 0 до 255. На этом рисунке при увеличении кода риска от 0 до 255 цвет карты изменяется от синего к красному. Оптимальное место посадки отмечено белым квадратом.

Публикации по теме:

1. Б.С. Жуков, Р.В. Гордеев, В.А. Гришин, С.Б. Жуков, Е.В. Коломеец Отработка режима «Посадка» телевизионной системы навигации и наблюдения. Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции, Россия, Таруса, 13-16 сентября 2010 г. 2011. М.: ИКИ РАН, 330-337.
2. Б.С. Жуков, С.Б. Жуков. Алгоритм автономного выбора места посадки КА «Фобос-Грунт» по телевизионным изображениям Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. №2. 281-288.
3. Б.С. Жуков, С.Б. Жуков. Отработка алгоритма автономного выбора места посадки КА «Фобос-Грунт» по телевизионным изображениям Научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления», 15-17 марта 2011, М.: ИКИ РАН. Тезисы доклада
4. Б. С. Жуков, С. Б. Жуков, Н. И. Снеткова, Т. Р. Теплухина Проверка характеристик камер телевизионной системы навигации и наблюдения по результатам натурных съемок. Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сборник трудов Второй Всероссийской научно-

технической конференции, Россия, Таруса, 13-16 сентября 2010 г. 2011. М.: ИКИ РАН

5. С. Б. Жуков, Б. С. Жуков, В. А. Ваваев Радиометрическая калибровка камер телевизионной системы навигации и наблюдения. Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции, Россия, Таруса, 13-16 сентября 2010 г. 2011. М.: ИКИ РАН

6.1.4. Отработка технологического образца системы датчиков гида (СДГ) для проекта «Спектр-УФ».

Отв. исп. Воронков С.В., отд.57

Работы проводились с технологическим образцом системы датчика гида (ТО СДГ) (см. рисунок 1), в состав которого входит один блок обработки данных и три идентичных датчика гида.



Рисунок 1. Технологический образец СДГ

К основным задачам, решаемым при работе с технологическим образцом СДГ, относились следующие:

- выбор варианта схемной реализации видеотракта датчиков гида, оценка шумовых характеристик СДГ,
- выполнение теоретического расчета чувствительности СДГ,
- проведение натурных съемок и съемок на стенде-имитаторе звезды, сравнение результатов измерений и теоретических расчетов,
- пересчет полученных результатов для телескопа Т-170М,
- оценка параметров чувствительности СДГ при работе на Т-170М,
- моделирование распределения яркостей в изображениях звезд на ПЗС-матрицах ДГ, установленных на Т-170М, с учетом измеренных шумовых характеристик СДГ и оптической схемы телескопа,
- использование результатов моделирования для оценки позиционной чувствительности СДГ при перемещениях звезд по полю ПЗС-матриц.

Получены следующие результаты:

- 1 Измерены шумовые характеристики СДГ при использовании в ее составе датчиков гида с видеотрактами на базе аналого-цифрового преобразователя AD1671 (Analog

Devices). Значение среднеквадратичного отклонения суммарного шума электронного тракта СДГ составило 30 электронов. Измерены шумовые характеристики СДГ при использовании в ее составе датчиков гида с видеотрактами на базе видеопроцессора AD9814 (Analog Devices). Значение среднеквадратичного отклонения суммарного шума электронного тракта СДГ составило 123 электрона. На основе полученных результатов был выбран тип видеотракта ДГ, обеспечивающий минимальные шумовые характеристики – на базе АЦП AD1671.

2 Выполнен теоретический фотометрический расчет энергетических характеристик СДГ. Результаты теоретического расчета сравнивались с результатами измерений на стенде «Имитатор звезды» и результатами натуральных съемок небесной сферы. Показано, что отклонения теоретических и измеренных значений при съемке звезд спектральных классов А0 – М0 лежат в пределах 35%, что хорошо коррелируется с результатами измерений на стенде «Имитатор звезды». Наблюдаемое отклонение измеренных результатов от теоретических обусловлено недостаточным знанием характеристик пропускания используемого при съемках технологического объектива, а также невозможностью точного учета в расчетах состояния атмосферы. На основе анализа измерений сделаны выводы о правильности используемых для теоретических расчетов формул, что позволяет экстраполировать полученные результаты на ситуацию работы СДГ в составе телескопа Т-170М в космосе.

3 С учетом измеренных значений шумовых характеристик СДГ, параметров видеотракта СДГ и оптической схемы телескопа Т-170М проведены расчеты интегральных яркостей, которые будут образованы на ПЗС-матрицах ДГ звездами со звездными величинами $m = +16$, $m = +17$ – предельными с точки зрения чувствительности системы при работе на Т-170М, а также ожидаемые соотношения «сигнал/шум» для указанных звезд. Расчеты проводились для различных значений коэффициентов усиления, используемых в ДГ. В результате было определено, что изменение коэффициента усиления практически не сказывается на отношении сигнал/шум, а интегральные яркости звезд на ПЗС возрастают с увеличением коэффициента усиления. С этой точки зрения оптимальным значением коэффициента является 15, при этом соотношение «сигнал/шум» для звезд 16-й звездной величины будет меняться от 74 до 148 в зависимости от их спектрального класса. Для звезды 17-й звездной величины этот диапазон составит 30 – 59. Полученные результаты подтверждают, что СДГ в составе телескопа Т-170М будет способна решать целевую задачу при работе по самым слабым звездам до 17-й звездной величины, обеспечивая при этом соотношение «сигнал/шум» ≥ 30 .

4 Учитывая, что изображения на ПЗС-матрицах ДГ будут формироваться с помощью оптической системы не существующего в настоящий момент телескопа, для разработчиков СДГ представляется важным получить предварительную оценку вида распределения освещенностей в изображениях звезд, которые будут иметь место в космическом полете. Для этого в пакете моделирования Zemax были проведены соответствующие расчеты для изображений звезд, расположенных в разных частях ПЗС. Для обработки полученных изображений было создано программное обеспечение, позволяющее их оцифровывать, моделировать перемещение по строкам и столбцам ПЗС-матрицы, рассчитывать координаты энергетических центров и ошибки определения этих координат. С использованием ПО были рассчитаны методические и случайные ошибки определения положений энергетических центров звезд при их последовательном сдвиге внутри пиксела ПЗС-матрицы с шагом 1,6 мкм. Результаты расчетов показывают, что если распределения освещенностей в изображениях звезд на ПЗС-матрицах ДГ в космосе будут близки к расчетным, то при работе СДГ среднеквадратическая суммарная ошибка определения координат энергетических центров изображений звезд не превысит 0,01 угл.сек., что соответствует требованиям технического задания на СДГ.

5 Для проведения полунатурного моделирования работы СДГ создан специальный стенд, позволяющий моделировать на экране ЖК-монитора движение звезд различ-

ных участков небесной сферы размером 10x10 угловых минут. В настоящее время проводятся работы на стенде, в ходе которых будут получены зависимости точностных характеристик СДГ от галактической широты, влияние дефектов ПЗС-матрицы на точность определения угловых параметров и т.п.

Публикации по теме:

1. А.С. Шугаров, С.В. Воронков, Н.В. Чупина, А.Э. Пискунов, Н.В. Харченко Экспериментальная проверка фотометрической системы Мастер Каталога и чувствительности макета системы датчиков гида проекта ВКО-УФ («Спектр-УФ»). Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции, Россия, Таруса, 13-16 сентября 2010 г. 2011. М.: ИКИ РАН,
2. Е.В. Белинская, С.В. Воронков, И.Ю. Катасонов, Е.В. Коломеец, В.А. Шамис Программно-аппаратные средства наземной отработки системы датчиков гида телескопа Т-170М Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции, Россия, Таруса, 13-16 сентября 2010 г. 2011. М.: ИКИ РАН,
3. С.В. Воронков, Б.С. Дунаев, А.В. Никитин, В.А. Шамис Средства наземной отладки астроприборов в составе комплексных стендов Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции, Россия, Таруса, 13-16 сентября 2010 г. 2011. М.: ИКИ РАН,

Создание многофункционального приемопередающего модуля в диапазоне 60 ГГц.

Разработаны принципы построения и технология изготовления основных узлов систем связи в 5 мм диапазоне длин волн (60 ГГц). Изготовлены и исследованы ключевые компоненты систем связи 60 ГГц диапазона, такие как: малошумящий усилитель (МШУ), усилитель мощности (УМ), преобразователь частоты (СМ), синтезатор опорного сигнала (СИН). Получены следующие параметры разработанных компонент: коэффициент шума МШУ - менее 4 дБ; выходная мощность РА – 100 мВт; фазовый шум СИН – менее -95 дВс/Hz при отстройке от несущей на 10 kHz.

В настоящее время системы связи в диапазоне 5 мм длин волн интенсивно развиваются во всем мире [1]. Особенностью диапазона 60 ГГц является значительное атмосферное поглощение (15 дБ/км), обусловленное квантовыми переходами в молекулярном кислороде атмосферы. Это позволяет создавать системы скрытой связи между различными объектами наземного и космического базирования. Предполагаемая блок-схема СВЧ части приемо-передающего модуля (ППМ) диапазона 60 ГГц представлена на Рис.1.

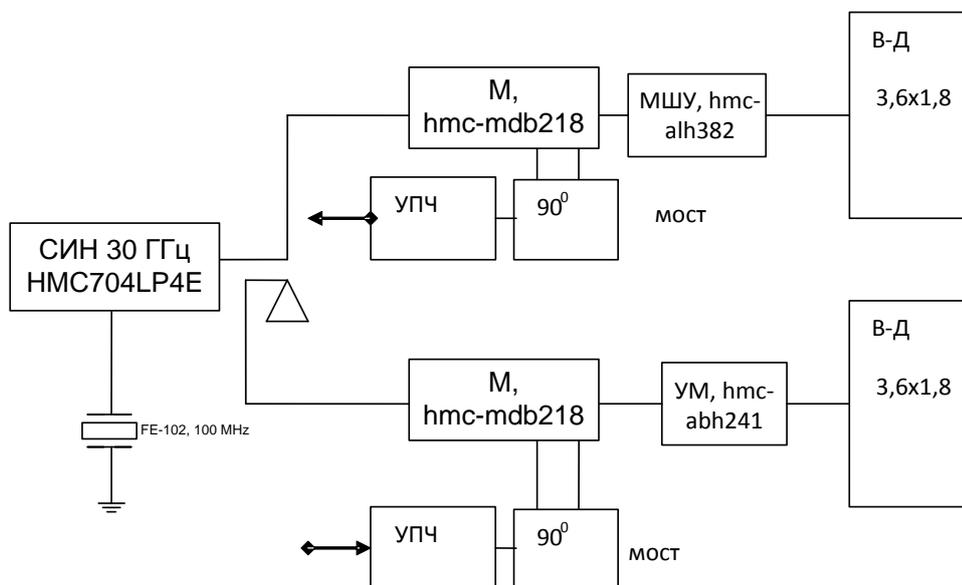
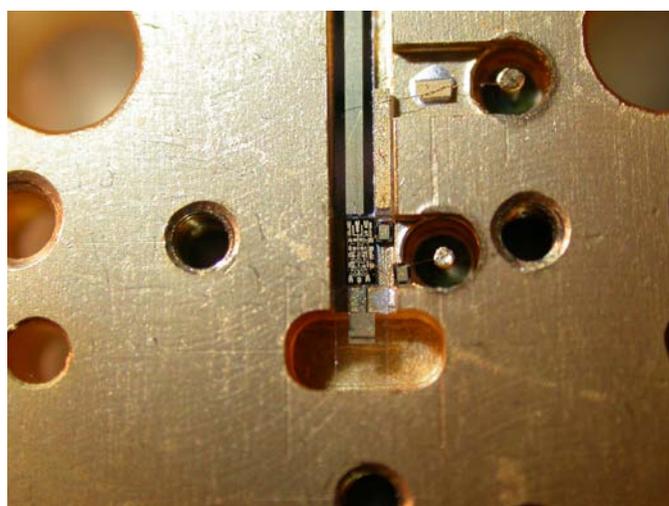


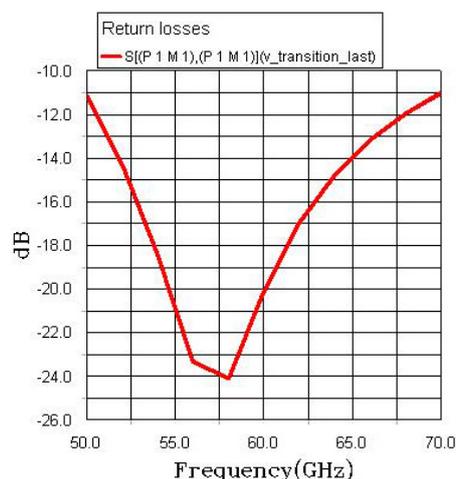
Рис.1. Блок-схема СВЧ части ППМ диапазона 60 ГГц.

В ППМ применены промышленно выпускаемые монолитные микросхемы диапазона 60 ГГц. МШУ и УМ выполнены на микросхемах hmc-alh382 и hmc-abh241 соответственно. В смесителе использована микросхема hmc-mdb218, которой требуется гетеродин на половинной частоте. Сигнал гетеродина на частоте 30 ГГц вырабатывается малозумящим синтезатором hmc704lp4. В качестве опорного генератора синтезатора используется малозумящий кварцевый генератор FE-102A, работающий на частоте 100 МГц.

МШУ и УМ выполняются в коаксиально - волноводном исполнении. Для уменьшения потерь сигнала вход МШУ, и выход УМ делаются волноводными. Для согласования волновода с входом МШУ или выходом УМ был создан волноводно-полосковый переход (ВПП). На Рис.2а представлена фотография МШУ с ВПП, характеристики ВПП представлены на Рис.2б.



(А)



(Б)

Рис.2. Фотография сборки МШУ (А) и характеристика ВПП (Б).

На сборке МШУ, представленной на Рис.2(А), видны: входной волновод сечением 3,6 x 1,8 мм, ВПП на кварце толщиной 100 мкм, монолитная микросхема HMC-ALH382 и выходной полосок. На фотографии видны также штыри питания, по которым подается напряжение питания на стоки и затворы микросхемы. МШУ работает в полосе частот 57-63

ГГц, коэффициент шума составляет около 4 дБ, коэффициент усиления около 18 дБ. Выход МШУ выполнен коаксиальным.

Аналогично выполняется УМ на микросхеме НМС-АВН241. Вход УМ – коаксиальный, выход - волноводный. Коэффициент усиления – 23 дБ: выходная мощность – около 100 мВт.

В ППМ используется векторный I-Q преобразователь частоты НМС-MDB218, что позволяет реализовать фазовое подавление зеркального канала. Преобразователю частоты требуется гетеродин на половинной частоте.

ППМ предполагается использовать в цифровых системах связи с многопозиционной фазовой модуляцией. Такие системы связи предъявляют высокие требования к фазовым шумам гетеродина, которые должны быть не хуже $-95 \text{ dBc/Hz @ } 10 \text{ kHz}$. Гетеродин выполнен на полевом транзисторе [2] и синхронизирован схемой ФАПЧ, выполненной на малошумящем синтезаторе НМС704LP4Е. Опорный сигнал для синтезатора создается малошумящим кварцевым генератором FE-102А, работающим на частоте 100 МГц, имеющим фазовые шумы не хуже $-172 \text{ dBc/Hz @ } 10 \text{ kHz}$. Спектр сигнала гетеродина представлен на Рис.3. Гетеродин работает на 30,2 ГГц. Из Рис.3 следует, что уровень фазовых шумов гетеродина при отстройке от несущей 1 кГц и 10 кГц составляет около -95 dBc/Hz . Синтезатор НМС704LP4Е может работать в режиме дробного деления, что позволяет менять частоту гетеродина с шагом около 100 Гц.

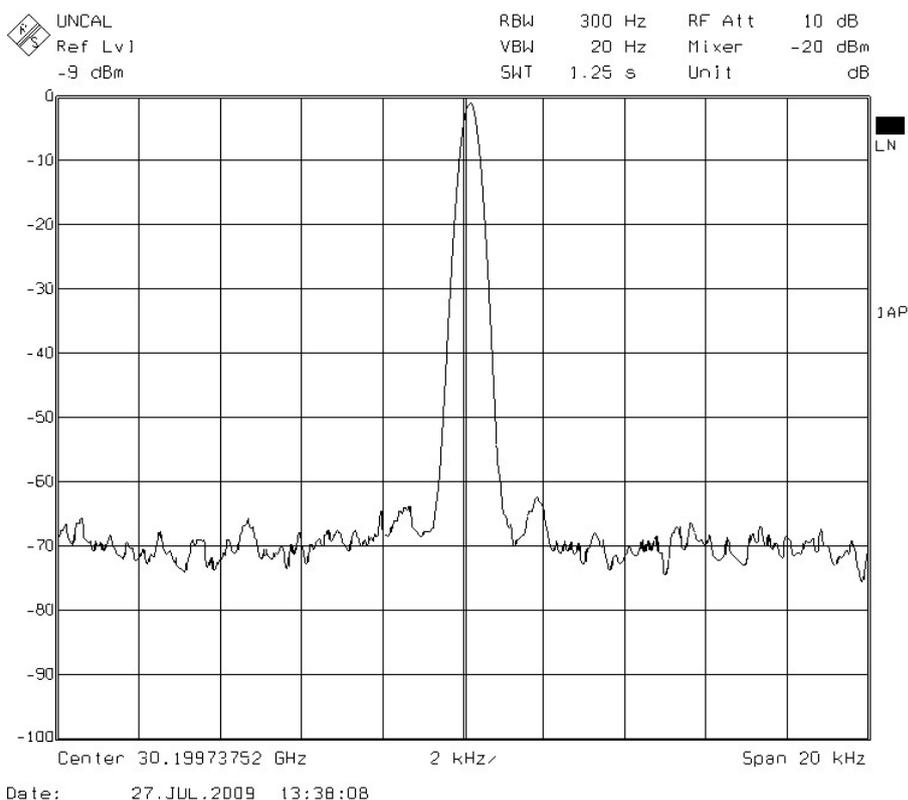


Рис.3. Измеренный спектр фазовых шумов гетеродина на частоте 30,2 ГГц.

Разработаны и исследованы основные СВЧ узлы цифровых систем связи 5 мм диапазона длин волн. Данная разработка стала возможной благодаря появлению на рынке необходимого набора монолитных микросхем в диапазоне частот 55-65 ГГц, а также малошумящих синтезаторов и транзисторных генераторов, работающих в диапазоне 27-33 ГГц.

Разработанные элементы позволяют создавать цифровые системы связи со скоростью передачи данных порядка 1 Гбит/сек. Большое поглощение в атмосфере Земли позволяет делать скрытные линии связи наземного или космического размещения.

[1] *Su-Khiong Yong, Pengfei Xia, Alberto Valdes Garcia. 60GHz Technology for Gbps LAN and WPAN: From Theory to Practice // Wiley Ebook, 22 Jan 2011.*

- [2] *Kosov A.S. et al The Ka-band Voltage Control Oscillator with Linear Frequency Tuning // Proceeding of the CriMiCo2004 Microwaves Conference, Sevastopol, 13-17 September, 2004, pp. 106-107.*

Создание действующего образца СВЧ части твердотельного радиолокатора (РЛ) мм диапазона длин волн.

В отчете предлагаются принципы обнаружения объектов, оснащенных радиолокатором, основанные на регистрации их излучения. Обосновываются характеристики РМ канала, предназначенного для регистрации этого излучения.

1. Технический облик пассивного канала прибора «Радиолокатор мм диапазона длин волн».

Пассивный канала прибора предназначен для обнаружения объектов путем регистрации падающего электромагнитного излучения в диапазоне 90-100 ГГц и определения направления на излучающий объект. Регистрация падающего излучения осуществляется высокочувствительным многоканальным приемником. Каждый канал приемника следит за определенной областью зоны верхней полусферы. Таким образом, осуществляется параллельное наблюдение за требуемой зоной верхней полусферы. Прибора состоит из трех основных частей:

1. Многоканальный радиометрический приемник.
2. Антенная система.
3. Блок обработки сигналов.

2. Обоснование характеристик приемного модуля

В настоящее время радиометрический канал может быть выполнен по супергетеродинной схеме, так как создание приемника прямого усиления требуются монолитные интегральные схемы диапазона 80-100 ГГц, производимые в США, которые в настоящее время недоступны. Проблемой создания супергетеродинного приемного модуля является формирование сигнала гетеродина и разводка сигнала гетеродина по элементам многоканального радиометрического приемника. Данная проблема может быть решена использованием субгармонических преобразователей частоты, у которых частота гетеродина выбирается равной $F_0/3$ или $F_0/2$, где F_0 – центральная частота сигнала. Предполагается выполнять РМ канал в виде набора приемных линеек, ориентировочно 4 линейки в РМ канале.

Для исключения взаимных помех предполагается использовать один гетеродин для всей приемных модулей. Наиболее целесообразно применить гетеродин на частоте 15 ГГц, а в каждом приемнике установить монолитную микросхему «удвоитель – усилитель». В качестве такой микросхемы может быть использована продукция фирмы "Hittite Microwaves" типа НМС578. Микросхема НМС578 работает при мощности входного сигнала от 2 мВт. Мощность на выходе около 50 мВт. Потребляемая мощность 0,4 Вт (5 В, 80 мА).

Для обнаружения сигнала в диапазоне частот 80-100 ГГц необходимо, чтобы диапазон промежуточных частот был от 0 до 10 ГГц. В этом случае зеркальный канал будет принимать сигнала в диапазоне от 80 до 90 ГГц, а сигнальный канал в диапазоне от 90 до 100 ГГц.

3. Радиометрические приемники.

На Рис.4 приведена блок-схема одной линейки РМ канала, выполненного по супергетеродинной схеме с частотой гетеродина $F_0/3$. Контрастным выделен реализованный в эксперименте пассивный канал прибора.

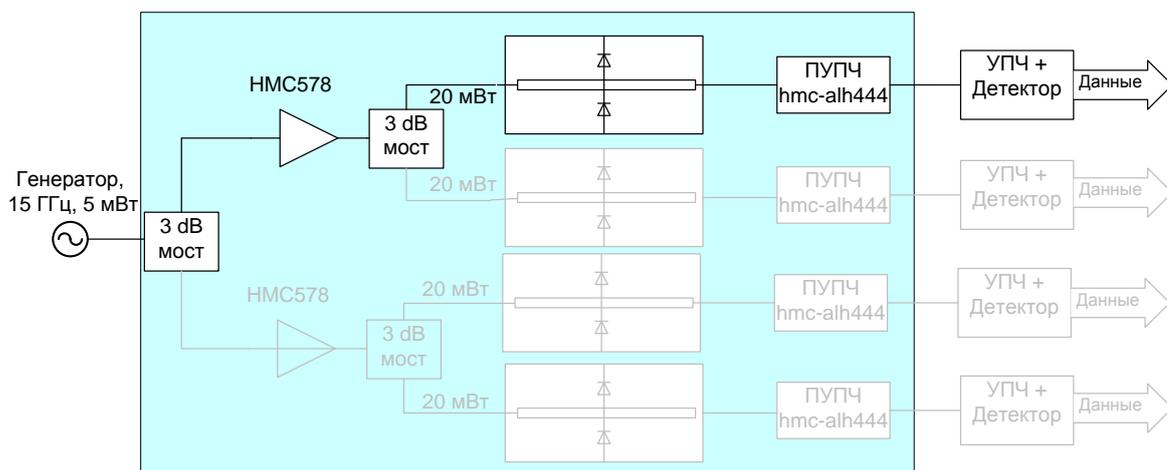


Рис.4. Блок-схема линейки РМ канала обнаружителя

Основой приемника пассивного канала является балансный смеситель диапазона 80-100 ГГц, с частотой гетеродина около 30 ГГц. В качестве диодов используются смесительные диоды, типа DBES105a, производства United Monolithic Semiconductors (UMS), Франция.

В Таблице 1 приведены параметры диода. На Рис.5 представлена конструкция диода и приведены размеры в мкм. Диод выполнен в виде последовательной диодной пары и предназначен для включения в микрополосковую линию.

Таблица 1. Параметры диода DBES105a

$R_s(\Omega)$	$C_{jo}(fF)$ (0V)	$C_{par}(fF)$	$F_{co}(THz)$
4.4	9.5	5.8	2.4

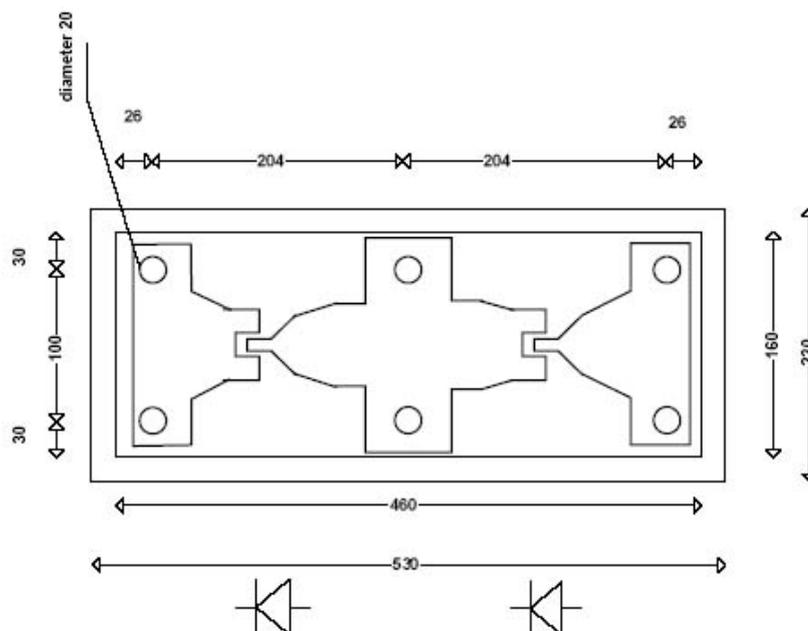


Рис.5. Геометрические размеры диода DBES105a

Были выполнены расчеты параметров субгармонического преобразователя частоты с помощью программы AWR Microwave Studio. Для моделирования преобразователя частоты использовалась эквивалентная схема, представленная на Рис.6.

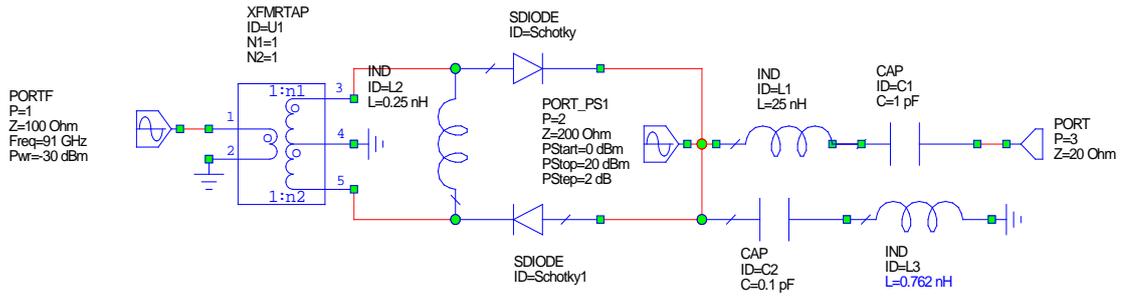


Рис.6. Эквивалентная схема субгармонического преобразователя частоты с гетеродином на частоте $F_0/3$.

Расчеты зависимости потерь преобразования от мощности гетеродина приведены на Рис.7. Расчеты показывают, что минимальные потери преобразования, около 12 дБ, реализуются при мощности гетеродина около 10 мВт. Величина потерь преобразования мало меняется в диапазоне мощности гетеродина от 10 до 30 мВт.

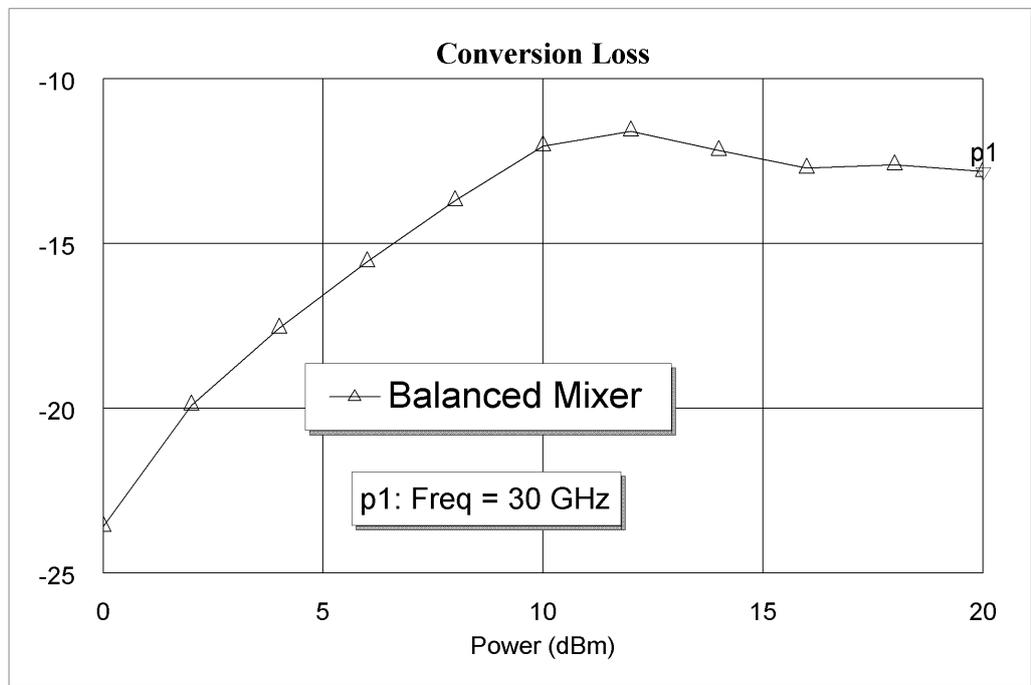


Рис.7. Зависимость потерь преобразования субгармонического преобразователя частоты с гетеродином на частоте $F_0/3$ от мощности гетеродина.

Для проверки результатов расчетов был создан субгармонический преобразователь частоты на упомянутых выше компонентах. Преобразователь был выполнен на плате из кварца толщиной 100 мкм. Кварцевая плата устанавливается в волноводную вставку. Размер волновода (2,4 x 1,2 мм) соответствует диапазону частот принимаемых сигналов от 80 до 100 ГГц. На Рис.8 представлена фотография субгармонического преобразователя частоты. Слева от кварцевой платы сформирована схема гетеродина на частоте около 30 ГГц, выполненная на транзисторе типа NE321000, производства фирмы NEC. Справа от кварцевой платы находится выход ПЧ. Для режекции сигнала ПЧ от сигнала гетеродина применен фильтр нижних частот, выполненный на кварцевой плате. Входной сигнал развязан с цепью ПЧ за счет применения балансной схемы преобразователя частоты.

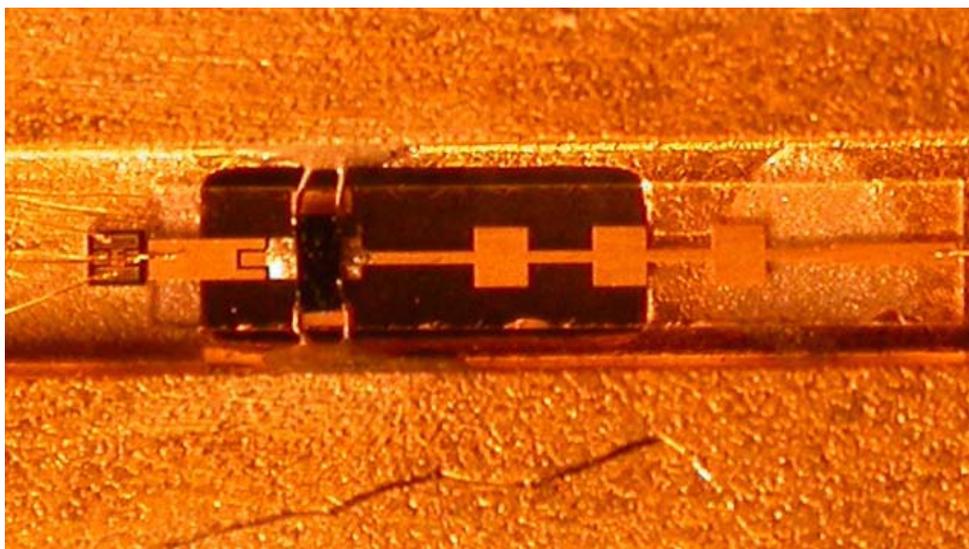


Рис.8. Фотография смесителя на диоде DBES105a и гетеродина на частоте $F_0/3$.

Сигнал промежуточной частоты поступает на ПУПЧ, выполненный на микросхеме НМС-ALN444. Диапазон рабочих частот ПУПЧ от 1 до 12 ГГц. Коэффициент шума и коэффициент усиления ПУПЧ составляют 1,75 дБ и 17 дБ соответственно на частоте 10 ГГц. Потребление ПУПЧ 0,28 Вт (5 В, 55 мА).

Измерение параметров преобразователя частоты подтвердили расчетные значения, приведенные на Рис.7 Измеренные значения потерь преобразования около 13 дБ. Коэффициент шума приемного канала, включающий шумы ПУПЧ, около 15 дБ.

В результате выполненной работы был создан и испытан пассивный канал радиолокатора мм диапазона длин волн со следующими параметрами:

- Шумовая температура на входе ПУПЧ – 450 К.
- Коэффициент передачи преобразователя частоты – -13 дБ
- Шумовая полоса по входу ПУПЧ – 10 ГГц.
- Шумовая полоса по выходу детектора – 1 кГц

Поскольку время интегрирования сравнительно маленькое (1 ms), то оптимальной схемой радиометрического приемника является компенсационная схема (total power).

[1] G. P. Gauthier, W. Y. Ali-Ahmad, T. P. Budka, D. F. Filipovic, and G. M. Rebeiz, “A uniplanar 90-GHz Schottky-diode millimeter-wave receiver,” *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, pp. 1669–1672, July 1995.

[2] G. P. Gauthier, W. Y. Ali-Ahmad, T. P. Budka, D. F. Filipovic, and G. M. Rebeiz, “A uniplanar 90 GHz Schottky-diode millimeter wave receiver,” *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, pp. 1669–1672, July 1995.

[3] A.S. Kosov, W. Randeu, H. Schreiber, Dmitri Sculachev, “Ka-band Radar, intended for avalanche detection and monitoring”, 30th European Microwave Conference, Paris, 3-7 October, 2000

Поиск литературных данных по вторичной электрон-ионной эмиссии (ВЭИЭ) из пленок различных металлов при облучении потоком ионов. Начать формирование соответствующей базы экспериментальных данных по ВЭИЭ для различных быстрых ионов с характерными энергиями порядка МэВ.

В 2011 году проводился дополнительный поиск литературных данных по параметрам вторичной электрон-ионной эмиссии (ВЭИЭ) из пленок различных металлов при облучении потоком ионов с характерными энергиями порядка МэВ. На их основе была продолжена разработка аналитических формул зависимостей от энергии быстрых ионов параметров

торможения при их прохождении через твердое вещество (тормозная способность, длина свободного пробега, эффективная толщина наноразмерных слоев вторичной электронно-ионной эмиссии и т.д.). Эти параметры необходимы при последующих расчетах, связанных с моделированием характеристик ион-электронной эмиссии включая энергетические спектры ион-электронной эмиссии, порождаемой прохождением быстрых ионов через вещество из тонких пленок бинарных токовых ячеек эмиттера вторично-эмиссионного радиоизотопного источника тока (ВЭРИИТ), с учетом ее зависимости от величины поверхностного потенциального барьера для эмиттируемых из наноразмерных пленок электронов. Это позволит оптимизировать конструкционные характеристики бинарных ячеек ВЭРИИТ для достижения максимального к.п.д. преобразования кинетической энергии быстрых ионов в электрическую источника тока. Ранее было показано, что выделяемая во внешней нагрузке батареи ВЭРИИТ мощность имеет максимум при некоторых значениях исходных параметров. 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, планируемая к публикации в журнале "Вопросы атомной науки и техники. Серия Плазменная электроника". Отметим, что в ННЦ "ХФТИ" НАНУ и Харьковском университете им. Каразина имеются возможности для проведения экспериментальных работ включая создание бинарных ячеек наноразмерных толщин, определения характеристик вторичной ион-электронной эмиссии. Кроме того в декабре 2011 года начнутся переговоры с отделением фирмы Ниссан в Москве о возможности экспериментальных работ по данной проблеме с их участием в финансировании этих исследований.

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

Прибор ДПК-ИПИ был предназначен для установки на российском сегменте Международной космической станции МКС – модуле РС МКС. Экземпляр прибора ДПК-ИПИ для КДИ был изготовлен и готов для проведения испытаний в начале 2011 г. В РКК «Энергия» было принято решение о переносе места установки прибора на лабораторный модуль МЛМ. В настоящее время происходит уточнение места установки прибора и параметров его сопряжения с системами МКС. Это изменение требует существенной доработки прибора. Проведение испытаний прибора перенесено на конец 2012 года.

Эксперимент «Плазма-Ф» работает на орбите

18 июля 2011 г. был запущен высокоапогейный спутник Земли «Спектр-Р», на котором установлен комплекс научного эксперимента «Плазма-Ф». Этот комплекс включает в себя монитор энергичных частиц МЭП, энергоспектрометр плазмы БМСВ, магнитометр ММФФ, систему сбора научной информации ССНИ-2. Эти приборы были включены после 05.07.2011 г. и с тех пор (за исключением прибора ММФФ) непрерывно работают на орбите выдавая качественно новую научную информацию с рекордно высоким временным разрешением. Прибор ССНИ-2 обеспечивает гибкое управление потоками информации, а наземный научный комплекс (ННК) обеспечивает быстрое получение в ИКИ информации со спутника в сеансах связи.

Первые результаты работы комплекса «Плазма-Ф» уже опубликованы в статье Застенкер Г.Н., Зеленый Л.М., Петрукович А.А., Назаров В.Н., Чесалин Л.С. и др., «Загадки солнечного ветра», журнал «Российский космос», №10, 2011 г. стр. 26-31.

Разработка устройств помехозащищенного кодирования для высокоскоростных каналов передачи информации с космических аппаратов.

В ИКИ РАН завершен важный этап исследований и разработки уникальных алгоритмов многопорогового декодирования (МПД) для сверхвысокоскоростной передачи, записи и особо надёжного хранения цифровых символьных потоков цифровых данных при наличии большого уровня шума. Эти результаты – запатентованные открытия в области теории помехоустойчивого кодирования и развиваются только в ИКИ РАН. Символьные декодеры работают на $2 \div 4$ порядка быстрее при одновременно (!) достигаемой на $3 \div 5$ большей достоверности записи и хранения. Это уникальный случай в истории цифровой обработки данных.

Реализация комплексной программы экспериментальной отработки космического эксперимента «Микроспутник».

Космический эксперимент (КЭ) «Микроспутник» предназначен для детального исследования одного из самых загадочных природных явлений - атмосферных грозных разрядов, несмотря на их высокую частоту проявления и наблюдений.

Подобный проект Российской академии наук до настоящего времени как в России, так и нигде в мире не проводился, несмотря на возрастающий интерес к проблеме происхождения и механизма разрядов в верхних слоях атмосферы. Входящий в КНА «Гроза» МВК – магнитно-волновой комплекс (0.1-40 кГц) – (Украина, Венгрия) направлен также на анализ ряда электромагнитных параметров космической погоды в ионосфере.

За отчётный период проведены все квалификационные электрические и эксплуатационные испытания технологического (ТО) и лётного (ЛО) образцов как КНА «Гроза», так и всего микроспутника, подтвердившие возможность решения поставленных целей. 02 ноября 2011г. микроспутник «Чибис-М» транспортно-грузовым кораблём (ТГК) «Прогресс М-13М» доставлен на Российский сегмент МКС. В начале 2012 запланированы: загрузка транспортно-пускового контейнера (ТПК) с «Чибис-М» в ТГК; отделение ТГК от МКС; подъём ТГК на высоту ~ 500 км; выход «Чибис-М» из ТПК; начало автономной работы «Чибис-М» на орбите.

Руководитель работ от отд. № 54 – Климов С.И., проф., д.ф.-м.н., т.: 333-11-00, sklimov@iki.rssi.ru

Бондаренко, А.В., Л. Боднар, Г.К. Гарипов, В.М. Готлиб, Л.М. Зелёный, В.Н. Каредин, С.И. Климов, В.М. Козлов, И.В. Козлов, В.Е. Корепанов, Д.И. Новиков, В.Г. Родин, С.И. Свертилов, И.В. Яшин. Комплекс научной аппаратуры «Гроза» на микроспутнике «Чибис-М». Шестая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" 14 – 18 февраля 2011 г., ИКИ РАН, с. 56-57. <http://solarwind.cosmos.ru/txt/2011/conf2011thesis.pdf>
Гуревич, А.В., Л.М.Зелёный, С.И.Климов. Космическая миссия «Чибис-М». Экология и жизнь 7(116)'2011, с. 50-56.

Раздел 6.3

Разработка высоконадежных систем управления научной аппаратурой

6.3.1. Разработка блока управления научными приборами для проекта «Луна-Ресурс»

Рук. Чулков И.В., исп. Ануфрейчик К.В., отд. 71

Основной задачей блока управления и сбора научной информации (БУНИ) проекта «Луна-Ресурс» является сбор научной и служебной информации от научных приборов и временное хранение собранной информации в модуле долговременной памяти (ДЗУ) для последующей передачи ее на Землю по радиоканалу.

Кроме сбора и хранения информации блок БУНИ выполняет функции коммутации питания для приборов научной аппаратуры и передачи в приборы команд управления и меток времени, получаемых от бортового комплекса.

Внешний вид блока БУНИ представлен на рисунках 1 и 2.

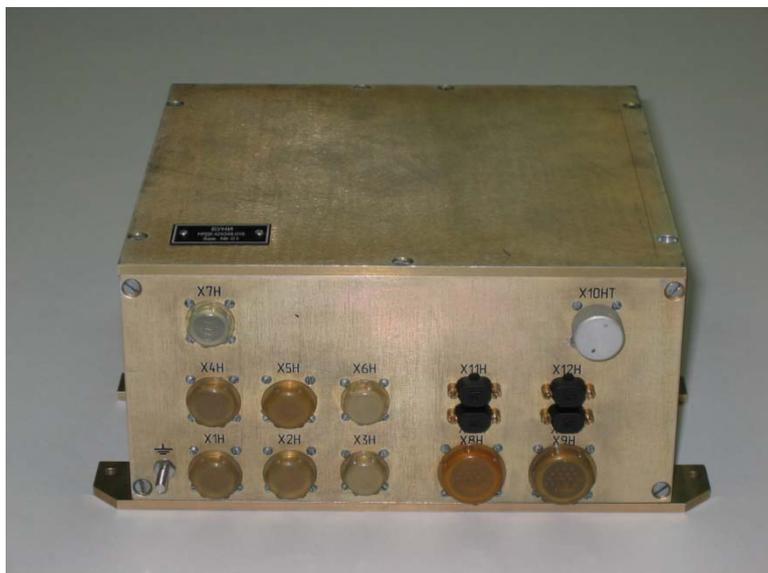


Рисунок 1 - Внешний вид БУНИ (передняя панель)



Рисунок 2 - Внешний вид БУНИ (задняя панель)

Для связи с научными приборами в БУНИ используются низкоскоростной и высокоскоростной интерфейсы, построенные на основе интерфейсов RS-422/485.

По низкоскоростному интерфейсу обеспечивается скорость обмена 9600 бит/с, а по высокоскоростному интерфейсу, в зависимости от потребности конкретного прибора, обеспечиваются скорости обмена 125 000, 1000 000 и 6 000000 бит/с. Программное обеспечение БУНИ позволяет использовать различную скорость обмена на прием и передачу по высокоскоростному интерфейсу.

Блок БУНИ поддерживает одновременный обмен информацией с 14-ю приборами, из которых 8 используют высокоскоростной интерфейс, а 6 – низкоскоростной.

Интерфейс радиоканала, используемый в проекте «Луна-Ресурс», построен на основе стандарта LVDS и обеспечивает скорость обмена с бортовым радиокомплексом – 512 кбит/с.

В 2011 г были изготовлены макеты прибора для экспериментальной отработки космического аппарата (натурно-габаритно-массовый макет и тепловой эквивалент).

С помощью специально разработанной контрольно-испытательной аппаратуры (КИА БУНИ) на технологическом образце прибора проводилась программно-аппаратная отработка интерфейсов. Тестовые проверки подтвердили выполнение заявленных характеристик прибора для всех типов интерфейсов.

В декабре 2011 г. были проведены предварительные стыковки блока БУНИ с прибором ЛАЗМА-Р по высокоскоростному интерфейсу.

6.3.4. Создание бортовых маршрутизаторов для комплексов научной аппаратуры на основе технологии SpaceWire.

Рук. Чулков И.В., исп. Соловьев К.Ю., отд. 71

Технология SpaceWire представляет собой технологию коммуникации, разработанную специально для применения в бортовых системах аэрокосмических аппаратов. Данная технология была разработана с учетом высоких требований к скоростям передачи данных, отказоустойчивости, энергопотреблению, электромагнитной совместимости и другим характеристикам. Технология описывается стандартом ECSS-E-50-12A. Сетевая архитектура технологии SpaceWire предполагает наличие в сети абонентов и узлов-коммутаторов. Бортовые маршрутизаторы для комплексов научной аппаратуры на основе технологии SpaceWire представляют собой устройства, выполняющие роль сетевых узлов-коммутаторов коммуникационной сети стандарта SpaceWire. Их основной задачей является коммутация потоков информации между приборами комплекса научной аппаратуры в соответствии с алгоритмами, описанными в стандарте SpaceWire.

Бортовые маршрутизаторы востребованы в комплексах научной аппаратуры, где необходимо объединить в единую высокоскоростную коммуникационную сеть различные приборы, использующие интерфейс SpaceWire. Используя несколько маршрутизаторов, можно создавать масштабные распределенные сети между приборами. Разрабатываемый бортовой маршрутизатор войдет в состав комплекса основных научных приборов проекта «СПЕКТР-УФ»



Рисунок 1 – Внешний вид теплового эквивалента бортового маршрутизатора

Бортовой маршрутизатор сети SpaceWire разрабатывается как единый блок. Его питание осуществляется от системы электроснабжения космического аппарата. Для обеспечения высокой надежности в состав блока войдут два идентичных полуконспекта электроники.

В каждом полуконспекте предусмотрено 8 каналов SpaceWire, между которыми осуществляется маршрутизация. Каждый канал SpaceWire в каждом из полуконспектов имеет отдельный интерфейсный разъем. Типы интерфейсных разъемов соответствуют описанным в стандарте SpaceWire.

Включение и выключение бортового маршрутизатора должно осуществляться по внешним командам. Предусматривается возможность включения и выключения каждого полуконспекта маршрутизатора командами от двух различных приборов. В составе комплекса основных научных приборов телескопа Т-170М проекта «Спектр-УФ» управление питанием каждого полуконспекта бортового маршрутизатора может осуществляться командами как от блока управления служебным комплексом (БУСК), так и от блока управления научными данными (БУНД). Таким образом резервируются управляющие команды, за счет чего повышается надежность коммуникационной сети.

Для контроля включения бортового маршрутизатора предусматриваются телеметрические контактные датчики.

В 2011 году спроектированы и изготовлены натурно-габаритно-массовый макет и тепловой эквивалент бортового маршрутизатора. Продолжается разработка технологического образца прибора.

Раздел 6.5

Разработка наземной аппаратуры для имитации космического пространства

6.5.2. Разработка аппаратуры автоматизированной системы проведения наземных испытаний приборов для космических исследований.

Рук. Чулков И.В. исп. Ануфрейчик К.В.

Проведение наземных испытаний приборов должно состоять, как минимум, из двух этапов:

- проведение автономных испытаний прибора;
- проведение стыковочных и комплексных испытаний.

Для проведения наземных испытаний приборов разрабатывается контрольно-испытательная аппаратура (КИА), позволяющая имитировать все внешние интерфейсы и обеспечивающая всестороннюю проверку функционирования прибора.

В состав КИА входит блок интерфейсов, управляющий компьютер и, при необходимости, дополнительные функциональные блоки. Управление работой КИА осуществляет управляющий компьютер, на котором выполняется специальная программа. Программное обеспечение КИА разрабатывается под конкретный проект и, в общем случае, позволяет:

- выполнять циклограммы управления прибором, написанные на формализованном языке в ручном и автоматическом режимах;
- сохранять в лог-файлах служебную информацию о функционировании прибора и накопленную научную информацию;
- выводить в окнах программы текущую информацию обмена по интерфейсам;
- проводить экспресс-анализ накопленной информации.

В 2011 г. проводились работы по созданию контрольно-испытательной аппаратуры приборов БУНИ (проект «Луна-Ресурс»), БУСК, БУП, БУТР (проект «СПЕКТР-УФ»), БКУСНИ (проект «ИОНОСФЕРА»).

Блоки интерфейсов данных КИА имитируют электрические и информационные интерфейсы, приведенные в таблице 1. Внешний вид КИА БУНИ, КИА БУТР показан на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

Электрические интерфейсы	Коммутации питания приборов;
	Телеметрических датчиков;
	Релейных команд;
	Синхрочастоты 1 Гц;
	Управления приводами светозащитной крышки телескопа
Информационные интерфейсы	Магистальный последовательный интерфейс, основанный на ГОСТ Р 52070-2003
	Низкоскоростной интерфейс (9600 бит/с)
	Высокоскоростной интерфейс (125000, 1000000, 6000000 бит/с)
	Интерфейс радиоканала (512 000, 122000000 бит/с)
	SpaceWire (25-30 МГц)



Рисунок 1 – Внешний вид КИА БУНИ



Рисунок 2 – Внешний вид КИА БУТР

Для проведения стыковочных и комплексных испытаний набор контрольно-испытательной аппаратуры должен не только обеспечить имитацию работы интерфейсов космического аппарата и интерфейсов научных приборов, но и иметь средства (мониторы интерфейсов), позволяющие проводить всестороннюю проверку обмена по информационным интерфейсам. Особое значение приобретает использование мониторов интерфейсов при имитации нестандартных ситуаций на шине.

Для проекта «Луна-Ресурс» разработан имитатор интерфейсов космического аппарата ИРБИС (Рисунок 3). Для мониторингования шины МПИ КА при комплексных испытаниях КНА проекта «РЕЗОНАНС» разработан монитор РЕЗОЛОГ (Рисунок 4), а для мониторингования шин КА и КНА проекта «СПЕКТР-УФ» - монитор СИМКО_СК (Рисунок 5), позволяющий подстраиваться под параметры мониторируемой шины.



Рисунок 3 – Имитатор космического аппарата - ИРБИС



Рисунок 4 - Блок интерфейсов монитора шины МПИ КА проекта РЕЗОНАНС



Рисунок 5 - Монитор шин МПИ КА и КНА проекта СПЕКТР-УФ

Для проекта «Луна-Ресурс» выполняется отработка следующих устройств, предназначенных для обеспечения стыковочных и комплексных испытаний:

- монитор шины БКУ (МОНИКА);
- монитора радиоканала (МРК);
 - имитатора информационных интерфейсов приборов научной аппаратуры (СИМИНА).