

Институт космических исследований
Российской академии наук

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Т Е М ы:

КОординатно-временные системы
с использованием космических технологий
ПРИБОРЫ для космических исследований
ПЛАНЕТ и ЗЕМЛИ

Выездной семинар

ПРОГРАММА

РОССИЯ
ТАРУСА
7–9 июня 2006 года

Активизация космических исследований в России — признак нынешнего времени. Важность космического приборостроения для оснащения научными приборами проектов ближайшей перспективы послужила одной из причин проведения тематических семинаров.

Наиболее насыщенным разнообразным научным оборудованием представляется в данный момент проект «Фобос-Грунт», вокруг обсуждения которого в основном ориентирован семинар 2006 года.

В последние годы большое развитие получили координатно-временные системы с использованием космических технологий, что позволило представить ряд докладов и по этой тематике.

Будут также рассмотрены вопросы общего плана, в существенной степени облегчающие решение фундаментальных задач, поставленных на семинаре.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Р.Р. Назиров* — Председатель, руководитель семинара
О.И. Кораблев — Сопредседатель семинара
Г.А. Аванесов — Сопредседатель семинара

ОРГКОМИТЕТ

- В.Г. Родин* — Председатель, руководитель секции
космического приборостроения
М.Б. Добриян — Зам. председателя
В.Н. Ангаров
В.Ф. Бабкин
Е.А. Антоненко
Н.Ю. Комарова
Л.В. Албуткина

Контактные телефоны:

- Антоненко Елена Александровна* (495) 333-42-45
antonenko@iki.rssi.ru
Комарова Наталия Юрьевна (495) 333-42-56
nata.komarova@asp.iki.rssi.ru

7 ИЮНЯ, СРЕДА

09:30 – 13:00 Заезд, размещение в гостинице

13:00 – 14:00 Обед14:00 – 14:20 **ОТКРЫТИЕ СЕМИНАРА**, вступительное слово
*Л.М. Зеленый, Р.Р. Назиров, В.Г. Родин***ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**14:20 – 14:40 Проблемы научного космического приборостроения и их решение в рамках задач Оптико-физического отдела ИКИ РАН (с. 10)
*А.А. Фори*14:40 – 15:00 Летные испытания технологического наноспутника ТНС-0 №1 и перспективы использования наноспутниковой платформы ТНС-0 (с. 11)
*А.С. Селиванов*15:00 – 15:20 Разработка основ создания микроспутниковых платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства (с. 12)
*С.И. Климов*15:20 – 15:30 **СТЕНДОВЫЙ ДОКЛАД**
Наземные испытания космических приборов в ИКИ РАН (с. 14)
*В.Н. Худобин***СЕКЦИЯ 1** **КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**15:30 – 15:40 Вступительное слово
*Г.А. Аванесов*15:40 – 16:00 Интеграция командных приборов как путь оптимизации системы управления движением КА (с. 15)
*Р.В. Бессонов*16:00 – 16:20 Моделирование работы приборов звездной ориентации в наземных условиях (с. 16)
*А.В. Никитин*16:20 – 16:40 Оперативная координатная привязка видеоданных ДЗЗ с КА серии «Метеор-М» по навигационным измерениям (с. 17)
*А.С. Василейский*16:40 – 17:00 Исследование влияния космической радиации на электрорадиоизделия и оптико-электронные приборы (с. 18)
*С.В. Воронков***17:00 – 17:30 Чай, кофе**17:30 – 17:50 Исследование точностных характеристик датчиков звездной ориентации КА в инерциальном пространстве (с. 19)
*А.В. Никитин*17:50 – 18:10 Сравнительный анализ точности измерения координат направления на Солнце, полученных с помощью оптического солнечного датчика (ОСД) и звездного координатора (БОКЗ-М) (с. 20)
*Т.Ю. Дроздова*18:10 – 18:30 Методика и стенд динамических испытаний систем координатно-временного обеспечения КА (с. 21)
*М.М. Железнов***19:00 Товарищеский ужин****8 ИЮНЯ, ЧЕТВЕРГ****СЕКЦИЯ 1** **КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**10:00 – 10:20 Системы технического зрения в решении задач навигации и терминального управления (с. 22)
*В.А. Гришин*10:20 – 10:40 Интеллектуальный датчик солнечной ориентации (с. 24)
*В.А. Котцов*10:40 – 11:00 Широкоугольный звездный датчик — прототип камеры для обнаружения оптических транзиентов (с. 24)
*А.С. Позаненко*11:00 – 11:10 Работа однофотонного координатно-чувствительного детектора в составе телескопа сверхвысокой светосилы (с. 25)
*Н.А. Коровин***СЕКЦИЯ 2** **ПРИБОРЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАНЕТ И ЗЕМЛИ**11:10 – 11:20 Вступительное слово
О.И. Кораблев

- 11:20 – 11:40 Многозональные съемочные системы авиационного и космического применения. Анализ результатов разработки и перспективы развития (с. 26)
И.В. Полянский
- 11:40 – 12:00 Согласование информативности космических съемочных систем дистанционного зондирования Земли с пропускной способностью радиоканала путем сжатия видеоинформации (с. 27)
А.С. Василейский
- 12:00 – 12:30 Чай, кофе**
- 12:30 – 12:50 Геометрическая и радиометрическая калибровка комплекса многозональной спутниковой съемки КА серии «Метеор-М» (с. 28)
М.М. Железнов
- 12:50 – 13:00 Проект космического гиперспектрометра, предназначенного для малого космического аппарата (с. 29)
А.Г. Орлов
- 13:00 – 13:10 Методы обработки гиперспектральной информации (с. 30)
Д.В. Воронцов
- 13:10 – 13:30 Компактный эшелле-спектрометр высокого разрешения с акустооптической фильтрацией порядков для спутниковых исследований земной атмосферы (с. 31)
И.И. Виноградов
- 13:30 – 13:50 Акустооптические спектрометры для исследования планет (с. 34)
О.И. Кораблев
- 13:50 – 14:10 Малогабаритный фурье-спектрометр ФСМ (с. 35)
Б.Е. Мошкин
- 14:10 – 15:00 Обед**
- 15:00 – 15:20 Методика калибровки ИК-спектрометров на основе акустического перестраиваемого фильтра (с. 35)
А.В. Киселев
- 15:20 – 15:40 Анализ задач и условий телевизионных наблюдений космических объектов в проекте «Фобос-Грунт» (с. 37)
Б.С. Жуков
- 15:40 – 16:00 Телевизионные средства навигации и наблюдения проекта «Фобос-Грунт» (с. 38)
Е.Б. Краснопевицева

- 16:00 – 16:20 Стенд для отработки телевизионной системы навигации и наведения проекта «Фобос-Грунт» (с. 38)
М.М. Железнов
- 16:20 – 16:40 Фурье-спектрометр АОСТ для исследования Марса и Фобоса с борта КА «Фобос-Грунт» (с. 39)
А.В. Григорьев
- 16:40 – 17:00 Возможности исследования подповерхностной структуры Фобоса при комплексном использовании магнитотеллурических и сейсмических методов зондирования (с. 40)
С.И. Климов
- 17:00 – 17:30 Чай, кофе**
- 17:30 – 17:50 Разработка аппаратуры для индукционного зондирования подповерхностных структур Марса и Фобоса (с. 41)
А.К. Лукомский
- 17:50 – 18:10 Система информационного обеспечения комплекса научной аппаратуры в проекте «Фобос-Грунт» (с. 42)
М.И. Куделин
- 18:10 – 18:40 Субкомплекс научной аппаратуры (СКНА) проекта «Фобос-Грунт» (с. 43)
В.М. Линкин, А.Б. Манукин
- 18:40 – 19:00 Гравиинерциальные измерения в космических исследованиях (с. 43)
А.Б. Манукин
- 19:00 – 19:20 Проект «Венера-Д»: спускаемый аппарат с длительным сроком работы на поверхности (с. 45)
А.П. Экономов
- 19:30 Ужин**

9 ИЮНЯ, ПЯТНИЦА

СЕКЦИЯ 2 ПРИБОРЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАНЕТ И ЗЕМЛИ

- 10:00 – 10:20 Миссия MET-NET к Марсу (с. 45)
В.М. Линкин
- 10:20 – 10:40 Характеристики микроспутника миссии MET-NET (с. 46)
А.Н. Липатов
- 10:40 – 11:00 Телеметрическая и командная линии связи миссии MET-NET (с. 46)
В.М. Готлиб

11:00 – 11:20 Баллистические расчеты для полета малого космического аппарата к Марсу на электрореактивной тяге (с. 47)
Н.А. Эйсмонт

ОБЪЕДИНЕННОЕ ЗАСЕДАНИЕ СЕКЦИЙ 1 И 2

11:20 – 11:40 30 лет разработки сканирующих устройств в Институте космических исследований РАН (с. 48)
П.П. Моисеев

11:40 – 12:00 Перспективные приборы для ядерной планетологии (с. 48)
А.С. Козырев

12:00 – 12:30 Чай, кофе

12:30 – 12:40 **СТЕНДОВЫЙ ДОКЛАД**
Регистрация рентгеновского излучения с помощью CdZnTe-детекторов с различной формой электродов (с. 50)
М.В. Шмелева

12:40 – 13:00 Построение кластера на накопителях типа Flash для использования в бортовых информационно-управляющих системах (с. 50)
К.В. Ануфрейчик

13:00 – 13:20 Реализация управления приводом часового ведения прецизионной частоты для астрономического телескопа РТТ150 с синхронизацией от приемника GPS (с. 51)
И.В. Чулков

13:20 – 13:40 О разработке и изготовлении приборов (с. 52)
А.М. Коптев

14:00 – 15:00 Итоговый круглый стол, выработка рекомендаций

15:00 – 15.50 Обед

16:00 Отъезд

Институт космических исследований
Российской академии наук

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Т Е М Ы:

КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПРИБОРЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПЛАНЕТ И ЗЕМЛИ

Выездной семинар

Т Е З И С Ы

РОССИЯ
ТАРУСА
7–9 июня 2006 года

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОБЛЕМЫ НАУЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ИХ РЕШЕНИЕ В РАМКАХ ЗАДАЧ ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКОГО ОТДЕЛА ИКИ РАН

Г.А. Аванесов., А.А. Фори

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Разработка и изготовление приборов определения ориентации космических аппаратов (КА) и систем дистанционного зондирования небесных тел Солнечной системы в различных диапазонах электромагнитного излучения является одной из основных задач отдела оптико-физических исследований ИКИ РАН.

Отделом разработаны звездные координаторы серии БОКЗ (блоков определения координат звезд), которые с 1999 г. определяют ориентацию КА «Ямал-100», с 2000 г. — международной космической станции, с 2003 г. — двух КА «Ямал-200». В 2006 г. планируется запуск двух КА дистанционного зондирования Земли «Ресурс-ДК» и «БелКа», в контурах управления которых будут использованы приборы БОКЗ-М. Дальнейшая модернизация приборов БОКЗ ведется по пути уменьшения габаритов, массы, энергопотребления, увеличения помехозащищенности, частоты обновления информации (до 4 Гц) и угловой скорости, при которой определяется ориентация (до 2 град/с).

Для КА «Метеор» разрабатывается комплекс многозональной спутниковой съемки (КМСС) и комплекс координатно-временного обеспечения (ККВО). КМСС включает три камеры МСУ (многозональное съемное устройство), позволяющие получать изображения суши и океана со средним (50–100 м) разрешением в шести спектральных зонах видимого и ближнего ИК-излучения. В ККВО входят приборы БОКЗ и автономная система навигации, что позволит определять орбитальную ориентацию КА, а также осуществлять географическую привязку снимков, получаемых КМСС.

В 2006 г. будут завершены квалификационные испытания статического оптического солнечного датчика (ОСД), позволяющего с предельной ошибкой 3' определять направление на Солнце с частотой 5 Гц в поле зрения 120×60°.

Для проекта «Фобос-Грунт» отделом ведется разработка телевизионной системы навигации и наблюдения (ТСНН), включающей узкоугольную камеру с фокусом 500 мм и широкоугольную с фокусом 18 мм. Основная задача, которая должна быть решена ТСНН, — выбор места посадки на Фобос и контроль движения КА при осуществлении посадки.

Основными направлениями развития разрабатываемых приборов являются повышение срока активного существования (до 100 тысяч часов), надежности, помехозащищенности, а также создание интегрированной системы прямого управления движением КА.

ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАНОСПУТНИКА ТНС-0 № 1 И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОСПУТНИКОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ТНС-0

В.М. Вишняков¹, А.С. Селиванов¹, И.В. Чурило²

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский НИИ космического приборостроения» — ФГУП РНИИ КП, г. Москва

² Открытое акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П. Королева — ОАО «РКК «Энергия», г. Королев Московской обл.

На выездном семинаре «Вопросы миниатюризации в современном космическом приборостроении» в 2004 г. ФГУП РНИИ КП представил программу разработки технологических наноспутников типа ТНС, предназначенных для отработки в реальных условиях космического полета миниатюризованных элементов бортовых узлов и приборов и исследования возможностей новых методов управления космическими аппаратами. На первом наноспутнике — ТНС-0 №1 — планировалось проведение экспериментов по натурной отработке экспериментальной наноспутниковой платформы и новых бортовых приборов и узлов, а также отработке технологии управления спутником через глобальную спутниковую систему ГЛОБАЛСТАР.

Благодаря контактам, установленным на семинаре с сотрудниками ОАО «РКК «Энергия», удалось в короткое время разра-

ботать технологию запуска ТНС-0 с борта МКС. ТНС-0 № 1 массой 5 кг был запущен 28 марта 2005 г. и работал в течение 2,5 месяцев. Программа его летных испытаний была осуществлена полностью. Полученные данные еще находятся в стадии обработки. Результаты испытаний показали, что разработчики космической техники и ученые получили в свое распоряжение небольшую спутниковую платформу с величиной сменной полезной нагрузки 1,5–2 кг, позволяющую в кратчайшие сроки и сравнительно дешево производить научно-экспериментальные работы в космосе. Данный тип ТНС может быть использован:

- для краткосрочных и недорогих летных испытаний аппаратуры и узлов сверхмалых КА;
- проведения краткосрочных экспериментов по геофизическим измерениям, исследованиям ионосферы и космического излучения, телекоммуникации, дистанционному зондированию Земли и другим задачам как программы научно-прикладных исследований и экспериментов на российском сегменте МКС, так и других космических программ.

РАЗРАБОТКА ОСНОВ СОЗДАНИЯ МИКРОСПУТНИКОВЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ И ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

С.И. Климов, В.Г. Родин

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Разработка основ создания микроспутниковых платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства является комплексной проблемой как научно-технического плана, связанной с разработкой и использованием современных космических аппаратов (КА), так и с научно-методическими проблемами проведения фундаментальных космических исследований. Все эти проблемы логически связаны иерархией подготовки и проведения на борту КА экспериментов по исследованиям Земли и околоземного космического пространства. В настоящее время в космической физике и астрофизике накоплен значительный наблюдательный материал, полученный на КА. Большие успехи достигнуты в теоретических исследованиях околоземного космоса,

атмосферы и литосферы Земли. Существуют серьезные проработки лабораторного и компьютерного моделирования. Рассмотрение с единых позиций всего комплекса подготовки и проведения фундаментальных космических исследований приводит к необходимости объединения усилий ученых, занимающихся изучением каждого из вышеперечисленных направлений. В рамках данной разработки необходимо осуществить комплексный подход к решению поставленных задач путем:

- разработки методов внедрения современных конструкторско-технологических решений в процесс создания конструкций и систем микроспутниковых платформ с использованием достижений физического приборостроения, микроэлектроники и микромеханики;
- разработки новых методов экспериментальных исследований Земли и околоземного космического пространства для реализации их на современных высокоэффективных КА;
- теоретического анализа методов управления бортовыми системами микро- и нанокосмических платформ с использованием достижений микроэлектроники и микромеханики в целях обеспечения высоких требований по их ориентации и стабилизации;
- проведения лабораторного и численного моделирования процессов управления бортовыми системами микроплатформ с целью определения критических элементов моделей.

НАЗЕМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ В ИКИ РАН

В.Н. Худобин

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Для проведения испытаний научных приборов, предназначенных для установки на борт космического аппарата, исследования их работоспособности в составе бортового комплекса и в условиях космического пространства ИКИ располагает контрольно-испытательной станцией (КИС), основанной в 1976 г. На проведение испытаний у КИС имеется аттестат аккредитации испытательного центра.

На базе КИС возможно проведение основных видов испытаний:

- *термовакuumные испытания* научной аппаратуры в условиях, приближенных к космическому пространству по воздействию вакуума, «холодного и черного космоса» и солнечного излучения; используются одна большая (ТВУ-100) и две малые вакуумные камеры (ТВУ-2.5); одна из малых термовакуумных камер объединена в единый комплекс с имитатором солнечного излучения ИСИ-0.8;
- *электромагнитные испытания* — проверка научной аппаратуры на электромагнитную совместимость, проводимая на специальном стенде, с помощью которого измеряются излучаемые электрические и магнитные поля, а также величины излучаемых токов помех в цепях питания;
- *климатические испытания* — для их проведения используются три камеры, позволяющие имитировать климатические условия самых различных районов Земли; камеры различаются по объемам полезного пространства и рабочим параметрам (объем полезного пространства камер от 0,63 до 3 м³);
- *механические испытания* — испытания на вибропрочность, удар, на линейные перегрузки.

СЕКЦИЯ 1 КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

ИНТЕГРАЦИЯ КОМАНДНЫХ ПРИБОРОВ КАК ПУТЬ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КА

Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов, А.И. Карелов

Институт космических исследований РАН, г. Москва

В состав командных приборов системы управления КА, предназначенных для измерения навигационных параметров, могут входить гироскопы, звездные координаторы, солнечные датчики, датчики вертикали, магнитометры и приемники спутниковой навигации. Уровень развития современной навигационной аппаратуры не позволяет решать задачу управления КА с использованием командных приборов только одного типа. Применение на борту нескольких типов командных приборов приводит к росту массы, габаритов и энергопотребления системы управления и снижению ее надежности.

Анализ характеристик командных приборов и тенденций их развития позволяет рассматривать звездный координатор как возможную основу будущих систем управления. Одним из перспективных путей развития систем управления КА является интеграция звездного координатора с другими навигационными приборами, имеющими значительно меньшую точность, и, следовательно, низкую массу и габариты. Результатом такого симбиоза может стать прибор, способный автоматически решать задачу определения ориентации и местоположения КА. Комплексирование приборов с использованием двухсторонних связей между ними значительно повысит надежность и помехозащищенность аппаратуры. Объединение приборов в едином корпусе исключает необходимость использования интерфейсных элементов и кабелей связи, что уменьшит массу, габариты и энергопотребление системы в целом.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРИБОРОВ ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

Г.А. Аванесов, Т.В. Кондратьева, А.В. Никитин, В.А. Шамис

Институт космических исследований РАН, г. Москва

В программу наземных испытаний создаваемых в ИКИ РАН приборов определения ориентации — блоков определения координат звезд (БОКЗ) — включено моделирование их работы в космосе, осуществляемое на специально разработанном стенде динамических испытаний (СДИ). Стенд в динамическом режиме обеспечивает имитацию светооптических условий, приближенных к условиям работы приборов в космосе.

В состав СДИ входят: компьютер со специальным программным обеспечением; цифровой монитор, служащий имитатором звездного неба; коллиматорный объектив, сфокусированный на плоскость цифрового монитора и обеспечивающий эффект удаления звезд на бесконечность от звездного датчика; светозащита стенда.

Моделирование условий работы прибора в космосе осуществляется в реальном времени.

На стенде может быть смоделирована работа звездных датчиков при следующих условиях:

- движение КА по круговой околоземной орбите;
- вращение КА вокруг центра масс;
- режимы переориентации КА;
- равномерные и неравномерные фоновые засветки;
- воздействие на звездный датчик помех, вызванных протонными событиями.

Вышеперечисленные условия моделируются с помощью специального программного обеспечения. В частности, при моделировании движения КА происходит пересчет сферических координат звезд на небесной сфере в прямоугольные координаты проекций звезд на плоскость экрана монитора. Повторение описанной процедуры позволяет с заданной частотой реализовывать перемещение участка небесной сферы по экрану монитора, имитируя движение КА. Звездный каталог стенда содержит 26547 звезд от +0 до +8,0 звездной величины.

Использование СДИ при проведении испытаний летных и опытных образцов звездных датчиков позволяет проводить

оценки как работоспособности и помехозащищенности программно-алгоритмического обеспечения прибора, а также оценивать работоспособность всего прибора в целом, что является важным элементом создания и совершенствования звездных координаторов.

ОПЕРАТИВНАЯ КООРДИНАТНАЯ ПРИВЯЗКА ВИДЕОДАНЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С КА СЕРИИ «МЕТЕОР-М» ПО НАВИГАЦИОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

А.С. Василейский, М.М. Железнов, Я.Л. Зиман, И.В. Полянский

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Одной из основных задач первичной обработки видеоданных дистанционного зондирования Земли, которые планируется получать создаваемым комплексом многозональной спутниковой съемки (КМСС) с космических аппаратов (КА) серии «Метеор-М», является оперативная координатная привязка этих видеоданных.

Такая координатная привязка может осуществляться по навигационным измерениям, проводимым на борту КА специализированным комплексом координатно-временного обеспечения (ККВО). ККВО включает три вида навигационных приборов — созданный в ИКИ прибор определения астроориентации (блок определения координат звезд — БОКЗ), комплект аппаратуры спутниковой навигации (АСН) и штатные датчики угловых скоростей (ДУС).

Возможность оперативной обработки видеоданных обеспечивается непосредственной трансляцией на наземные приемные станции получаемых ККВО данных навигационных измерений совместно с видеоданными, генерируемыми съемочными камерами КМСС и другой аппаратурой дистанционного зондирования Земли, и автоматизацией процесса географической координатной привязки.

В силу того, что аппаратура КМСС производит съемку путем построчного сканирования линейными ПЗС-детекторами за счет собственного движения КА по орбите, для высокоточной координатной привязки таких видеоданных необходимо знание элементов внешнего ориентирования (ЭВО) на моменты времени регистрации каждой строки изображений. Для получения

линейных ЭВО используются измерения местоположения и скорости КА, ежесекундно выдаваемые АСН в геоцентрической гринвичской системе координат. Угловые ЭВО определяются по данным выдаваемых БОКЗ измерений инерциальной ориентации после совместной обработки с данными, получаемыми ДУС и АСН.

Указанные ЭВО позволят осуществлять фотограмметрическую реконструкцию изображений, определение географических координат заснятых объектов на земной поверхности, нанесение на изображения координатной сетки, трансформирование их в заданные картографическую проекцию и масштаб, а также проводить синтез многоканальных изображений из видеоданных, получаемых КМСС в разных спектральных каналах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Г.А. Аванесов, В.В. Акимов, С.В. Воронков

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Начиная с 2000 года, в Отделе оптико-физических исследований ИКИ РАН реализуется программа изучения радиационной стойкости электрорадиоизделий (ЭРИ), входящих в состав датчиков звездной и солнечной ориентации.

Приведен обзор выполненных работ и анализ основных полученных результатов:

- Изучен эффект возникновения помеховых объектов на ПЗС-матрицах приборов в периоды после солнечных вспышек и разработаны программно-алгоритмические и конструктивные методы компенсации такого воздействия.
- Оценены вероятности возникновения одиночного сбоя в электронике прибора БОКЗ-М в периоды после солнечных вспышек, а также при воздействии протонов внутреннего радиационного пояса.
- Исследовано воздействие ионизирующего излучения на входящие в состав приборов ЭРИ, в первую очередь на матричные и линейные ПЗС. Оценены значения предельно допустимой поглощенной дозы для ПЗС-матрицы «Лев-2» и ПЗС-линейки SONY ILX703A и изучено влияние процесса

отжига радиационно-индуцированных дефектов на изменение функциональных характеристик ПЗС.

- На базе источника Со-60 создана гамма-установка низкоинтенсивного излучения, позволяющая проводить испытания ЭРИ на стойкость к воздействию ионизирующего излучения при темпах вноса дозы, сопоставимых с темпами вноса дозы в условиях космического пространства.

К числу текущих и планируемых работ относятся проведение эксперимента на протонном ускорителе с целью оценки стойкости ПЗС-матриц к возникновению структурных дефектов, разработка схемных решений по защите микросхем приборов от эффекта «зашелкивания», а также дальнейшее развитие программы испытаний ЭРИ на установке низкоинтенсивного ионизирующего излучения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ЗВЕЗДНОЙ ОРИЕНТАЦИИ КА В ИНЕРЦИАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Г.А. Аванесов, В.А. Красиков, А.В. Никитин

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Приборы звездной ориентации семейства БОКЗ-М, разработанные в ИКИ РАН, широко используются на российских КА. Постоянно развиваясь и совершенствуясь, они уже сегодня имеют высокие технические и эксплуатационные характеристики, обеспечивающие их использование для управления параметрами углового движения КА.

Результаты наземных исследований датчиков звездной ориентации были получены в приближенных к реальным условиям эксплуатации. Характеристики точности работы прибора — ошибка, обусловленная влиянием собственных шумов, и абсолютная ошибка выходной информации. Основная задача настоящего исследования — проведение эксперимента по оценке величин этих ошибок. Собственные шумы прибора звездной ориентации определяют точность решения задач стабилизации съёмочных и астрометрических систем КА при малых угловых перемещениях. Абсолютная ошибка работы прибора определяет

точность решения задач наведения целевой аппаратуры КА на заданную пространственную область.

Рассматриваются основные факторы, влияющие на точность определения параметров ориентации, а также метод вычисления абсолютной ошибки прибора. Изложены результаты экспериментов с прибором звездной ориентации на стенде динамических испытаний. Выделены факторы, влияющие на точность определения ориентации.

Полученная величина ошибки собственных шумов прибора составила (по уровню 1σ) $0,1''$ при определении углов вращения вокруг осей X и Y и $2''$ — вокруг оси Z. Величина абсолютной ошибки составляет (по уровню 1σ) $1,5''$ при определении углов вращения вокруг осей X и Y и $15''$ — вокруг оси Z.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ НАПРАВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО СОЛНЕЧНОГО ДАТЧИКА (ОСД) И ЗВЕЗДНОГО КООРДИНАТОРА (БОКЗ-М)

Т.Ю. Дроздова, В.А. Красиков, А.В. Никитин

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Точность определения направления на источник излучения — важная характеристика любого оптико-электронного прибора, используемого при расчете ориентации космического аппарата в пространстве. Поэтому неотъемлемой частью работ на этапах проектирования и отладки оптико-электронных приборов, предназначенных для астроориентации, является оценка точности выдаваемых прибором результатов.

Представлены результаты измерений координат направления на Солнце, полученные при натурных испытаниях оптического солнечного датчика, а также параметры направления на Солнце, рассчитанные по кадрам блока определения координат звезд БОКЗ-М и зафиксированные прибором с использованием фильтров и диафрагмы при наблюдении Солнца.

Различие приборов ОСД и БОКЗ-М заключается в том, что в качестве светочувствительного элемента ОСД выбрана ПЗС-линейка, тогда как приемником излучения звездного координатора является ПЗС-матрица.

Цель работы заключалась в сопоставлении точности результатов, полученных с применением различных светочувствительных элементов, а также различных вариантов конструктивных и алгоритмических решений, использованных при разработке приборов ОСД и БОКЗ-М.

Для анализа работы прибора ОСД и оценки его точностных характеристик были проведены натурные испытания макета оптического солнечного датчика, получены параметры направления на Солнце. Были также проведены съемки Солнца прибором БОКЗ-М с применением дополнительных конструктивных элементов: фильтра и диафрагмы. Применение дополнительных элементов конструкции позволило смонтировать на основе прибора БОКЗ-М солнечный датчик на ПЗС-матрице. По результатам испытаний был проведен сравнительный анализ точности полученных данных, выявлены достоинства и недостатки различных вариантов реализации солнечного датчика.

МЕТОДИКА И СТЕНД ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КА

А.С. Василейский, М.М. Железнов, Я.Л. Зиман, Т.В. Кондратьева

Институт космических исследований РАН, г. Москва

В Оптико-физическом отделе ИКИ РАН создается стенд, предназначенный для проведения динамических испытаний и отработки программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) бортовых систем определения в реальном времени ориентации и местоположения космических аппаратов (КА). Примером такой системы может служить создаваемый для КА серии «Метеор-М» комплекс координатно-временного обеспечения. Этот комплекс включает измерители трех видов — приборы астроориентации (БОКЗ-М), датчики угловых скоростей (ДУС) и аппаратуру спутниковой навигации (АСН).

Три имитатора стенда позволяют моделировать функционирование перечисленных измерителей в полете, а также вычислительную систему.

Имитатор звездного неба формирует на жидкокристаллическом мониторе изображение участка звездного неба, предъявляемое звездному координатору БОКЗ. Перемещение изображений звезд по полю монитора в соответствии с заданным за-

коном позволяет моделировать изменение ориентации КА в инерциальном пространстве. ДУС устанавливается на подвижную платформу, обрабатывающую заданную программу угловых движений, что позволяет имитировать изменения ориентации КА. Излучатель имитатора сигналов спутниковой навигационной системы формирует радиосигналы, принимаемые антенной АСН и соответствующие заданной модели конфигурации и движения навигационных спутников и моделируемого КА по орбите.

Вычислительная система стенда состоит из компьютеров, обеспечивающих управление работой перечисленных имитаторов и их временную синхронизацию, а также совместную обработку результатов измерений местоположения и ориентации моделируемого КА. Сравнение результатов измерений с заданными при моделировании ориентацией и местоположением КА позволяет судить о правильности функционирования обрабатываемой системы координатно-временного обеспечения.

Стенд также позволяет обрабатывать ПАО бортовой системы управления движением КА и координатной привязки по навигационным измерениям видеоданных, получаемых аппаратурой дистанционного зондирования Земли.

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ И ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В. А. Гришин

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Развитие вычислительной техники — рост вычислительной мощности процессоров, позволяющий обрабатывать большие массивы информации в режиме реального времени, — создает предпосылки для расширения возможностей практического использования высокоинформативных датчиков в системах управления мобильными объектами различных классов.

В качестве таких датчиков все большее распространение получают телевизионные камеры, которые могут обеспечивать потоки информации порядка 10...50 Мбайт/с. Совокупность телевизионного датчика (датчиков) и вычислительных средств, осуществляющих обработку видеoinформации, представляет собой систему технического зрения (СТЗ). Рассматривается

применение СТЗ для решения двух классов задач управления движением — навигации и терминального управления.

Эти задачи отличаются, в частности, разными требованиями к величине допустимых задержек на формирование оценок вектора параметров. В случае терминального управления вектор оцениваемых параметров должен обновляться достаточно быстро (зависит от динамики объекта управления), так как измеритель параметров включен в контур управления. При решении задач навигации допустимы значительно большие величины задержек. Другим отличием является то, что подлежат оценке различные по составу векторы параметров.

Решение задач навигации возможно как путем поиска, обнаружения и распознавания заданных ориентиров, так и в результате профилометрических измерений участков коррекции, осуществляемых в процессе функционирования системы технического зрения. Возможна также комбинация этих двух методов.

Характер ошибок оценивания координат (многомерная функция неопределенности) в сильной степени зависит от траектории движения объекта и только для очень простых случаев может быть определен расчетными методами. Основной метод определения точностных характеристик навигационных систем — имитационное моделирование, в особенности это относится к анализу влияния аномальных ошибок измерений.

Решение задач терминального управления, как правило, требует расширения вектора измеряемых параметров — нужно оценивать линейные и угловые скорости объекта относительно наблюдаемой поверхности. В некоторых случаях возникает необходимость решать задачу наведения на заданную точку поверхности (например, выбранный район посадки или стыковочный знак или заданную цель для крылатых ракет). Заданная точка посадки может задаваться своими координатами относительно заданных ориентиров, либо непосредственно изображением, либо его структурным описанием.

В случае задачи стыковки имеется возможность достаточно эффективно влиять на структуру многомерной функции неопределенности за счет выбора конфигурации стыковочного знака. Однако задача синтеза оптимальной структуры посадочного знака весьма сложна и плохо поддается формализации из-за необходимости удовлетворения противоречивому набору требований.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК СОЛНЕЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

В.Д. Глазков, В.А. Котцов

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Квадрантные оптические датчики широко используются в системах ориентации и наведения. Аналоговый датчик наведения этого типа хорошо проявил себя при наблюдении кометы Галлея в проекте ВЕГА.

Предложена конструкция датчика солнечной ориентации квадрантного типа с интеллектуальными способностями. При нормальной работе электрическая часть солнечного датчика формирует сигнал подтверждения, который характеризует верность получаемых данных. Этот сигнал можно использовать для переключения каналов в комбинации солнечных датчиков с разным полем зрения. В случае его неравномерного затенения или выхода из строя отдельных фотоприемных элементов датчика данные не подтверждаются. Это исключает возможность нарушения ориентации из-за ошибки определений солнечного датчика.

Солнечный датчик отличается простотой конструкции и малой массой.

ШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК — ПРОТОТИП КАМЕРЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНЗИЕНТОВ

Г.В. Захаркин, А.Н. Липатов, В.М. Лозников, А.С. Позаненко, В.В. Румянцев

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Представлен прототип звездного датчика с возможностью обнаружения и идентификации переменных источников. Рассмотрены характеристики обнаружения оптических транзиентов в зависимости от типа орбиты и стабилизации космического аппарата. Обсуждаются наземные испытания датчика, использование датчика в предстоящих космических проектах и перспективы построения специализированной широкоугольной камеры для проведения патрульных обзоров.

РАБОТА ОДНОФОТОННОГО КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА В СОСТАВЕ ТЕЛЕСКОПА СВЕРХВЫСОКОЙ СВЕТОСИЛЫ

А.П. Калинин¹, Н.А. Коровин²

¹ Институт проблем механики РАН, г. Москва

² ЗАО «Научно-технический центр (НТЦ) «Реагент», г. Москва

Однофотонные координатно-чувствительные детекторы по праву занимают особое место в астрономии и особенно в построении телескопов заатмосферного (космического) базирования благодаря высокой чувствительности, позволяющей говорить о детектировании отдельных фотонов. Детектор такого рода является фотоэлектронным умножителем на основе шевронной сборки микроканальных пластин со специальной системой сбора электронов, позволяющей определять координаты центроиды электронной лавины, выходящей из последней микроканальной пластины и вызванной единичным фотоном.

Точность определения координат источника фотона в высокой степени зависит от качества используемой математической модели, описывающей работу детектора.

Приведены результаты исследования влияния различных механизмов на точность определения координат источника фотона, рассматриваются различные математические модели для получения высокого разрешения, пространственной линейности, подавления влияния тепловых и электронных шумов. Рассматриваются результаты разработки технологии калибровки и настройки разного рода координатно-чувствительных детекторов. Предлагаются различные методы интерполяции и аппроксимации, алгоритмы быстрого поиска, отличающиеся жесткостью и достоверной стабильностью результата, для нахождения истинных координат фотонов.

Полученные результаты использованы в ряде приборов, созданных для аэрокосмических применений в Научно-техническом центре «Реагент». Проведены серии экспериментов и получены статистические данные, хорошо согласующиеся с выбранными моделями обработки.

Рассматривается также решение задачи снижения избыточности получаемой информации для передачи потребителю. Особенно тщательно обсуждается возможность использования недискретных сигналов для передачи сжатой информации с целью достижения максимальной помехозащиты.

СЕКЦИЯ 2 ПРИБОРЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАНЕТ И ЗЕМЛИ

МНОГОЗОНАЛЬНЫЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОГО И КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗРАБОТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Г.А. Аванесов, А.С. Василейский, Я.Л. Зиман, И.В. Полянский
Институт космических исследований РАН, г. Москва

В течение последнего десятилетия в Оптико-физическом отделе Института космических исследований РАН ведутся работы в области создания аппаратуры дистанционного зондирования, предназначенной для использования на борту космических аппаратов и авиационных носителей.

Представлены принцип действия и основные технические и эксплуатационные характеристики комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС), разрабатываемого для установки на борт КА «Метеор-М» № 1 с целью проведения оптико-электронной съемки земной поверхности и мирового океана в шести спектральных зонах видимой и ближней ИК-областей электромагнитного спектра. Суммарная полоса обзора, формируемая приборами КМСС, составляет 950 км при среднем пространственном разрешении 55 и 110 м.

Наземная отработка космической аппаратуры осуществляется путем проведения экспериментальных съемок с самолета, следствием чего стала разработка авиационных цифровых съемочных систем, изготавливаемых с использованием технологий и решений, заложенных в космической аппаратуре. На сегодняшний день проходят опытную эксплуатацию две авиационные цифровые камеры — топографическая панхроматическая камера ЦТК-140 и универсальная многозональная камера ЦМК-70.

Принципы работы создаваемых космических и авиационных съемочных систем, их основные технические характеристики и результаты натурных летных испытаний показали возможность использования такой аппаратуры для решения широ-

кого круга задач научного, картографического и прикладного значения.

Представлены материалы наземной отработки космических и авиационных приборов в лабораторных условиях и примеры натурных съемок.

СОГЛАСОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ РАДИОКАНАЛА ПУТЕМ СЖАТИЯ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ

В.Ф. Бабкин, А.С. Василейский, И.М. Книжный, К.Е. Хрекин
Институт космических исследований РАН, г. Москва

Тенденция роста генерируемых космическими системами ДЗЗ информационных потоков, обусловленная увеличением пространственного, спектрального и радиометрического разрешения при сохранении широкой полосы обзора, входит в противоречие с ограничениями, накладываемыми пропускной способностью радиоканала передачи видеоданных на наземные приемные станции, особенно при использовании антенных устройств относительно небольшого диаметра. Одним из возможных путей решения указанного противоречия является сжатие видеоданных на борту КА перед передачей по радиоканалу.

Для согласования потока сжатых видеоданных с пропускной способностью радиоканала при непосредственной трансляции видеoinформации кодер должен обеспечивать постоянный коэффициент сжатия. Это приводит к необходимости использования методов сжатия с потерями, не допустимыми для многих пользователей видеоданных ДЗЗ.

Представленный подход организации сжатия с ограниченными потерями обеспечивает разделение видеоданных на два уровня — основные, сжатие которых осуществляется без потерь, чем гарантируется уровень возможных ошибок восстановления, и дополнительные, эффективное сжатие которых позволяет максимально использовать пропускную способность радиоканала, по возможности повышая радиометрическую точность видеоданных.

Два метода сжатия, реализующие предложенный подход, основаны на предиктивном кодировании и на частотном преоб-

разовании с последующим использованием адаптивного статистического кодера на принципе Голомба и прогрессивной передачи данных.

Проведены сравнительный анализ предложенных методов и исследование их чувствительности к искажениям в радиоканале. Приведенные результаты тестирования реализующих алгоритмы модельных программ на представительном наборе изображений демонстрируют высокую эффективность предложенных методов при сжатии видеоданных ДЗЗ.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ И РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА КОМПЛЕКСА МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ КА СЕРИИ «МЕТЕОР-М»

А.С. Василейский, М.М. Железнов, Я.Л. Зиман, И.В. Полянский
Институт космических исследований РАН, г. Москва

В оптико-физическом отделе ИКИ РАН разрабатываются методики и программно-алгоритмическое обеспечение наземной и летной геометрической и радиометрической калибровки комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС), создаваемого для космических аппаратов (КА) серии «Метеор-М».

Специфика калибровки КМСС определяется ниже перечисленными особенностями построения КМСС и задачами первичной обработки получаемых им видеоданных. КМСС включает три многозональных съемочных устройства (МСУ) с дивергентной ориентацией их оптических осей. В качестве фотоприемников в МСУ используются линейные ПЗС-детекторы, размещенные за отдельными светофильтрами. Первичная обработка зональных видеоданных — их фотограмметрическая реконструкция, координатная привязка и синтез многозональных изображений — должны проводиться в оперативном режиме по измерениям местоположения и ориентации КА, осуществляемым входящими в бортовой комплекс координатно-временного обеспечения (ККВО) приемником автономной спутниковой навигационной системы и звездным координатором БОКЗ.

Определяемые при геометрической калибровке параметры включают элементы внутреннего ориентирования каждого МСУ, реализующие их системы координат (СК), положение каждого линейного ПЗС-детектора и отдельных чувствительных элемен-

тов в СК МСУ, а также матрицы связи СК МСУ между собой и с СК БОКЗ. При радиометрической калибровке определяется чувствительность каждого детектора всех ПЗС-линеек к спектральной плотности энергетической яркости.

Для проведения наземной калибровки МСУ собираются специализированные стенды, аппаратная и программная реализация которых учитывает вышеуказанную специфику.

Уточнение геометрических параметров КМСС в полете планируется осуществлять на основе одновременной съемки всеми МСУ тестового участка земной поверхности, насыщенного контурами с известными с необходимой точностью геодезическими координатами, и одновременного определения ККВО местоположения и ориентации КА. Радиометрическую калибровку МСУ в полете предлагается проводить по видеоданным, получаемым при съемке космического фона, Луны и акваторий.

ПРОЕКТ КОСМИЧЕСКОГО ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.А. Белов¹, Д.В. Воронцов¹, А.П. Калинин², М.Ю. Овчинников³, А.Г. Орлов¹, А.И. Родионов¹, И.Д. Родионов⁴

¹ ЗАО «Научно-технический центр (НТЦ) «Реагент», г. Москва

² Институт проблем механики РАН, г. Москва

³ Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, г. Москва

⁴ Институт химической физики им. Н.Н.Семенова РАН, г. Москва

В последние годы за рубежом информация, получаемая гиперспектрометрами с космических платформ, находит все большее применение в решении научных, хозяйственных, экологических и прикладных задач. Эта информация обеспечивает уникальные возможности по классификации и оценке состояния зондируемых природных и антропогенных объектов по сравнению с возможностями панхроматических и многозональных наблюдений.

Представлен проект гиперспектрометра, предназначенного для установки на малый космический аппарат (МКА).

Структура космического гиперспектрометра, набор функций и диапазон измерений определялись опытом, накопленным при проведении авиационного гиперспектрального дистанци-

онного зондирования. Гиперспектрометр может быть размещен на широком классе космических платформ. В качестве возможного варианта размещения гиперспектрометра рассматривается использование платформ группировки космической системы прогноза и мониторинга землетрясений «Вулкан». Спутники серии «Вулкан» представляют собой малые космические аппараты и рассчитаны на эксплуатацию на солнечно-синхронных орбитах с высотами 550–1000 км. Платформы космической системы унифицированы, что упрощает адаптацию гиперспектрометра с помощью механических, электрических и других интерфейсов. Использование МКА не требует для своего вывода тяжелых ракет-носителей, что позволяет значительно удешевить их запуск и эксплуатацию.

Рассмотрены задачи, эффективное решение которых реализуется с помощью гиперспектральной информации с космического аппарата.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Б.М. Балтер¹, Д.В. Воронцов², В.В. Егоров¹, А.Г. Орлов²

¹ Институт космических исследований РАН, г. Москва

² ЗАО Научно-технический-центр (НТЦ) «Реагент», г. Москва

Ключевую роль в сфере применения гиперспектральной аппаратуры занимает обработка получаемых гиперспектральных данных. Во многом благодаря правильному использованию методов обработки можно получить удивительное разнообразие информации об окружающей среде и реализовать огромное количество способов прикладного применения гиперспектральной аппаратуры в различных областях науки и техники.

Обработку гиперспектральных данных можно условно разделить на два независимых этапа.

Первый этап — предварительная обработка данных. На этом этапе учитываются аппаратные функции устройств, используемых для получения данных:

- проводится коррекция данных с целью устранения помех, вносимых перемещением комплекса во время съемки, и влияния условий съемки на полученные данные;
- совмещаются данные от нескольких гиперспектрометров и других устройств;
- проводится нормировка данных;

- применяются также различные цифровые фильтры для выявления особенностей тех или иных изучаемых объектов, чтобы упростить дальнейшую обработку или повысить «контрастность» данных.

Второй этап — тематическая обработка данных. На этом этапе применяются различные методы обработки и интерпретации данных. Выбор методов на этом этапе целиком зависит от задач, решение которых должен обеспечить комплекс гиперспектральной аппаратуры в конкретной ситуации. Среди наиболее популярных следует отметить методы спектрального угла, разделения на независимые элементы, корреляционных портретов и т. д.

Рассмотрены вопросы применения различных методов на всех этапах обработки гиперспектральных данных с целью получения максимальной эффективности использования гиперспектральной аппаратуры.

КОМПАКТНЫЙ ЭШЕЛЛЕ-СПЕКТРОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ ПОРЯДКОВ ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

*В.Н. Ангаров¹, Т.С. Афанасенко², Д.А. Беляев², И.И. Виноградов²,
В.И. Гнедых², О.А. Григорян¹, В.С. Жегулев², А.Ю. Иванов²,
Ю.К. Калинин², А.В. Калюжный¹, А.В. Киселев², О.И. Кораблев²,
Е.А. Лисин², В.Г. Лякишев², М.В. Поверев², А.В. Родин², О.З. Ростэ²,
А.К. Рыбакова², А.Ю. Титов¹, А.Ю. Трохимовский², А.А. Федорова²*

¹ СКБ КП ИКИ РАН, г. Таруса Калужской обл.

² Институт космических исследований РАН, г. Москва

Предложен новый метод спутникового мониторинга малых газовых составляющих земной атмосферы на основе спектроскопических измерений в ближнем ИК-диапазоне (0,7...1,7 мкм) с высоким спектральным разрешением ($\sim 20000 \dots 30000 \lambda/\Delta\lambda$), позволяющим различать отдельные линии молекулярного поглощения присутствующих газов и определять их концентрацию на основе интегральной величины поглощения солнечного излучения, отраженного (рассеянного) земной поверхностью. В совокупности с высоким быстродействием регистрирующего спектрометра (~ 1 с для записи отдельного спектра) и острона-

правленным полем его зрения ($<1^\circ$), метод позволит определять локальные значения концентрации с высоким пространственным разрешением порядка нескольких километров.

Метод предполагается применить для мониторинга содержания парниковых газов: углекислоты CO_2 и метана CH_4 . Углекислота как основной газ, влияющий на парниковый эффект, играет важнейшую роль в тепловом балансе тропосферы и формировании климата Земли. Для понимания роли природных и антропогенных процессов, регулирующих атмосферное распределение CO_2 , необходимы весьма точные и локализованные измерения концентрации CO_2 . Эти измерения, выполняемые с околоземной орбиты, будут способствовать качественно новому пониманию глобального кругооборота углерода. Измерения концентрации метана в атмосфере позволят получить важную дополнительную информацию о состоянии ряда экосистем, а также обнаружить дополнительные источники выброса в атмосферу в результате течи многочисленных газопроводов на территории нашей страны.

Оборудование, необходимое для реализации метода, создается на основе эшелле-спектрометра высокого разрешения, отличающегося от классической схемы отсутствием второго пассивного и, как правило, громоздкого дисперсионного элемента со скрещенной дисперсией. В нашем случае предварительная селекция одного из высоких порядков дифракции эшелле-решетки осуществляется с помощью акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ) отечественного производства на основе кристалла парателлуриата TeO_2 , размещаемого непосредственно внутри конструкции входного телескопа, формирующего поле зрения прибора. При каждом измерении входа спектрометра достигает излучение только в пределах спектрального интервала пропускания АОПФ, определяемого частотой ультразвуковой волны накачки кристалла АОПФ, задаваемой цифровым синтезатором. Согласование полосы пропускания АОПФ и области свободной дисперсии эшелле-решетки возможно в пределах полной полосы InGaAs многоканального детектора (512 элементов, красная граница спектральной чувствительности 1,7 мкм) производства компании Hamamatsu. Для мониторинга парниковых газов предполагается регистрировать отдельные ненасыщенные линии в слабых полосах поглощения CO_2 (1580 нм) и CH_4 (1640 нм), соответственно, в 49 и 47-м порядках

дифракции эшелле-решетки (24,355 штр/мм, угол блеска 70°) производства компании Spectra-Physics, Richardson Grating Laboratories. Для повышения точности измерений концентрации CO_2 и CH_4 потребуются дополнительные измерения поглощения O_2 (полосы 760 и 1270 нм, соответственно, в 101 и 61-м порядках), содержание которого в атмосфере хорошо известно.

В настоящее время в наземных условиях отрабатывается методика эксперимента: лабораторные калибровки спектрометра с использованием газовых смесей и многопроходных оптических ячеек, наблюдения прямого и рассеянного солнечного излучения. На основе модели переноса солнечного излучения через земную атмосферу создается методика обработки результатов спектральных наблюдений и определения содержания парниковых газов, паров воды и других атмосферных малых составляющих. Представлены результаты первых наземных испытаний и калибровок спектрометра, обсуждается постановка задачи первого «пилотного» орбитального эксперимента на борту российского сегмента МКС. Небольшая собственная масса спектрометра (меньше 2 кг) и отсутствие в его составе движущихся механических частей обеспечивают его конструктивное соответствие возможностям разрабатываемых в настоящее время микроспутниковых платформ нового поколения.

Разработка оказалась возможной во многом благодаря предыдущей успешной работе научной группы Отдела физики планет ИКИ РАН над подготовкой совместного эксперимента SPICAV/SOIR для миссии «Венера-Экспресс» Европейского космического агентства, а также благодаря поддержке со стороны Президиума РАН (Программа П-16, микроспутник «Чибис») и РКК «Энергия» [эксперимент РУСАЛКА (ручной спектральный анализатор компонентов атмосферы)]. Уникальность параметров прибора позволяет рассматривать возможность его применения в самых различных областях науки и техники.

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРОМЕТРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТ

*И.И. Виноградов, А.В. Григорьев, А.В. Киселев, Ю.К. Калинин,
О.И. Кораблев, А.В. Степанов, А.А. Федорова*

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Технология акустооптической фильтрации излучения до недавнего времени не находила широкого применения в космических исследованиях. В то же время использование акустооптических фильтров позволяет существенно снизить массу аппаратуры при ее достаточно высоком спектральном разрешении. Представлены результаты разработки трех спектрометров с использованием акустооптических устройств, работающих в настоящее время на спутниках Марса и Венеры. Спектрометр SPICAM-IR (проект «Марс-Экспресс») перекрывает диапазон 1,0–1,7 мкм с разрешающей силой $\lambda/\Delta\lambda \sim 1800\text{--}2400$. Прибор работает на орбите Марса с января 2004 г. и постоянно используется для мониторинга водяного пара, эмиссии синглетного кислорода и льдов на поверхности планеты. Эта разработка была существенно изменена для проекта «Венера-Экспресс»: прибор SPICAV-IR работает в диапазоне 0,7–1,7 мкм с разрешающей силой $\lambda/\Delta\lambda \sim 1000\text{--}1500$. Для наблюдения ночного свечения Венеры чувствительность прибора существенно увеличена. В третьем приборе, спектрометре высокого разрешения для солнечных затмений SOIR (проект «Венера-Экспресс»; диапазон 2,3–4,2 мкм, разрешающая сила $\lambda/\Delta\lambda \sim 25000$), акустооптический фильтр используется для предварительной селекции порядков дифракции эшелле-решетки. Спутник «Венера-Экспресс» выведен на орбиту планеты в апреле 2006 г. Обсуждаются также перспективные применения акустооптических перестраиваемых фильтров для планетных исследований.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТР ФСМ

В.А. Вагин¹, А.В. Григорьев², Б.Е. Мошкин²

¹ Научно-технологический центр уникального приборостроения — НТЦУП, г. Москва

² Институт космических исследований, г. Москва

Описывается малогабаритный фурье-спектрометр ИК-диапазона (2,5...25 мкм) со спектральным разрешением 3 см^{-1} и полем зрения $2,5^\circ$. Время записи интерферограммы 4 с.

В приборе использован интерферометр Майкельсона с апертурой 20 мм, в качестве приемника применен пироэлектрик P5449, а в качестве источника референтного сигнала — HeNe лазер ГН-0,5. Исследованы различные варианты параллелограммного механизма перемещения зеркала и юстировочных механизмов.

Изготовленная модель используется в настоящее время как ядро портативного спектроанализатора. Масса оптико-механического модуля составляет 1,2 кг.

На основании данного образца разрабатывается миниатюрный фурье-спектрометр с представленными выше характеристиками, но с массой оптико-механического модуля 0,5 кг и полной массой 1 кг.

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ ИК-СПЕКТРОМЕТРОВ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКОГО ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ФИЛЬТРА

А.В. Киселев, О.И. Кораблев

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Рассматривается методика наземных калибровок ИК-спектрометров, имеющих в своем составе монохроматор на основе акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ). Использованию данной методики благоприятствует ряд уникальных параметров АОПФ, а также успешное применение АОПФ в современном научно-космическом приборостроении. В ряду рассматриваемых ИК-спектрометров: успешно работающий почти два года в космосе СПИКАМ-ИК (проект «Марс-Экспресс»), который представляет собой монохроматор на основе АОПФ; успешно запущенные и начавшие работу СПИКАВ-ИК и СУАР

(проект «Венера-Экспресс»), где АОПФ используется для селекции порядков в эшелле-спектрометре, а также готовящиеся приборы ОРАКУЛ (орбитальный анализатор концентрации углекислоты) и «МирОМЕГА». В последнем предполагается использовать АОПФ для фильтрации изображения и обеспечить его работоспособность при температурах вплоть до -150 °С.

Основу этой методики составили наземные калибровки инфракрасных каналов приборов СПИКАМ и СПИКАВ. Они включают:

- получение дисперсионной функции монохроматора, которая в данном случае представляется зависимостью длины волны ИК-излучения на выходе АОПФ от частоты поданного напряжения; получение ее аналитической аппроксимации дисперсионной функции с точностью не хуже чем 10 % от полуширины аппаратной функции (в данном случае $\sim 4 \cdot 10^{-5}$), а также получение зависимости дисперсионной функции от температуры;
- определение разрешения (полосы пропускания АОПФ) и его зависимости от длины волны (частоты поданного на фильтр сигнала высокочастотного генератора) и профиля аппаратной функции, а также ее представление в виде, удобном для использования при обработке результатов, в частности, для создания синтетических спектров сравнения;
- определение спектральной чувствительности прибора, отношения сигнал/шум для различных длин волн.

Приводятся также примеры калибровок других параметров, связанных с конкретной реализацией спектрометров, имеющих в своем составе АОПФ (например, сравнение чувствительности для двух поляризаций и др.). Отражена специфика калибровки ИК-спектрометров, связанная с тем, что не все калибровки могут быть произведены после запуска прибора в космос или их точность может иметь только характер контроля, но быть недостаточной для полноценной обработки результатов. В заключение приводятся рекомендации по проектированию ИК-спектрометров на основе АОПФ.

АНАЛИЗ ЗАДАЧ И УСЛОВИЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРОЕКТЕ «ФОБОС-ГРУНТ»

Г.А. Аванесов, М.М. Железнов, Б.С. Жуков, Е.Б. Краснопецева

Институт космических исследований РАН, г. Москва

С помощью телевизионной системы навигации и наведения (ТСНН) и датчиков звездной ориентации БОКЗ-МФ в проекте «Фобос-Грунт» будет проводиться съемка Фобоса, Марса и звездного неба при подлете к Марсу, с орбиты спутника Марса, при посадке на Фобос, с поверхности Фобоса, а также при отлете возвратного модуля. На основе полученной информации будут решаться как научные, так и навигационные задачи миссии. Научные задачи телевизионных исследований включают:

- исследования основных форм рельефа поверхности Фобоса: кратеров и борозд;
- исследования пространственных вариаций отражательных характеристик поверхности Фобоса и оценки по ним характеристик грунта Фобоса;
- уточнение массы Фобоса и положения центра масс в модели фигуры Фобоса, что позволит сделать заключение о внутренней однородности Фобоса;
- исследования пылевых колец Марса и пылевого тора Фобоса.

После посадки КА на поверхность Фобоса будут исследоваться характеристики:

- пыли в непосредственной близости от поверхности Фобоса;
- собственного вращения Фобоса, что позволит оценить его моменты инерции и даст дополнительную информацию о распределении масс внутри Фобоса.

Задачами навигационного обеспечения миссии являются:

- припланетная навигация;
- картирование поверхности Фобоса и уточнение района посадки;
- информационная поддержка посадки, включающая автономный выбор места посадки и слежение за ним, измерения высоты и компонентов скорости КА относительно Фобоса и индикацию лимба Фобоса.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СРЕДСТВА НАВИГАЦИИ И НАБЛЮДЕНИЯ ПРОЕКТА «ФОБОС-ГРУНТ»

Г.А. Аванесов, Б.С. Жуков, Е.Б. Краснопеццева

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Представлены состав и основные технические характеристики телевизионных средств, создаваемых в Оптико-физическом отделе ИКИ РАН для проекта «Фобос-Грунт», включая звездный координатор (БОКЗ-МФ), узкоугольную (УТК) и широкоугольную (ШТК) телевизионные камеры телевизионной системы навигации и наведения (ТСНН) и оптический солнечный датчик (ОСД). Приведены краткое описание схемотехнических решений и функциональные возможности каждого прибора. Особое внимание уделяется вопросам совместного использования получаемых телевизионными средствами данных для решения навигационных и ряда других задач на различных этапах полета КА «Фобос-Грунт». Рассмотрены пути и средства как наземной отработки телевизионных систем, так и моделирования основных этапов миссии «Фобос-Грунт».

СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ ПРОЕКТА «ФОБОС-ГРУНТ»

М.М. Железнов, Т.В. Кондратьева, Р.М. Шашурин

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Посадка на Фобос — ключевой этап космического проекта «Фобос-Грунт», во многом определяющий успех миссии, основной задачей которой является доставка на Землю образцов грунта этого небесного тела. Автоматическое сближение космического аппарата (КА) с Фобосом и посадка на его поверхность представляют собой сложную навигационную задачу. Отчасти эту задачу призвана решить телевизионная система навигации и наведения (ТСНН), входящая в состав бортового комплекса управления перелетного модуля КА «Фобос-Грунт».

Телевизионная поддержка посадки, которую будет обеспечивать ТСНН, заключается в измерении по снимкам Фобоса и Марса на фоне звездного неба параметров движения КА на всех этапах сближения, а также в выборе и последующем уточнении места посадки.

Для наземной отработки ТСНН в Оптико-физическом отделе ИКИ РАН создан специальный стенд, позволяющий проверять алгоритмические, программные и технические решения, заложенные в аппаратуру этой системы, путем имитации процесса сближения и посадки КА «Фобос-Грунт» на поверхность Фобоса.

Управляющим элементом стенда служит компьютер, формирующий на экране жидкокристаллического монитора изображение Фобоса в нужном ракурсе, предъявляемое камерам ТСНН. Изображение формируется специальным программным обеспечением с использованием цифровой модели Фобоса, созданной специалистами ИКИ РАН и ГосНИИАС (Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем).

Являясь элементом современной испытательной базы, стенд позволяет в наземных условиях проводить отработку и отладку ТСНН, обеспечивая повышение надежности этой сложной технической системы.

ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТР АОСТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАРСА И ФОБОСА С БОРТА КА «ФОБОС-ГРУНТ»

К.В. Гречнев, А.В. Григорьев, Л.В. Засова, О.И. Кораблёв, Б.С. Майоров, Б.Е. Мошкин, Ю.В. Никольский, Д.В. Пацаев, А.А. Фёдорова, И.В. Хатунцев

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Фурье-спектрометр АОСТ разрабатывается для получения спектров собственного излучения атмосферы и поверхностей Марса и Фобоса, а также спектра солнечного излучения, прошедшего через атмосферу на лимбе Марса.

Спектры регистрируются в двух спектральных диапазонах: 2,6...4,1 мкм (используется охлаждаемый фотодиод PbSe) и 3...25 мкм (используется пироэлектрик LiTaO₃). Спектральное разрешение составляет 0,45 см⁻¹ (без аподизации). Поле зрения спектрометра имеет угловой диаметр, равный 2,5°. В приборе применен интерферометр типа «двойной маятник» с полыми зеркальными ретро-рефлекторами с апертурой 25 мм.

В качестве источника референтного сигнала используется одномодовый лазерный диод (DFB-LD) с длиной волны излучения 1,27 мкм.

Прибор снабжен двухосной системой наведения, позволяющей направлять поле зрения в любую точку, в том числе и на встроенные в прибор эталонные ИК-излучатели.

Прибор имеет собственную систему термостабилизации, позволяющую использовать при необходимости солнечное излучение для нагрева.

Масса прибора 4 кг, среднее энергопотребление во время сеанса измерений ~10 Вт.

ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ФОБОСА ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗОНДИРОВАНИЯ

С.И. Климов, А.Б. Манукин, Ю.Р. Озорович, А.А. Скальский
Институт космических исследований РАН, г. Москва

Исследование подповерхностной структуры Фобоса — крайне важная часть научной программы предстоящей космической миссии «Фобос-Грунт».

Возможность определения внутреннего строения Фобоса с использованием одновременных магнитотеллурических и сейсмических измерений позволит прежде всего выявить структурную и геоэлектрические особенности подповерхности Фобоса и совместно с данными по сейсмическому профилированию даст информацию о структурных и морфологических особенностях Фобоса.

Измерение компонент магнитного поля (с использованием трехкомпонентного магнитометра плазменного комплекса) и дополнительное измерение двух-трех компонент электрического поля непосредственно на поверхности Фобоса несет информацию о полях внешних источников и полях, индуцированных ими в проводящих слоях коры Фобоса.

Кроме того, эти одновременные измерения позволят выявить весь комплекс физических процессов, влияющих на движение Фобоса и его прецессию в гравитационном поле Марса.

Рассмотрены методические и экспериментальные вопросы комплексных измерений на основе использования приборов космической миссии «Фобос-Грунт» и возможности расширения научной программы за счет незначительного изменения состав-

ных частей приборов для измерения электромагнитных полей и магнитных свойств подповерхностного вещества непосредственно на поверхности Фобоса.

РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР МАРСА И ФОБОСА

А.К. Лукомский

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Исследование палеоклимата и климатической истории Марса напрямую связана с существованием развитой криолитозоны Марса, которая проявляется прежде всего в наличии северной и южной полярных шапок Марса. Убедительные доказательства существования криолитозоны Марса в средних широтах фиксируются космическими снимками поверхности планеты по расплавам вещества вблизи ударных кратеров различных размеров, что указывает на наличие мерзлотных образований различной мощности в подповерхностных горизонтах. В результате последних космических миссий на Марс были получены уникальные данные по составу веществ на поверхности Марса и возможно наличию жидких фракций на поверхности Марса в его климатической истории. Однако вопрос о подповерхностной структуре Марса и наличии мерзлотных образований в подповерхностных слоях остался вне рамок выполненных космических экспериментов. Поэтому развитие методов и приборов для проведения подобных космических исследований представляется весьма актуальной и перспективной задачей с точки зрения завоевания научных приоритетов в изучении подповерхностных мерзлотных структур Марса.

Рассмотрены принципы построения нового поколения приборов для индукционного зондирования подповерхности Марса и проведен предварительный анализ существующих методов и инструментария для создания летных вариантов приборов для будущих космических миссий. Результаты данного построения опираются на реальные проведенные полевые измерения.

Одновременно с экспериментальным развитием космического инструментария были выполнены обширные практичес-

кие испытания приборной части при исследовании природных экосистем, включая исследование береговых зон Тайваня, Италии, США, а также широкое использование данной аппаратуры для исследования геологических формаций в России и за рубежом, прежде всего исследования эталонного полигона титаноциркониевых песков в Тамбовской области, которые были выполнены в 2003–2005 годах по контракту с ОАО «Норильский никель». На данном полигоне осуществлялись сравнительные сезонные измерения одних и тех же структур для выявления сезонных вариаций, крайне необходимых при проведении космического эксперимента на поверхности Марса.

На основе большого комплекса теоретических и экспериментальных работ, выполненных в предыдущие годы, выработана оптимальная конфигурация прототипа космического аналога марсианского прибора. Планируется создание универсального прототипа полевого прибора для использования в практических задачах мониторинга природных экосистем в полярных районах Земли, а также летного варианта прибора для предстоящих миссий на поверхность Марса.

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ В ПРОЕКТЕ «ФОБОС-ГРУНТ»

М.И. Куделин, Б.С. Новиков, А.А. Фори

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Рассматриваются назначение, конфигурация и основные технические характеристики системы информационного обеспечения комплекса научной аппаратуры (СИОК), разрабатываемого в Оптико-физическом отделе ИКИ РАН для проекта «Фобос-Грунт». Прибор предназначен для управления научными приборами, сбора и хранения регистрируемой ими информации, а также для подготовки научных данных для передачи по радиоканалу на Землю. Особое внимание уделяется описанию схемотехнических решений, которые позволяют обеспечить функционирование прибора как интерфейса между комплексом научной аппаратуры и служебными системами КА «Фобос-Грунт».

СУБКОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ (СКНА) ПРОЕКТА «ФОБОС-ГРУНТ»

*Ю.Н. Агафонов, О.Н. Андреев, В.М. Готлиб, Е.Н. Евланов, Б.В. Зубков,
О.Е. Козлов, В.М. Линкин, А.Н. Липатов, А.Б. Манукин, О.Ф. Прилуцкий,
А.Б. Ульянов*

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Субкомплекс научной аппаратуры (далее СКНА) входит в состав комплекса научной аппаратуры проекта «Фобос-Грунт» и, в свою очередь, состоит из:

- манипуляторного комплекса МК-ГЗУ;
- малой универсальной сейсмической системы МУСС;
- приборов для исследования либрационных характеристик движения и орбиты Фобоса.

Рассмотрены следующие научные задачи по изучению Фобоса:

- исследования элементного состава поверхности;
- получение телевизионного изображения панорамы и микросъемок поверхности;
- исследования внутреннего строения, физических свойств и сейсмических шумов;
- исследование либрационных характеристик и орбиты.

Для каждой группы приведены характеристики измерительных средств, их частотный и динамический диапазоны.

Рассмотрены проблемы испытаний и проведения калибровок таких приборов в условиях наземной лаборатории.

ГРАВИИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

А.Н. Горшков, Б.В. Зубков, А.Б. Манукин

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Гравиинерциальные измерения представляют собой измерения гравитационных и инерционных полей. Они отнесены к одному классу измерений в соответствии с принципом эквивалентности. Гравиинерциальный прибор для таких измерений представляет собой связанную с корпусом упругим и диссипа-

тивными элементами пробную массу, движение которой относительно корпуса прибора измеряется с помощью чувствительного датчика.

Рассмотрены задачи, для решения которых необходимы гравитационные измерения. Среди них выделено четыре основные группы:

- инженерно-технические задачи;
- измерение воздействия на КА негравитационных сил;
- исследование гравитационных полей планет;
- проведение тонких физических экспериментов с использованием КА.

Для каждой группы указаны ряд конкретных задач, необходимая чувствительность измерительных средств, их частотный и динамический диапазоны.

Рассмотрена возможность использования датчиков с электронными емкостными преобразователями малых механических перемещений пробной массы, построенных на основе разработанных малогабаритных двухкоординатных акселерометров. Показано, что они могут найти применение для решения практически всех задач из первых трех основных групп и обеспечить диапазон измерений ускорений от 10^{-8} до $50g$.

Для проведения измерений при постановке тонких физических экспериментов необходима существенно более высокая чувствительность.

Рассмотрены вопросы предельной чувствительности гравитационных измерений, определяемой только равновесными тепловыми флуктуациями механического осциллятора (преобразователь малых механических перемещений пока считается идеальным). Показано, что, например, увеличение величины пробной массы до 1 кг и изготовление на ее основе механического осциллятора с собственной частотой $\sim 4,5 \cdot 10^{-2}$ рад/с позволило бы проводить измерения ускорений с чувствительностью $\sim 3 \cdot 10^{-13}g$. Приведены оценки обратного динамического влияния преобразователя на движение пробной массы.

Рассмотрены проблемы испытаний и проведения калибровок таких приборов в условиях наземной лаборатории.

ПРОЕКТ «ВЕНЕРА-Д»: СПУСКАЕМЫЙ АППАРАТ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ РАБОТЫ НА ПОВЕРХНОСТИ

Л.В. Засова, А.П. Экономов

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Рассмотрена научная и техническая концепция создания в рамках Федеральной космической программы России на поверхности Венеры станции с длительным сроком активного существования. Рассмотрены два альтернативных варианта: срок работы 30 дней и 1 год. Сделан исторический обзор проектирования долговременной станции в 1970-х гг. Рассмотрены возможные научные задачи и технические средства для их выполнения при запуске КА в 2016 г.: источники энергии, средства сбора и передачи данных с поверхности на орбитальный аппарат. В настоящее время отсутствуют радиоэлементы и источники тока, полностью готовые для применения на «Венере-Д» без необходимых доработок и испытаний в условиях, существующих на поверхности Венеры (470°C и 90 атм). Однако в России в течение длительного времени проводятся работы по созданию высокотемпературной электроники для нужд геологии и атомной промышленности, которые при соответствующей доработке могут быть использованы для реализации проекта.

МИССИЯ MET-NET К МАРСУ

Ю.Н. Агафонов, О.Н. Андреев, В.М. Готлиб, В.М. Линкин, А.Н. Липатов, В.Н. Назаров, А.А. Суханов, А.К. Тоньшев и др.

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Описана реализация будущей миссии к Марсу. На основе этой миссии предполагается создание сети малых станций на поверхности Марса для постоянного мониторинга атмосферы планеты в течение нескольких лет. Помимо метеорологической задачи предполагается проводить долговременные исследования сейсмических процессов планеты, изучать подповерхностный слой грунта и осуществить поиск воды в грунте и в атмосфере планеты. Создание сети малых станций на поверхности Марса позволит решить задачи, которые до сегодняшнего дня остаются открытыми. Предполагается, что миссия будет осуществляться на основе дешевых малых космических аппаратов на

электрореактивной тяге, запускаемых попутным грузом или малым носителем.

Показаны преимущества таких космических аппаратов, которые позволяют обеспечить решение вышеуказанных задач, как и на стандартных больших космических аппаратах. Приводятся данные по открывшимся возможностям в исследовании малых и больших планет Солнечной системы на основе таких космических аппаратов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСПУТНИКА МИССИИ MET-NET

О.Н. Андреев, С.А. Антоненко, В.Ю. Горетов, В.М. Готлиб, Г.В. Захаркин, Б.В. Зубков, В.Н. Каредин, В.М. Козлов, В.М. Линкин, А.Н. Липатов, В.Н. Назаров, А.К. Тоньшев, А.Ф. Шлык и др.

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Описана реализация общего облика аппарата, его основные характеристики. Представлен также комплекс аппаратуры, на основе которого строится космический аппарат и полезная нагрузка. Представленный комплекс аппаратуры является модификацией аппаратуры, разрабатываемой для космического аппарата «Солнечный парус». Показывается, как модернизация аппаратуры КА «Солнечный парус» позволяет решить задачу минимизации массы и габаритов с сохранением всех функций предыдущей аппаратуры. Показывается универсальность КА как будущей основы различных научных миссий. Кратко описывается архитектура аппаратуры миссии, позволяющая в дальнейшем менять полезную нагрузку.

ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ И КОМАНДНАЯ ЛИНИИ СВЯЗИ МИССИИ MET-NET

О.Н. Андреев, В.М. Готлиб, В.М. Линкин, А.Н. Липатов, В.Н. Назаров и др.

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Рассмотрена концепция канала связи и выбора диапазонов связи и методов передачи информации. Канал связи включает линию связи «Перелетный (орбитальный) аппарат – Земля» и линию связи «Метеорологическая станция – орбитальный ап-

парат». Эти линии связи обеспечивают передачу телеметрической информации и команд управления. Представлены расчеты энергетики и информативности каналов.

БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ДЛЯ ПОЛЕТА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА К МАРСУ НА ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНОЙ ТЯГЕ

В.М. Готлиб, В.М. Линкин, А.Н. Липатов, А.А. Суханов, Н.А. Эйсмонт
Институт космических исследований РАН, г. Москва

Представлены результаты проводимых баллистических расчетов для миссии MET-NET по созданию сети малых станций на поверхности планеты. Рассмотрены различные варианты для разных масс космического аппарата, которые позволяют провести выбор оптимального варианта аппарата. Рассмотрены три основных этапа:

- раскрутка с низкой орбиты;
- перелет по гелиоцентрической орбите;
- выход на орбиту Марса.

На этапе раскрутки с низкой орбиты были рассмотрены два варианта, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы, что позволяет варьировать миссию на первом этапе в зависимости от конкретной ситуации.

ОБЪЕДИНЕННОЕ ЗАСЕДАНИЕ СЕКЦИЙ 1 И 2

30 ЛЕТ РАЗРАБОТКИ СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ИНСТИТУТЕ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Г.А. Аванесов¹, П.П. Моисеев², В.А. Котцов¹, Э.И. Рожавский²

¹ Институт космических исследований РАН, г. Москва

² СКБ КП ИКИ РАН, г. Таруса Калужской обл.

Дан обзор разработок сканирующих устройств (СУ) для видеоинформационных систем в ИКИ РАН: начиная с многоспектральной сканирующей системы (МСС) «Фрагмент» в 1974 году для изучения природных ресурсов Земли, последующей разработки микросканирующих устройств для повышения разрешающей способности съемочных систем посадочных модулей, затем разработки СУ видеоспектрометра ОМЕГА для космического проекта «Марс-96» и европейского проекта «Марс-Экспресс». В настоящее время ведутся работы по созданию современных СУ для геостационарного ИСЗ «Электро-Л». Накопленный многолетний опыт разработки СУ обеспечивает эффективное создание СУ с применением современных технологий.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ПЛАНЕТОЛОГИИ

*А.А. Вострухин, А.С. Козырев, М.Л. Литвак, А.В. Малахов,
И.Г. Митрофанов, М.И. Мокроусов, А.Б. Санин, В.И. Третьяков*

Институт космических исследований РАН

Ядерная планетология как научное направление сформировалась еще в 60-х годах прошлого века, однако и сегодня она продолжает бурно развиваться. Совсем недавно была получена совокупность данных о нейтронном излучении поверхности Марса, благодаря которым удалось обнаружить огромные залежи водяного льда в грунте выше 60-го градуса северной и южной широты и также провести наблюдение за сезонным циклом конденсации атмосферной углекислоты на поверхности Марса. Эти результаты были получены российским прибором ХЕНД, разработанным по заказу Федерального космического агентства

в Институте космических исследований РАН. Прибор ХЕНД работает с мая 2001 года на борту космического аппарата НАСА «Марс Одиссей».

С использованием успешного опыта эксперимента ХЕНД сегодня в ИКИ РАН также по заказу Федерального космического агентства разрабатывается следующее поколение ядерных космических приборов: ЛЕНД, ДАН, МГНС и «Фобос-ХЕНД». Самый ранний запуск запланирован на 2008 г. для эксперимента ЛЕНД, который разрабатывается для исследования состава приповерхностного слоя Луны с борта космического аппарата НАСА ЛРО. Прибор ЛЕНД предназначен для создания глобальной карты распространенности водорода в приповерхностном слое Луны с пространственным разрешением около 5 км и для обнаружения возможных отложений водяного льда в полярных областях Луны, находящихся в постоянном затенении от Солнца и Земли. Также будет построена глобальная модель нейтронной компоненты радиационного фона на орбите вокруг Луны с высотой над поверхностью 30-50 км в широком энергетическом диапазоне: от тепловых нейтронов до 20 МэВ.

Прибор ДАН предназначен для поиска воды в приповерхностном слое Марса с борта посадочного аппарата МСЛ (НАСА). В отличие от остальных экспериментов ДАН является активным прибором, в состав которого включен генератор нейтронных импульсов. Активные измерения прибора ДАН позволят получить более точные оценки количества водяного льда, а также структуры грунта в области посадки и трассы движения автоматической лаборатории МСЛ. Более того, данные этого эксперимента будут учитываться в режиме on-line при управлении марсоходом для поиска наиболее интересных участков поверхности с целью их детального изучения другими приборами.

Приборы МГНС и «Фобос-ХЕНД» разрабатываются для исследования ближайшей к Солнцу планеты земной группы Меркурий с борта европейского аппарата «БеппиКоломбо» и для исследования естественного спутника Марса — Фобоса с борта российского посадочного аппарата «Фобос-Грунт». В ходе этих экспериментов будут измерены потоки нейтронов в широком энергетическом диапазоне, которые характеризуют наличие водорода и, следовательно, вероятное наличие воды в приповерхностном слое, а также спектр гамма-излучения основных породообразующих элементов Si, O, C, Na, Fe, Al и др. Оценки кон-

центраций этих элементов на основе данных измерений спектра гамма-излучения позволят определить состав приповерхностного слоя грунта Фобоса и Меркурия.

РЕГИСТРАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ CdZnTe-ДЕТЕКТОРОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ЭЛЕКТРОДОВ

М.В. Шмелева, О.А.Смирнов, В.В. Левин, В.В. Акимов
Институт космических исследований РАН, г. Москва

В последнее время в спектрометрах рентгеновского излучения, а также в телескопах для наблюдения астрофизических объектов в рентгеновском диапазоне энергий в качестве приемников излучения начали активно применяться детекторы на основе полупроводниковых соединений CdTe и $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (где $x = 0,0\dots 0,1$).

Полупроводниковые кристаллы CdTe и CdZnTe привлекательны для использования в качестве детекторов рентгеновского излучения из-за большого заряда входящих в их состав атомов и, следовательно, большого сечения взаимодействия фотонов с этим веществом, достаточно большой ширины запрещенной зоны, что позволяет применять их при комнатной температуре или при небольшом захлаживании до $0\dots -30$ °С. Однако существенным недостатком этих кристаллов является низкая подвижность и малое время жизни носителей, что приводит к неполному собиранию заряда и в результате — к вытягиванию высокоэнергетичных линий в сторону более низких энергий.

Рассматривается возможность исправления формы линии с изменением конфигурации электродов детекторов.

ПОСТРОЕНИЕ КЛАСТЕРА НА НАКОПИТЕЛЯХ ТИПА FLASH ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

К.В. Ануфрейчик, Н.П. Семена, И.В. Чулков
Институт космических исследований РАН, г. Москва

При разработке бортовых систем космического назначения часто применяются традиционные подходы, при которых ис-

пользуются стандартные аппаратные средства, например, модули PC-104 под управлением универсальных операционных систем, например, QNX или VxWorks.

Однако во многих случаях оптимальным решением для бортовых систем является применение специализированных программно-аппаратных комплексов (СПАК), характеризующихся отсутствием избыточных программных и аппаратных средств для решения конкретной задачи. В этой связи может быть рассмотрена возможность объединения управляющих систем и систем хранения информации на базе твердотельных накопителей флэш-памяти большой емкости, к достоинствам которых относятся миниатюрность, низкая потребляемая мощность и высокая стойкость к механическим воздействиям.

Рассматриваются различные аспекты использования твердотельных накопителей и кластеров из накопителей в СПАК, анализ преимуществ и недостатков по сравнению со стандартными решениями, а также варианты конкретной реализации в составе СПАК бортовых информационно-управляющих систем проектов «Коронас-Фотон» и СРГ.

РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ ЧАСОВОГО ВЕДЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА РТТ150 С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ОТ ПРИЕМНИКА GPS

М.В. Бунтов, Д.В. Симоненков, И.В. Чулков
Институт космических исследований РАН, г. Москва

Описывается реализация управления приводом часового ведения 1,5-метрового оптического телескопа РТТ150. Инвертор привода часового ведения обеспечивает высокоточное движение телескопа путем получения и подачи на двигатель «звездной» частоты 50,1394 Гц. Точность и стабильность поддерживается с использованием сигналов синхронизации от приемника GPS.

В описанном варианте устройства используются современные электронные компоненты и технологии, что позволяет создавать компактное, недорогое по стоимости и эффективное решение для обеспечения астрономического эксперимента.

О РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРИБОРОВ*А.М. Коптев*

Институт космических исследований РАН, г. Москва

В сложившихся экономических условиях одним из актуальных вопросов создания приборов космической техники становится обеспечение их надежности и качества при нарастании дефицита финансовых, трудовых и временных ресурсов. В этих условиях особую роль играет контроль качества и приемка продукции на всех стадиях ее разработки и изготовления.

Создаваемые в ходе научно-исследовательских, а также опытно-конструкторских работ изделия должны соответствовать ОТТ, ТТЗ, действующим ГОСТам и другой нормативно-технической документации. При опытном и серийном производстве необходимо обеспечить выполнение требований конструкторской, технологической и нормативно-технической документации. С другой стороны, очевидны необходимость эффективного использования денежных средств, выделяемых на поставку продукции и выполнение работ, оценка целесообразности, перспективности и экономической обоснованности проведения исследований и разработок.

Рассматривается модель процесса разработки прибора в виде вероятностной сети. Излагается постановка задачи многокритериальной оптимизации принятия решений в условиях ограничений по стоимости и времени разработки.