

МИССИЯ «ЧИБИС-М»

Сборник трудов выездного семинара

Серия

Механика, управление и автоматика

Под редакцией Р.Р.Назирова

Россия, Таруса
24-27 февраля 2009 г.

Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и автоматика» /Под ред. Р.Р.Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009.139 с.: табл., ил., цв.ил.

В сборник включены материалы выездного семинара Учреждения Российской академии наук Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) «Механика, управление и информатика» по теме «Миссия «Чибис-М», который проводился 24-27 февраля 2009 г. в г. Таруса на базе Специального конструкторского бюро космического приборостроения ИКИ РАН (СКБ КП ИКИ РАН).

Основное направление публикаций – научные, методические и конструкторские задачи и разработки, ориентированные на изучение новых физических механизмов электрических разрядов в атмосфере, теоретически предсказанных в 90-х годах прошлого столетия. Важный методический фактор, отражённый в сборнике, - по технически-организационным показателям комплекс научной аппаратуры (КНА), называемый КНА «Гроза» и имеющий общую массу 12,5 кг, рассматривается как единый «летающий» прибор, являющийся полезной нагрузкой и определяющий основные требования к микроспутнику «Чибис-М» (общая масса 40,5 кг).

В сборник включены материалы, представленные и обсуждаемые на сессионных заседаниях семинара. Работы подготовлены при поддержке гранта РФФИ по ориентированным фундаментальным исследованиям «Новые физические механизмы электрических разрядов в атмосфере» (06-02-08076-офи) и продолжают по гранту РФФИ «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офи_ц).

Издание рассчитано на научных и инженерно-технических работников, а также студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Материалы по микроспутнику «Чибис-М» можно найти на сайте ИКИ РАН (chibis.cosmos.ru).

In collector are included the materials of the visiting seminar “Mechanics, control and information theory” of the Establishment of the Russian Academy of Sciences of the Space Research Institute of RAS (IKI RAN) according to the theme “Mission Chibis-M”, which was conducted on February 24 to 27, 2009. in Tarusa city on the base of the Special Design Bureau of the Space Instrument Manufacture IKI RAN (SKB KP IKI RAN).

Basic direction of the publications - scientific, systematic, and design tasks and developments, oriented to the study of the new physical mechanisms of the electrical discharges in the atmosphere, theoretically forecast in the 90's of last century. The important systematic factor, presented in the collector, according to the technical- organizational indices the complex of scientific instruments (KNA), called KNA Groza and of the having the overall mass 12,5 kg, is considered as the united “flying” instrument, which is been payload and determining basic requirements for the micro-satellite Chibis-M (overall mass of 40,5 kg).

The materials, represented and discussed at the sectional sessions of seminar, are included in collector. Works are prepared with the support of Grant Russian Basic Research Fund for oriented basic research “New physical mechanisms of the electrical discharges in the atmosphere” (06-02-08076-ofi) and continue according to Grant Russian Basic Research Fund “Ionospheric studies of the physical mechanisms of the electrical discharges in the atmosphere” (09-05-13587-ofi_ts).

Publication is oriented for the scientific, engineering and technical specialists, and also the students and the graduate students of the corresponding specialists.

Information about the micro-satellite Chibis-M can be found on the IKI RAN site (chibis.cosmos.ru).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.И.Климов, В.Н.Ангаров, В.Н.Назаров, О.В.Батанов, Е.А. Антоненко

РЕДАКТОР

В.С.Корниленко

ВЕРСТКА

Е.О.Кораблева

© Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований (ИКИ РАН), 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы обнаружен ряд физических явлений в атмосфере, фундаментально изменивших наше представление о грозовых разрядах.

1. В наблюдениях с космических обсерваторий (КО) COMPTON и RHESSI зарегистрированы исключительно мощные импульсы гамма-излучения, идущие от Земли. Энергия импульсов достигает десятков килоджоулей, т.е. до $10^{17} \dots 10^{18}$ квантов излучения с энергией 100 кэВ и выше. Установлена пространственная и временная корреляция с радиоизлучением высотных молний. Измерен спектр гамма-излучения от десятков килоэлектронвольт до 10 мегаэлектронвольт. Полученные на этих спутниках данные продолжают обрабатываться и в настоящее время. КО COMPTON и RHESSI не предназначались специально для грозовых исследований. Поэтому проведённые на них измерения не носят комплексного характера и не обладают достаточным временным разрешением. Первые данные, полученные на запущенной в июне 2008 КО FGSTO (Fermi Gamma-ray Space Telescope Observatory), подтверждают результаты предыдущих наблюдений. Наблюдающаяся на ней монитором вспышек гамма-излучения (Fermi-GBM) энергия фотонов от TGF достигает 40 МэВ.
2. Зарегистрирована генерация коротких (~1 мкс) одиночных радио-разрядов, приводящих к излучению радиоимпульсов сверхвысокой мощности. Импульсы генерируются в грозовых облаках на больших высотах 13...20 км. Такие импульсы создают радиоизлучение в очень широком диапазоне частот, наблюдаемое на расстояниях до нескольких тысяч километров.
3. В наземных наблюдениях исследованы вспышки гамма-излучения, ассоциированные с грозовым электрическим полем. Гамма-излучение покрывает площадь 0,3...0,5 км², а возможно и больше.

В основе этих наблюдений лежит теоретически предсказанное в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) новое физическое явление, получившее название пробоя на убегающих электронах. Определяющую роль в этом процессе играют электроны релятивистских энергий. Рождающаяся в ходе развития пробоя лавина убегающих электронов служит источником гамма-излучения. Особенностью этого вида пробоя является то, что он происходит в низких электрических полях, но требует для своей инициации «затравочных» частиц высокой энергии. Одновременно рождается исключительно большое число электронов низких энергий. Движение этих электронов в электрическом поле грозы рождает мощный импульс радиоизлучения.

Принципиальную роль в развитии пробоя на убегающих электронах играют космические лучи высоких энергий. Широкий атмосферный ливень содержит большое количество высокоэнергичных электронов, которые и служат требуемой «затравкой» пробоя. Развитие широкого атмосферного ливня с частицами высоких энергий на больших высотах происходит, только если он движется под углом, близким к горизонту. В этом случае происходит усиление пробоя на убегающих электронах и значительное увеличение его пространственного масштаба. Именно поэтому, согласно теории, разряды на больших высотах носят столь мощный характер, как в радио-, так и в гамма-излучении.

Основная информация о пробое на убегающих электронах приходит из наблюдения гамма-излучения, создаваемого потоками быстрых электронов в тормозном процессе. Вместе с тем, ни гамма-излучение, ни

быстрые электроны, излученные на больших высотах, — 10...20 км, не могут наблюдаться наземными приборами. Поэтому особенный интерес представляют исследования на космических аппаратах, поскольку в верхних областях атмосферы гамма-излучение распространяется свободно. На достаточно большие расстояния могут распространяться и быстрые электроны.

Для понимания проблемы происхождения TGF очень важно получить данные о высотном грозном разряде, его радио-, видимом и ультрафиолетовом излучении. Важно, чтобы наблюдения этих излучений имели высокую субмикросекундную синхронизацию по времени, т.е. фиксировались на одном космическом аппарате. Решению этих задач посвящен проект микроспутника «Чибис-М».

В данном сборнике рассмотрены пути развития исследований по высотным грозным разрядам, а также задачи, методы исследований и конкретные требования к комплексу научной аппаратуры (КНА), который должен обеспечить решение поставленной научной задачи (НЗ)*.

МС (с. 26)

Разработанная и представленная в сборнике методика создания и использования микроспутниковых — МС (<100 кг) платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства является комплексной проблемой как научно-технического плана, связанной с разработкой и использованием современных (КА), так и научно-методической проблемой проведения фундаментальных космических исследований. Важным методическим фактором является то, что работа над проектом микроспутника «Чибис-М» началась с разработки модельного состава КНА и проводилась при поддержке гранта РФФИ по ориентированным фундаментальным исследованиям «Новые физические механизмы электрических разрядов в атмосфере» (06-02-08076-офи) и продолжается по гранту РФФИ «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офи_ц). Исполнители этих грантов — сотрудники ИКИ РАН, ФИАН, Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ).

ПРД 2,2 (с. 101)
РЧА (с. 72)
БНД-Ч (с. 90)
ДУФ (с. 58)
РГД (с. 49)

Представленный в сборнике состав комплекса научной аппаратуры (КНА «Гроза») уникален по ширине охвата энергетического диапазона и временному разрешению при ограниченной массе приборов. Комплексность обусловлена тем, что фактом регистрации высотного разряда («события») служит выработка блоком накопления данных (БНД-Ч) единого триггера события на основе совпадения триггеров приборов: рентген-гамма-детектора (РГД), радиочастотного анализатора (РЧА), датчика ультрафиолета (ДУФ). Алгоритмы выработки этих триггеров изложены в данном сборнике. Вся телеметрируемая научная информация, накапливаемая в БНД-Ч, передаётся с помощью бортового высокоинформативного передатчика (ПРД 2,2) на созданный в ИКИ РАН наземный приёмный пункт, информационно-технические данные которого представлены в сборнике. Следствием этой комплексности является то, что по технически-организационным показателям аппаратура рассматривается как единый «летающий» прибор, называемый КНА «Гроза».

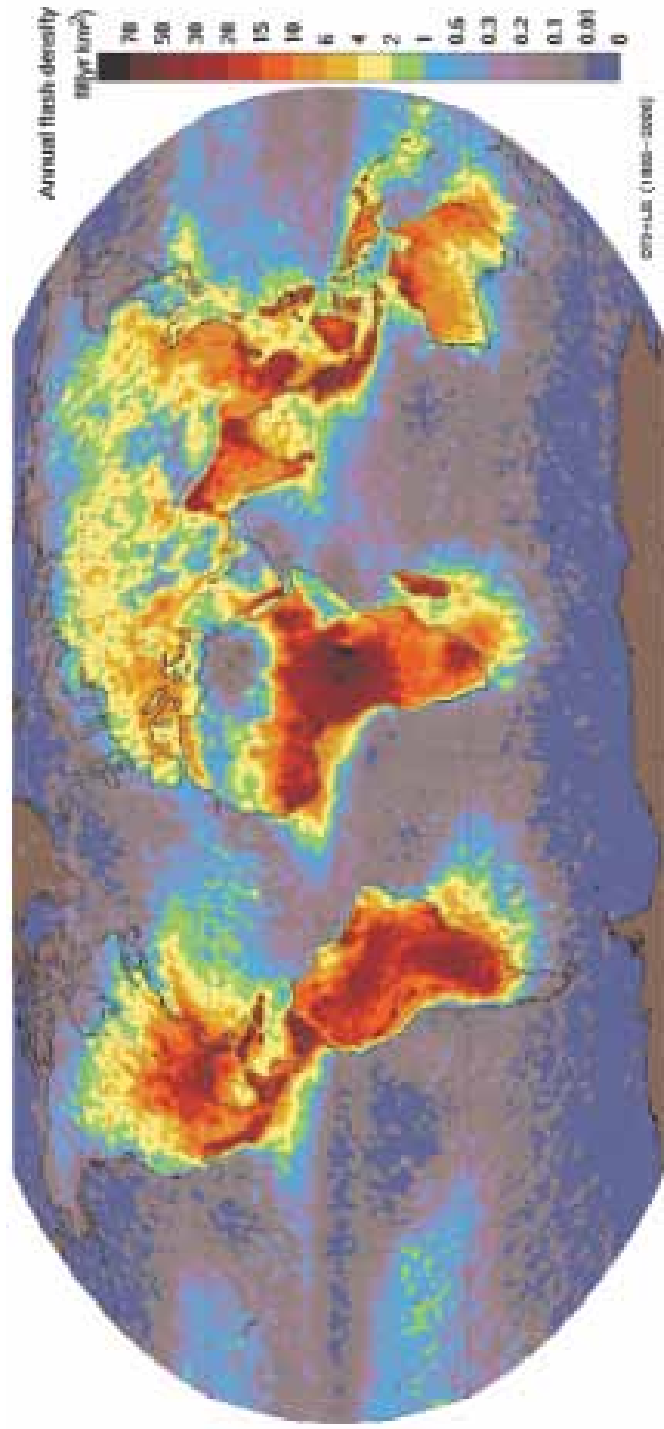
Основная задача бортовых служебных систем и конструкции микроспутника «Чибис-М», также представленных в сборнике, — обеспечение выполнения научных задач, поставленных перед КНА «Гроза». Разработка микроспутниковой платформы для фундаментальных и при-

*Здесь и далее по тексту на полях приведены отсылки к статьям, рассматривающим основные научные задачи (НЗ) микроспутника (МС) «Чибис-М», баллистику (БАЛ), состав комплекса научной аппаратуры (РГД, ДУФ, РЧА, БНД-Ч, ЦФК, ДОКА) и наземного сегмента (НС), Web миссии.

кладных научных исследований в ИКИ РАН проводилась с 2004 г. в рамках темы «Создание бортовой платформы микроспутника прикладного и научного назначения на основе современных технологий и разработок», включенной в программу фундаментальных исследований Президиума РАН «Изменения окружающей среды и климата: природные катастрофы». Платформа получила название «Чибис». Результаты проведенных исследований позволили перейти к разработке реального микроспутника «Чибис-М» (М — означает Молнии).

Следует отметить, что при обеспечении финансирования, полный объем которого будет уточнен в ходе проведения работ силами ИКИ РАН и имеющейся кооперации, микроспутник типа «Чибис» и соответствующий комплекс научной аппаратуры могут быть изготовлены, испытаны и подготовлены к запуску в течение 18 месяцев. Важным фактором, позволяющим в короткие сроки и успешно реализовать космический эксперимент, является то, что у ИКИ РАН и его кооперации имеется реальный опыт по созданию широкого круга научной аппаратуры, имеющей аналоги, успешно отработавшие на ряде предшествующих околоземных и межпланетных КА, и где были защищены ключевые решения.

Академики РАН А.В.Гуревич, Л.М.Зеленый



Глобальное распределение годовой плотности вспышек молний (вспышки/км² год) за 11 лет совместных наблюдений приборами OTD и LIS (1995-2005). Отмечаются максимум в центральной Африке и разница в данных земля-океан (по данным NASA LIS/OTD)

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ МИССИИ «ЧИБИС-М»

А.В. Гуревич — заведующий сектором, доктор физ.-мат. наук, академик РАН, Учреждение Российской академии наук Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Москва

Л.М. Зеленый — директор института, доктор физ.-мат. наук, академик РАН, Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

С.И. Климов — заведующий лабораторией, доктор физ.-мат. наук, Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

Изучение физических процессов при атмосферных грозовых разрядах на базе микроспутника «Чибис-М» ориентировано на детальные исследования одного из самых загадочных, несмотря на частоту их проявления и наблюдений, природных явлений. Последние десятилетия принесли серьёзные изменения в наше понимание природы грозовых разрядов, что было также связано и с космическими исследованиями.

Во время гроз были обнаружены: исключительно мощные импульсы гамма-излучения; радиоимпульсы сверхвысокой мощности и энергии, создававшие радиоизлучение в очень широком диапазоне частот. В основе этих феноменов лежит физическое явление, которое было в начале 90-х годов теоретически предсказано А.В. Гуревичем и К.П. Зыбиным в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН. Оно получило название «пробой на убегающих электронах». Весь этот процесс происходит до разряда между Землей и облаком, видимого в оптическом диапазоне, и занимает несколько сотен миллисекунд, а длительность серии всплесков — всего несколько десятков микросекунд. Наблюдать эти явления с Земли практически невозможно: поток электронов, генерирующих импульсы, направлен, в основном, вверх и почти сразу же поглощается в атмосфере. Порожденное излучение распространяется далее по всем направлениям, но по пути вниз, к Земле, гамма-фотоны высоких энергий опять-таки практически сразу же поглощаются земной атмосферой и лишь по пути вверх, где ее плотность резко уменьшается, они могут проникнуть в околоземное пространство и наблюдаться спутниками.

Ключевые слова: грозовые разряды, верхняя атмосфера, гамма-, радио-, ультрафиолетовое, рентгеновское излучение, пробой на убегающих электронах, микроспутник, бортовая научная аппаратура.

ВВЕДЕНИЕ

Электрические разряды в атмосфере, несмотря на их частоту проявления и наблюдений, — одно из самых загадочных природных явлений. Последние десятилетия принесли серьёзные изменения в наше понимание природы грозовых разрядов [1], что было также связано и с космическими исследованиями. В начале 90-х годов прошлого века космическая гамма-обсерватория COMPтон (НАСА, время работы 1991 — 2000 гг.) обнаружила исключительно мощные импульсы гамма-излучения земного происхождения, которые были связаны с молниевыми разрядами. Позже эти наблюдения подтвердила космическая обсерватория RHESSI (НАСА, запуск 2002 г.) [2,3]. Кроме этого, во время гроз были обнаружены радиоимпуль-

сы сверхвысокой мощности и энергии, создававшие радиоизлучение в очень широком диапазоне частот. Интересно отметить, что они появлялись чуть раньше самих молний в течение 2...3 предшествующих миллисекунд. Наконец, эти импульсы были зарегистрированы на Земле.

Весь этот процесс происходит до разряда между Землей и облаком, видимого в оптическом диапазоне, и занимает несколько сотен миллисекунд, а длительность серии всплесков - всего несколько десятков микросекунд. Наблюдать эти явления с Земли практически невозможно: поток электронов, генерирующих импульсы, направлен, в основном, вверх, и почти сразу же поглощается в атмосфере. Порожденное им излучение распространяется далее по всем направлениям, но по пути вниз, к Земле, гамма-фотоны высоких энергий опять-таки практически сразу же поглощаются земной атмосферой и лишь по пути вверх, где ее плотность резко уменьшается, они могут проникнуть в околоземное пространство и наблюдаться спутниками.

1. ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пути развития исследований по высотным грозовым разрядам были основной задачей гранта РФФИ по ориентированным фундаментальным исследованиям «Новые физические механизмы электрических разрядов в атмосфере», руководимого академиком РАН Гуревичем Александром Викторовичем (ФИАН). Исполнителями этого гранта (06-02-08076-офи) являлись сотрудники ФИАН, ИКИ РАН, Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ). В результате работ по гранту создана теория ступенчатого лидера в сильных электрических полях [4]. В отличие от обычной теории, в ней одновременно учитываются три основных процесса: обычный пробой, явление убегаия электронов и пробой на убегающих электронах. Показано, что в результате обычного пробоя в сильном электрическом поле происходит убегаия рождающихся высокоэнергичных электронов. Часть этих электронов, энергия которых превышает критическое значение, являются «затравкой» для пробоя на быстрых электронах, в результате которого нарастает лавина электронов релятивистских энергий. Релятивистские электроны эффективно излучают тормозные гамма-кванты. Проведено сравнение предложенной модели с данными наблюдений космической обсерватории RHESSI идущих со стороны Земли гамма-всплесков. Показано, что предложенная модель позволяет объяснить эти наблюдения. На основе проделанных расчетов сформулированы требования к экспериментальному изучению высотных разрядов, из них основным является одновременное измерение радио- и гамма-излучений в субмикросекундном временном диапазоне.

В ходе исследований по данному гранту, исходя из теоретических предпосылок, определён модельный приборный состав комплекса научной аппаратуры для выполнения основной научной задачи (НЗ) проекта; выработаны модельные технические требования к бортовой измерительной аппаратуре в различных диапазонах электромагнитных излучений. Проведенная разработка экспериментального подхода к исследованию высотного разряда показала необходимость использования специализированной космической платформы нового поколения и создания бортовой специальной аппаратуры для изучения атмосферных разрядов.

Разработка методики создания и использования микроспутниковых (<100 кг) платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства является как комплексной проблемой научно-технического плана, связанной с разработкой и использованием современных (КА), так и научно-методической

проблемой проведения фундаментальных космических исследований. Все эти проблемы логически связаны иерархией подготовки и проведения экспериментов на борту КА. Научно-методические аспекты этого направления обсуждались в ряде российских и международных конференций [5, 6].

Выбор и обоснование аппаратных методов исследований физических механизмов электрических разрядов в атмосфере и методическая разработка самого космического аппарата для проведения ионосферного космического эксперимента является важным разделом настоящей работы.

Данные по излучениям в различных диапазонах были получены и в ряде наземных физических обсерваторий. Наблюдатель на Земле замечает лишь небольшую часть энергии, которая выделяется при молниевых разрядах (разрядах, происходящих между облаками и Землей), сосредоточенную, в основном, в оптическом диапазоне и энергии звука: то есть, фактически видит молнию и слышит гром. Но, как отмечалось выше, в начале 90-х годов прошлого века космическая гамма-обсерватория COMPTON обнаружила исключительно мощные импульсы гамма-излучения земного происхождения, которые были связаны с молниевыми разрядами. Позже эти наблюдения подтвердила обсерватория RHESSI.

Кроме этого, во время гроз были обнаружены радиоимпульсы сверхвысокой мощности и энергии, создававшие радиоизлучение в очень широком диапазоне частот. Интересно отметить, что они появлялись чуть раньше самих молний в течение 2...3 предшествующих миллисекунд. Наконец, эти импульсы были зарегистрированы на Земле.

В основе этих феноменов лежит физическое явление, которое было в начале 90-х годов теоретически предсказано А.В. Гуревичем и К.П. Зыбиным в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН. Оно получило название [1] «пробой на убегающих электронах» - ПУЭ (рис. 1). Первоначально на грозовом облаке (высота приблизительно 10 ... 20 км) накапливается заряд. Затем, в результате некоторого «затравочного» события, рождается лавина электронов низких энергий, которые, двигаясь в большом электрическом поле, созданном электрическим зарядом на грозовом облаке, разгоняются до релятивистских скоростей и генерируют мощные импульсы (рис. 2) радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения. «Затравочным событием», как предполагается, служит попадание в промежуток между заряженным облаком и Землей высокоэнергичных частиц космических лучей.

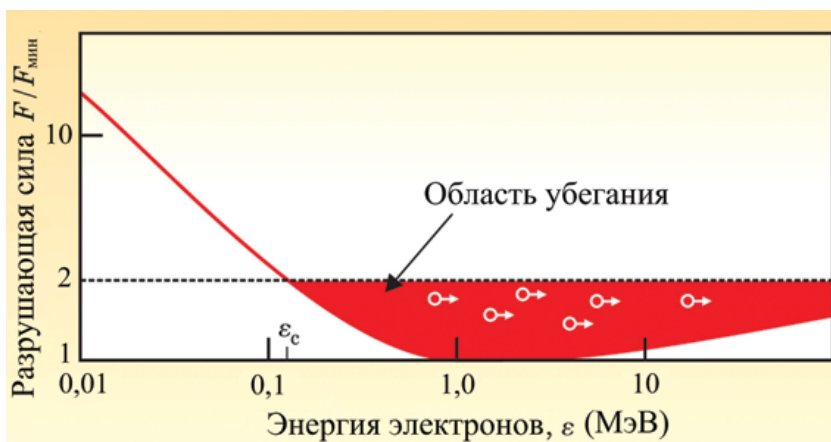
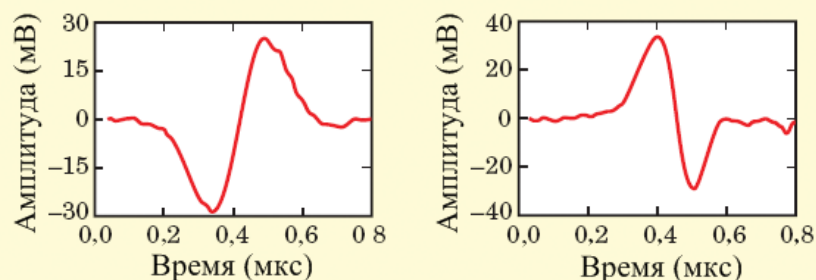
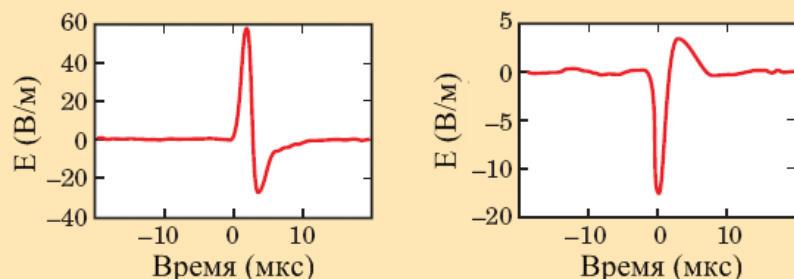


Рис.1. Процесс развития «пробой на убегающих электронах» (ПУЭ) (Gurevich A.V., Milikh G.M., Roussel-Dupre R. Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm. /Physics Letters A. 1992. T. 165. № 5-6. С. 463-468.)

а Инициализация разряда



б Узкие биполярные импульсы



в Грозовой разряд

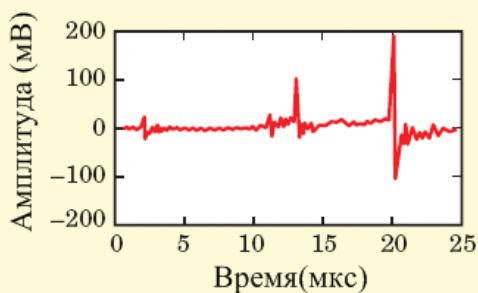


Рис.2. Временные характеристики грозовых параметров (Gurevich A.V., Duncan L.M., Medvedev Y.V., Zybin K.P. Radio emission due to simultaneous effect of runaway breakdown and extensive atmospheric showers //Physics Letters A. 2002. V. № 3-4. С. 320-326.)

Таким образом, для изучения ПУЭ как нового физического явления необходимо разработать методику и аппаратный состав фундаментального космического эксперимента (КЭ), нацеленного на регистрацию мощных субмикросекундных импульсов радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения.

Исследования гамма-всплесков (Terrestrial Gamma-ray Flashes – TGF, рис. 3) начались на предназначенной для астрофизических исследований космической гамма-обсерватории COMPTON (прибор BATSE) и продолжились на космической обсерватории RHESSI (февраль 2002 г.) (рис. 4). В настоящее время эти исследования продолжают на двух КА, в том числе на космической обсерватории Fermi (Fermi Gamma-ray Space Telescope Observatory, запущенной в июне 2008 г.), основная задача которой - исследование всплесков космического гамма-излучения (GRBs).

БАЛ (с. 43)

Важный методический фактор — баллистика (БАЛ) космического аппарата, предназначенного для реализации КЭ. Орбита должна проходить над приэкваториальными и средними географически-

ми широтами, где по статистике регистрируется максимум гроз (рис. 5). Высота орбиты, из-за рассеяния излучений, должна быть минимальной, однако при этом надо учитывать, что с уменьшением высоты орбиты уменьшается и срок жизни КА на орбите. Статистика наблюдений TGF очень мала. В последнее время ряд исследователей заявил [2], что на четырёх космических аппаратах одно TGF-событие регистрируется один раз за четыре недели. Следовательно, срок жизни КА на орбите должен быть не менее 2...3 лет. Такой срок жизни может быть у КА, находящегося на круговой орбите высотой 450...500 км. Приведенные параметры орбиты наблюдений близки к орбите Международной космической станции (МКС).

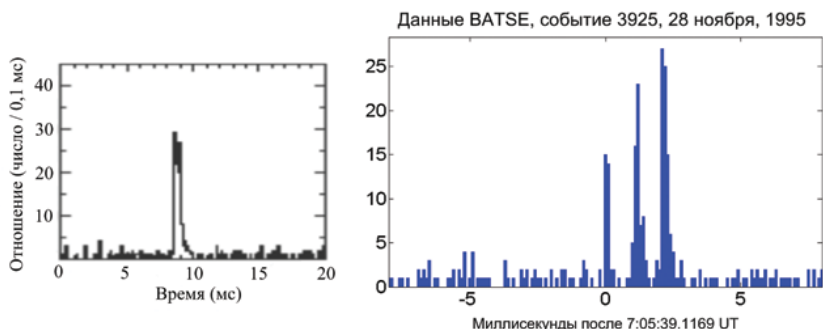


Рис.3. Длительность TGF- импульсов по данным прибора BATSE (гамма-обсерватория COMPTON, 75 событий за 9 лет)

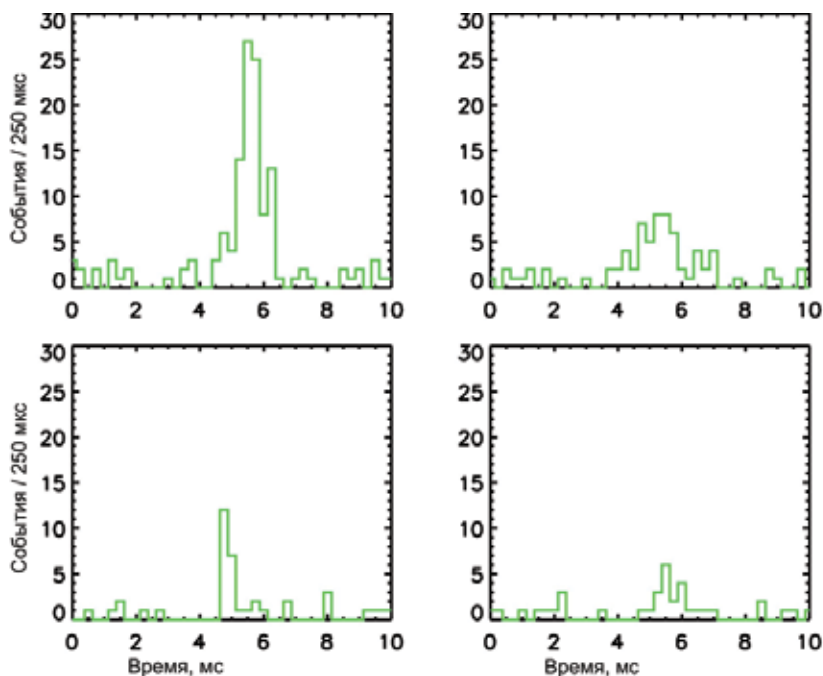


Рис.4. Длительность TGF- импульсов по данным гамма-обсерватории RHESSI (497 событий за 37 месяцев)

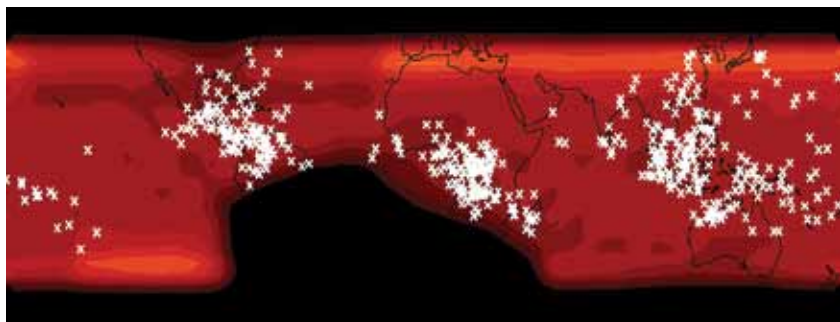


Рис. 5. Статистика распределения гамма-всплесков по данным космической обсерватории RHESSI (Stanley, 2006).(497 событий за 37 месяцев) (David M. Smith, Liliana I. Lopez, R. P. Lin, Christopher P. Barrington-Leigh. Terrestrial Gamma-Ray Flashes Observed up to 20 MeV / Science. 18 February 2005: V. 307. №. 5712. P. 1085 – 1088.DOI: 10.1126/science.1107466)

Поскольку на обсерватории RHESSI не было приборов для измерения радиоизлучений, TGF-события анализировались совместно с данными по ОНЧ-сферикам, регистрируемым сетью World-Wide Lightning Location Network (WWLLN). Исследования показали [3] статистическую согласованность с грозовыми разрядами наблюдений TGF-событий и ОНЧ-сфериков.

Новизна предлагаемого подхода к ионосферным исследованиям физических механизмов электрических разрядов в атмосфере заключается в едином научно-методическом подходе:

РЧА (с. 72), ДУФ (с. 58),
РГД (с. 49)

БНД-Ч (с.90)

МС (с. 26)

НС (с. 107)

- к измерениям параметров импульсов радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения;
- созданию системы сбора информации и выработки признака ПУЭ;
- максимальной адаптации систем КА по командно-информационному обеспечению фундаментального космического эксперимента;
- реализации наземного сегмента (НС) в виде единой информационной среды.

В настоящее время в космической физике и астрофизике накоплен значительный наблюдательный материал, полученный на КА. Большие успехи достигнуты в теоретических и экспериментальных 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 [5-7]. При этом необходимо осуществить комплексный подход к решению поставленных задач:

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

Перспективные направления развития экспериментальной физики требуют все более точных и высокоинформативных научных приборов. Более того, ситуация усложняется постоянным сокращением финансирования научных исследований, даже в развитых странах. Это обуславливает необходимость разработки и создания нового поколения научных приборов с малой массой и потребляемой мощностью, высоким уровнем метрологических параметров.

Важным фактором оказалось то, что оптимальный приборный состав комплекса научной аппаратуры (КНА) может иметь общую массу ~ 12 кг. Естественным становится вопрос создания конкретной микроспутниковой платформы, способной обеспечить размещение КНА, её бортовое обслуживание, передачу на Землю телеметрической информации и т.д.

Масса первого искусственного спутника Земли — 83 кг, второго — полтонны, третьего — почти полторы. Человечество осваивало космос, и с каждым годом нужно было выводить на орбиту все больше и больше полезного груза. Однако современная тенденция миниатюризации, захватывающей все области технологий, не обошла стороной и спутниковую отрасль. Благодаря успехам высоких технологий у исследователей появилась возможность выводить на орбиту полноценные научно-исследовательские станции малых размеров — массой менее ста килограммов (микроспутников — МС), обладающих целым рядом преимуществ по сравнению с тяжелыми КА.

Во-первых, стоимость запуска в космос объекта малой массы существенно ниже «обычной» и вполне «по карману» даже отдельному институту [8]. Сравнительно небольшой срок подготовки аппарата, что, вкуче с невысокой ценой, существенно снижает возможные риски при неудачном выводе аппарата на орбиту. Во-вторых, микроспутники более экологичны, так как для их вывода на орбиту сжигается значительно меньше горючего. В-третьих, отработав положенный срок и перейдя в более плотные слои атмосферы, микроспутник полностью сгорает, не оставляя после себя космического мусора.

Кроме этого, благодаря небольшому времени подготовки можно создавать целые группировки микроспутников, поддерживать которые относительно просто. Цикл разработки и подготовки к запуску большого научного спутника (например, орбитальной обсерватории) занимает от нескольких лет до десятилетия. За это время неизбежно устаревают научная аппаратура, что может существенно снизить эффективность исследований, особенно научных. Эта естественная для любой космической техники проблема становится менее актуальной в случае микроспутников, так как цикл их подготовки не так велик.

Важно отметить, что сами работы по созданию МС представляют сложную научную и техническую задачу [6, 7]. Не случайно многие МС, которые летают сегодня, представляют собой пока технологические образцы для отработки элементов систем будущих аппаратов. Таков, например, спутник PROBA-1 (Европейское космическое агентство, запуск 2001 г.), название которого расшифровывается как «Проект для отработки автономных бортовых систем» (Project for On-Board Autonomy). Его масса составляет 94 кг. Спутник предназначен для технологической отработки в реальных условиях автономных систем управления, навигации, наведения, распределения времени работы приборов и сброса информации [9]. Несмотря на то, что PROBA-1 задумывался, прежде всего, как технологический эксперимент сроком на один год, он продолжает работать на орбите и сегодня как спутник дистанционного зондирования Земли.

К настоящему времени созданы десятки МС для научных исследований (МАГИОН — www.iki.rssi.ru/interball, ASTRID и MUNIN — www.isf.se). Примеров МС достаточно много, однако необходимо отметить, что к их созданию все более активно подключаются университеты [10, 11], чему

также способствует низкая стоимость изготовления таких МС. Образовательная ценность МС двойка. Во-первых, сама их разработка представляет зачастую серьезную техническую задачу. Во-вторых, появляется возможность использовать в обучении данные, полученные непосредственно со спутника, что, безусловно, привлекает интерес студентов. Направленную подготовку таких специалистов крайне необходимо начинать как факультатив уже в средней школе, совершенствуя в последующем эти знания в вузе [12-16].

Первым проектом Программы научно-образовательных микроспутников [12] стал запуск 26 ноября 2001 г. грузового транспортного корабля (ТГК) "Прогресс-М1-7" с российско-австралийским микроспутником



Рис.6. Общий вид микроспутника «Колибри-2000»

«Колибри-2000» [13]. Космический аппарат был доставлен на борт Международной космической станции. В ночь с 19 на 20 марта 2002 г., через четыре месяца пребывания на Международной космической станции (внутри ТГК), после отделения грузового корабля микроспутник был выведен на самостоятельную орбиту. «Колибри-2000» (рис. 6) совершил 711 витков вокруг Земли и утром 4 мая 2002 г. завершил свое существование в плотных слоях атмосферы над акваторией Тихого океана.



Рис.7. Российские специалисты проводят обучение работе на школьном пункте приёма информации в женской школе Ravenswood (г. Сидней)

Анализ результатов полета первого научно-образовательного микроспутника полностью подтвердил перспективность реализации Программы [12-15] и дал полные основания использовать космический аппарат «Колибри-2000» в качестве базового для серии спутников с точки зрения: массы и габаритов; состава служебных систем и комплексов научной аппаратуры; одного из способов его запуска в космическое пространство; эксплуатации с использованием наземного сегмента и соответствующей инфраструктуры.

Образовательные задачи полёта «Колибри-2000» [16, 17] решались на базе школьных проектов: школа в Обнинске (Калужская область, Россия) и две школы в Сиднее (Австралия). Учащиеся, принимая информацию по радиолокационным каналам, получали сведения о конструкции МС, участвовали в интерпретации научных данных, готовили программы для компьютерной обработки информации (рис. 7).

Важным разделом дальнейшей

работы должна стать научно-методическая адаптация микроспутниковой платформы для ионосферных исследований физических механизмов электрических разрядов в атмосфере.

2. КОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ

Как было отмечено выше, в процессе работ по гранту РФФИ (06-02-08076-офи) был разработан модельный состав комплекса научной аппаратуры (КНА), предназначенного для размещения на микроспутниковой платформе «Чибис» [18, 19]. Было показано, что КНА (условное обозначение КНА «Гроза») должен обладать очень высоким временным разрешением (порядка наносекунды), и объем получаемой им информации чрезвычайно велик. За очень короткое время (порядка 10 мкс) необходимо проанализировать и запомнить до 100 Гбайт данных. При таком объеме вести непрерывную запись наблюдений невозможно. Сложной научно-методической проблемой является выбор события — «триггера» — согласование его с соответствующим грозовым разрядом (как отмечалось выше, статистически редко регистрируемым — один раз за четыре недели), по которому данные наблюдений будут записываться в кольцевую память прибора, а затем передаваться в общую память КНА и на Землю.

Разработанный модельный состав КНА «Гроза» по-настоящему уникален. Впервые исследования грозовых разрядов будут проводиться в столь широком спектре электромагнитных излучений.

В состав КНА «Гроза» (рис. 8), физические характеристики приборов которого более подробно изложены в данном сборнике [20-26], входят:

- рентген-гамма-детектор РГД (диапазон рентгеновских и гамма-излучений — 50...500 кэВ) [20]; РГД (с. 49)
- ультрафиолетовый детектор ДУФ (диапазон ультрафиолетовых излучений — 300...450 нм) [21]; ДУФ (с. 58)
- радиочастотный анализатор РЧА (20...50 МГц) с АФУ РЧА [22]; РЧА (с. 72)
- цифровая камера оптического диапазона ЦФК (пространственное разрешение 300 м) [23]; ЦФК (с. 63)
- магнитно-волновой комплекс — МВК (0,1...40 кГц) [24]: ПСА (процессор спектрального анализа), ИМ (индукционный магнитометр), КВЗ 1 и КВЗ 2 (комбинированный волновой зонд), БЭ ФМ и ДФМ (феррозондовый магнитометр); МВК (с. 78)
- блок накопления данных БНД-Ч [25]; БНД-Ч (с.90)
- передатчик научной информации ПРД 2,2 с АФУ-2,2[26]. ПРД 2,2 (с. 101)

Состав научной аппаратуры - комплексный и уникальный по ширине охвата энергетического диапазона и временному разрешению при ограниченной массе приборов. Следствием этой комплексности является то, что по технически-организационным показателям перечисленная выше аппаратура рассматривается как единый прибор, называемый КНА «Гроза». Это обусловлено и тем, что фактом регистрации высотного разряда («события») служит выработка блоком БНД-Ч единого триггера события на основе совпадения триггеров приборов РГД, РЧА, ДУФ. Алгоритмы выработки этих триггеров изложены в данном сборнике [20-22]. Вся телеметрируемая научная информация, накапливаемая в БНД-Ч, будет передаваться на наземный приёмный пункт с помощью высокоинформативного передатчика ПРД 2,2 [26].

КНА «Гроза» ориентирован на проведение измерений на орбите и должен решать следующие научные задачи:

- а) изучение ступенчатого лидера высотных молний;
- б) высотного распределения разрядов облако — поверхность Земли и облако — облако;

- в) узких биполярных радиоимпульсов (NBP);
- г) фона радиоизлучений в диапазоне 20...50 МГц;
- д) всплесков УФ- излучения;
- е) электромагнитных параметров космической погоды в диапазоне $10^{-2} \dots 2 \cdot 10^4$ Гц.

МВК (с. 78)
 ПРД 2,2 (с. 101)
 РЧА (с. 72)
 БНД-Ч (с. 90)
 ДУФ (с. 58)
 РГД (с. 49)
 ЦФК (с. 63)

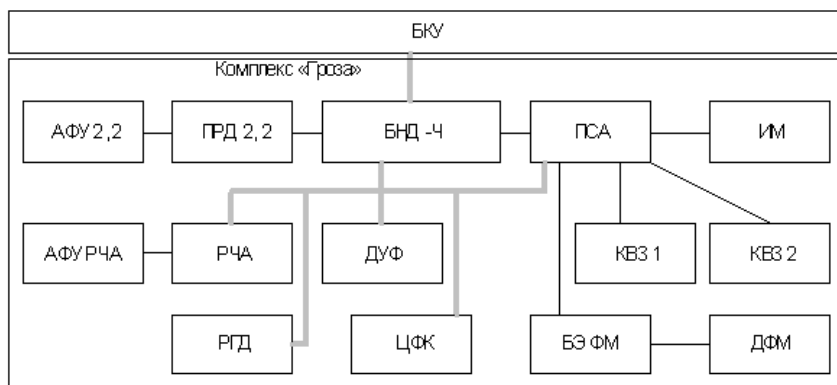


Рис.8. Структурная схема КНА «Гроза»:
 БКУ — бортовой комплекс управления; РГД — рентген-гамма-детектор [9]; ДУФ — ультрафиолетовый детектор [10]; РЧА – радиочастотный анализатор [11]; ЦФК — камера оптического диапазона [12]; БНД-Ч — блок накопления данных [13]; ПРД 2,2 — передатчик научной информации с антенной АФУ 2,2 [14]; магнитно-волновой комплекс: ПСА — процессор спектрального анализа, ИМ — индукционный магнитометр, КВЗ — комбинированный волновой зонд (2 шт), БЭ ФМ — блок электроники и ДФМ — датчик феррозондового магнитометра

Решение последней задачи должно осуществляться как параллельно с изложенными выше задачами, так и самостоятельно с помощью магнитно-волнового комплекса (МВК – Украина, Венгрия, Россия). В целях дальнейших исследований влияния космической погоды на грозовую активность целесообразно использовать широкополосные датчики электрического и магнитного полей малой массы и пониженного потребления, используемые в предшествующих космических экспериментах [27]. Исследование плазменно-волновых параметров космической погоды на микроспутниках может способствовать развитию мониторинга процессов солнечно-земных связей [28-30].

Новизна предлагаемого подхода к исследованию новых физических механизмов электрических разрядов в атмосфере на микроспутнике «Чибис-М» заключается:

- а) в требовании субмикросекундного временного разрешения измерительной аппаратуры и разработке принципиально новой бортовой системы сбора и обработки высокоопросной информации, которая осуществляет одновременную регистрацию процессов, происходящих в радио-, оптическом и гамма-диапазоне;
- б) разработке, с учетом имеющегося задела и поставленной фундаментальной задачи, специальной космической платформы и комплекса научной аппаратуры; следует отметить, что аппаратура КНА «Гроза» имеет аналоги, отработанные в ходе проведения ряда предшествующих проектов по фундаментальным космическим исследованиям (ВЕГА, «Фобос», «Интербол» и др.), а также на микроспутниках «Колибри-2000» [16] и «Университетский-Татьяна» [10, 11].

В процессе работы на орбите КНА «Гроза» должен также реализовывать научно-образовательную программу путем передачи в радиолюбительском диапазоне части научной информации (например, с магнитно-волновых приборов) непосредственно на школьные и университетские наземные приёмные пункты. Студенты и школьники смогут непосредственно участвовать в реализации программы и приобретать реальный опыт космических исследований. Важно отметить, что реализация научно-образовательной программы с использованием микроспутников началась в ИКИ РАН запуском в 2002 г. микроспутника «Колибри-2000».

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

Опыт, полученный в проекте «Колибри-2000», используется для дальнейшего развития микроспутниковых технологий. С 2004 г. в ИКИ РАН ведутся разработки новой универсальной микроспутниковой платформы для фундаментальных и прикладных научных исследований. Тема «Создание бортовой платформы микроспутника прикладного и научного назначения на основе современных технологий и разработок» была включена в программу фундаментальных исследований Президиума РАН «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы». Платформа получила название «Чибис» [31]. Результаты проведенных исследований позволяют перейти к разработке реального микроспутника «Чибис-М» (М — означает Молнии) для проведения космического эксперимента. При обеспечении финансирования, объёмы которого будут оценены в ходе проведения работ, силами ИКИ РАН и имеющейся кооперации микроспутник «Чибис-М» и научная аппаратура могут быть изготовлены, испытаны и подготовлены к запуску в течение 18 месяцев. Важным фактором, позволяющим в короткие сроки и успешно реализовать космический эксперимент, является то, что практически вся аппаратура, входящая в состав КНА «Гроза», имеет аналоги, успешно отработавшие на ряде предшествующих КА, где были защищены ключевые решения.

Важным фактором является то, что в организационно-методическом плане микроспутник «Чибис-М» рассматривается как «летающий прибор» [31]. Роль «летающего прибора» выполняет КНА «Гроза», а микроспутниковая платформа обеспечивает его (прибор) потребности по нахождению на нужной орбите, ориентации в пространстве, информационным и энергетическим параметрам и т.д. Концепция «летающего прибора» позволяет проводить научные космические исследования в России без привлечения дорогостоящих космических аппаратов, разрабатываемых предприятиями космической отрасли.

Основные технические параметры микроспутника «Чибис-М»

Масса общая ~ 40 кг;

- научные приборы — 10,8 кг;
- служебная аппаратура — 12,6 кг;
- конструкция и система терморегулирования — 16,6 кг.

Орбита — круговая высотой ~ 480 км.

Время активного существования — не менее двух лет.

Более подробно технические характеристики приведены в [28].

Микроспутник «Чибис-М» с приведёнными характеристиками должен быть уникален по своим параметрам, особенно по параметру соотношения массы научной аппаратуры (10,8 кг) с общей массой (40 кг), составляющему 27%.

4. НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ

На первом этапе должны быть разработаны и проверены на макетах приборов заложенные в КНА «Гроза» алгоритмы выбора события-«триггера», по которому данные наблюдений будут записываться в кольцевую память каждого прибора, входящего в КНА, а затем передаваться в общую память КНА и на Землю.

Следующий этап — разработка и проверка на моделях служебных систем МС алгоритмов оперативного управления в полёте, способствующих регистрации физических параметров от грозовых разрядов.

Проект предполагает продолжение уже проводящихся теоретических исследований явления пробоя на убегающих электронах и проработку космического эксперимента на основе имеющихся заделов по платформе микроспутника, его служебных систем и измерительных приборов электромагнитных излучений различных диапазонов (радио-, оптический, рентгеновский и гамма-диапазоны). Основным требованием является одновременное измерение радио- и гамма-излучений в субмикросекундном временном диапазоне. Измерение оптического и ультрафиолетового излучений должно служить цели определения местонахождения источника излучения.

Особенно на начальном этапе полёта должны решаться методические задачи по отработке приборами КНА «Гроза» индивидуальных алгоритмов выработки триггеров и изучению параметров электромагнитной обстановки (ЭМО) на микроспутнике в полёте, что, наряду с проведением на земле комплекса мероприятий по обеспечению электромагнитной чистоты, необходимо для реализации высокой чувствительности приборов. Обеспечение электромагнитной чистоты требует разработки и реализации широкого круга организационно-методических мероприятий [29, 30].

Микроспутники в настоящее время начинают широко использоваться как для фундаментальных, так и для прикладных исследований [31]. Микроспутниковый мониторинг динамики окружающей среды является чрезвычайно эффективным и в настоящее время практически не имеющим альтернативы инструментом в силу присущих ему возможностей получения непрерывных наблюдений при глобальном охвате планеты. При этом возникает необходимость глубокого анализа имеющихся уже сегодня супермассивов спутниковых данных и обеспечения возможностей проведения принципиально новых измерений параметров окружающей среды. Используя современные достижения микроэлектроники, эти измерения можно осуществлять с помощью малых специализированных космических аппаратов, фактически представляющих собой множество «летающих приборов». Экономичность многоспутниковой орбитальной группировки определяется, прежде всего, стоимостью единичного аппарата.

На основе успешной реализации микроспутника «Колибри-2000» и вышеприведенных сведений можно сделать вывод, что российская технология использования инфраструктуры Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) для обслуживания микроспутников с помощью транспортно-грузового корабля (ТГК) «Прогресс-М1» обладает определенным потенциалом, который нужно применять в зарождающейся сейчас «нише» космических товаров и услуг. ТГК типа «Прогресс-М» является важной составляющей системы транспортно-технического обслуживания МКС, что предусматривает его регулярное использование в грузопотоке «Земля - борт». Например, за время полета станции «Мир» к ней были запущены 64 корабля типа «Прогресс». Это обстоятельство необходимо учитывать при оценке объема услуг, связанных с выводением в космос перспективных микро- и наноспутников (≤ 10 кг).

Образовательная программа на микроспутнике «Чибис-М» может быть сформирована совместно учёными и специалистами ИКИ РАН и НИИЯФ МГУ.

В ходе реализации этой программы должны быть разработаны организационно-технические мероприятия по созданию наземной инфраструктуры, обеспечивающей наземный прием и обработку информации с микроспутниковой платформы. Центр приема информации и управления микроспутниками (рис. 9) начал создаваться в Специальном конструкторском бюро космического приборостроения ИКИ РАН в г. Таруса (Калужская обл.).

НС (с. 107)



Рис. 9. Антенна СМ-175 центра приема информации и управления микроспутниками (Специальное конструкторское бюро космического приборостроения ИКИ РАН в г. Таруса, Калужская обл.)

Следует отметить, что как составляющая часть проекта исследования на орбите велась и продолжается работа по изучению роли высокоэнергичных электронов и космических лучей в грозových разрядах на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН (рис. 10) [32, 33].

Имеется соглашение с Львовским центром Института космических исследований Национальной академии наук Украины и Национального космического агентства Украины (ЛЦ ИКД НАНУ-НКАУ) о проведении активного эксперимента по акустическому воздействию на атмосферу и ионосферу во время пролёта «Чибис-М» над наземным стендом (рис. 11).



Рис.10. Тянь-Шаньская высокогорная научная станция ФИАН

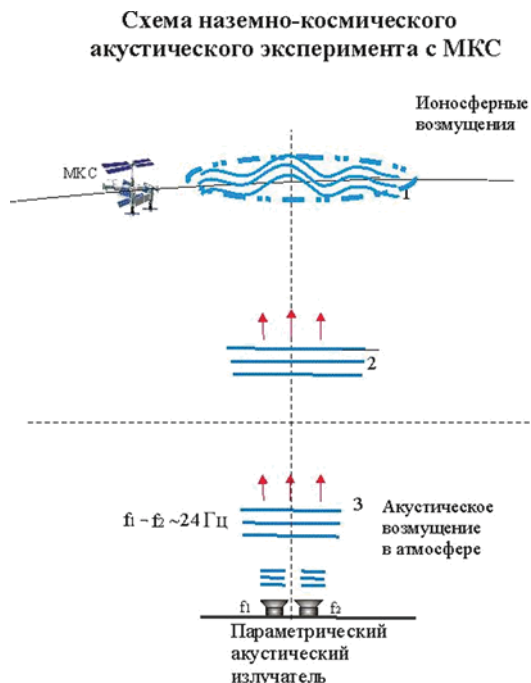


Рис.11. Схема наземно-космического акустического эксперимента ЛЦ ИКИ НАНУ НАУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный подход к исследованию процессов в атмосферных грозных разрядах может дать новые фундаментальные результаты по процессам, происходящим в сверхмощных генераторах энергии. Знание этих процессов имеет и прикладное значение в части генерации гамма-излучения. Грозные процессы наиболее интенсивны в приэкваториальных областях, где активно развиваются новые авиационные коммуникации. Знание в этих районах доз радиации и уровня сверхмощных радиоизлучений необходимо для обеспечения безопасности полётов.

Важно отметить, что у коллектива, ведущего разработку микроспутника «Чибис-М», имеется большой опыт аналогичных разработок, наиболее близко относящихся к предлагаемому проекту:

1. Проекты ИКИ РАН (приборы для измерения электрических и магнитных полей в радиодиапазоне):
 - Эксперимент АПВ-Ф для КА «Фобос» (1989 г.);
 - Эксперимент АСПИ для КА ИНТЕРБОЛ-1 (1995-2000 гг.);
 - Эксперимент СПРУТ на станции «Мир» (1997 г.);
 - Микроспутник «Колибри-2000» (2002 г.).

В настоящее время в стадии разработки летных образцов приборов подготавливаются:

- Эксперимент "Обстановка" для МКС (2010 г.);
- Эксперимент ММФФ для КА «Спектр-Р» (2010 г.);
- Эксперимент ФПМС для КА «Фобос-Грунт» (астрономическое окно для запуска — 2009, 2011 гг.).

2. Коллектив ФИАН принимает участие в подготовке эксперимента «Молния-Гамма» для МКС (2011).
3. У НИИЯФ МГУ накоплен 50-летний опыт космических исследований, приборы стояли уже на первых космических аппаратах. Приборы по регистрации различных типов частиц, разработанные и изготовленные в НИИЯФ:
 - рентгеновский эксперимент на ИСЗ «Прогноз-9» — сцинтилляционный спектрометр жесткого рентгеновского излучения (10...200 кэВ), наблюдения различных астрофизических объектов, в том числе непрерывные (в течение 2-х мес.) наблюдения центра Галактики, кроме того, наблюдения Солнца;
 - на орбитальной станции «Мир» - комплексный эксперимент ГРИФ по изучению астрофизических объектов (гамма-всплески, пульсары, двойные системы) и фоновых потоков гамма-квантов, нейтронов, заряженных частиц; обнаружены области существования устойчивых потоков квазизахватченных электронов высоких энергий на низких широтах под радиационными поясами; такие электроны могут имитировать астрофизические всплески рентгеновского и гамма-излучения;
 - эксперимент на спутнике «Коронас-Ф» с прибором СПР-Н — поляриметр жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек; зарегистрировано более 100 вспышек, для более чем 20 даны оценки степени поляризации жесткого рентгеновского излучения.

В ходе подготовки проекта «Чибис-М» необходимо:

- провести физический анализ динамических характеристик импульсов радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения для определения метрологических характеристик соответствующих детекторов;
- разработать алгоритмическую модель системы сбора измерительной информации радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения детекторов, обеспечивающей субмикросекундное временное разрешение;
- провести баллистический расчет параметров орбиты КА, максимально обеспечивающей проведение фундаментального космического эксперимента;
- разработать научно-методическую программу реализации фундаментального космического эксперимента.

На базе физических параметров, полученных по телеметрическим каналам с микроспутника «Чибис-М», должна быть проверена теория пробы на убегающих электронах (ПУЭ), способная ответить на два основных вопроса:

- почему величина электрического поля в грозовых облаках значительно ниже величины критического поля, необходимого для возникновения обычного пробоя;
- какие процессы генерируют резкую вспышку гамма-излучения с энергией фотонов до 100 кэВ.

Фундаментальные задачи проекта и методы исследования основных параметров грозовых разрядов были одобрены ведущими мировыми специалистами в этой области из Англии, Франции, Чехии и США во время совещаний рабочих групп Международного института космических наук (Берн, Швейцария):

- по проекту ТАРАНИС, планируемому Европейским космическим агентством на 2011 г. и направленному на исследования разрядов в системе облако — ионосфера;
- по теме CARNES (Coupling of Atmosphere Regions with Near-Earth Space) — 26-30 января 2009 г.

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич АВ., Зыбин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // УФН. 2001.Т. 171.С.1177-1199.
2. Fishman G.J. TGF observations with the gamma-ray burst monitor on the Fermi Observatory// AGU Chapman Conference on the Effects of Thunderstorms and Lightning in the Upper Atmosphere. Penn State University, State College, PA, USA, 10-14 May 2009. P. 33-34.
3. Smith D.M., Hazelton B.J., Dwyer J.R, Holzworth R.H., Lay E.H. RHESSI observation of terrestrial gamma-ray flashes// AGU Chapman Conference on the Effects of Thunderstorms and Lightning in the Upper Atmosphere. Penn State University, State College, PA, USA, 10-14 May 2009.P. 34.
4. Gurevich A.V., Zybin K.P., Medvedev Yu.V. Runaway breakdown in strong electric field as a source of terrestrial gamma flashes and gamma bursts in lightning leader steps// Phys. Lett. 2007. V. 361. P. 119 – 125.
5. Климов С.И., Родин В.Г. Разработка методики создания микроспутниковых (~50 кг) платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства // Космическое приборостроение. Координатно-временные системы с использованием космических технологий. Приборы для космических исследований планет и Земли. Сборник трудов по результатам выездного семинара / Под редакцией Р.Р.Назирова. Россия, Таруса 7-9 июня 2006. М.:ИКИ РАН. 2007. с. 16-24.
6. Klimov S.I., Rodin V.G., Zelenyi L.M., Angarov V.N. Development of the method of the creation of micro-satellite (~ 50 kg) platforms for the fundamental and applied research of the Earth and near-earth outer space// Small Satellites for Earth Observation. Digest of the 6th International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin, April 23-26, 2007/ Eds. by Rainer Sandau, Hans-Peter Roeser, Arnoldo Valenzuela. Wissenschaft und Technik Verlag, Berlin, 2007. P. 311-314.
7. Ангаров, В.Н., Климов С.И., Новиков Д.И., Родин В.Г. Научно-методические аспекты создания микроспутниковых платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства// Космонавтика и ракетостроение. 2007. Т.4(49). С. 150-157.
8. International Study on Cost-Effective Earth Observation Mission/ Ed. by Rainer Sandau, German Aerospace Center (DLR), Taylor & Francis, 2005.
9. Bermyn J., Dorn C. PROBA spacecraft family small mission solutions for emerging applications// Small Satellite for Earth Observation. 6th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA) Berlin, April 23-26, 2007 / Eds. R.Sandau, H.P.Roser, A.Valenzuela, 2007. P. 41-44.
10. Садовничий В.А., Панасюк М. И., Бобровников С. Ю. и др. Исследования радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве на микроспутнике МГУ «Университетский - Татьяна» // Космические исследования. 2007. Т. 45. С. 275-289.
11. Гарипов Г.К., Панасюк М.И., Рубинштейн И.А. и др. Детектор УФ на

борту научно-образовательного микроспутника МГУ «Университетский-Татьяна»// ПТЭ. 2006. №1.С. 135-141.

12. Klimov S.I., Tamkovich G.M., Angarov V.N., Grigoriev Yu.I., Grigoryan O.R., Dobriyan M.B., Nozdrachev M.N., Papkov A.P., Pharnakeev I.V., Radchenko V.V., Vasiliev S.I., Zelenyi L.M. Aerospace education program realization by means of the micro-satellite. Small Satellite for Earth Observation //4th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA) Berlin, April 7-11, 2003/ Eds. H.P.Roser, R.Sandau, A.Valenzuela, 2003. P. 387-390.
13. Ангаров В.Н., Васильев С.И., Григорьев Ю.И., Громов С.К., Климов С.И., Папков А.П., Тамкович Г.М. Проект «Колибри-2000» – начало реализации программы научно-образовательных микроспутников // Полёт. 2002. №11. С. 35-40.
14. Григорьев Ю.И., Громов С.К., Григорян О.Р., Радченко В.В., Добриян М.Б., Егоренков О.В., Елисов Н.В., Курилов В.А., Казанский Ю.А., Климов С.И., Ноздрачев, А.А.Суханов М.Н., Тамкович Г.М. Программа создания и использования научно-образовательных микроспутников (The Program of Development and Application of Scientific-Educational Micro-Satellites)// Космонавтика и ракетостроение (Cosmonautics and Rocket Engineering). 2003.Т. 2 (31). P. 49-56.
15. Ангаров В.Н., Высоцкий В.В., Добриян М.Б., Калужный А.В., Козлов В.М., Климов С.И., Родин В.Г., Тамкович Г.М., Васильев С.И., Григорьев Ю.И., Казанский Ю.А, Грачев Е.А., Григорян О.Р., Радченко В.В., Папков А.П., Курилов В.А. «Колибри-2000» – первый в Программе научно-образовательных микроспутников// III международная конференция-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке». 27-31 мая 2002, г.Королев Московской обл., книга 2, 2002. С.279-286.
16. Klimov S.I., Afanasyev Yu.V., Grachev E.A., Grigoryan O.R., Grushin V.A., Lysakov D.S., Nozdrachev M.N., Savin S.P. Results of in-flight operation of scientific payload on micro-satellite Kolibri-2000// Planet. Space Sci. 2005.V. 53. P. 349-356.
17. Тамкович Г., Климов С.И., Григорян О., Петров В., Радченко В. Основные научно-образовательные результаты микроспутника «Колибри-2000»// IV Международная конференция–выставка «Малые спутники. Новые технологии. Миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке», г. Королев Московской области. 31 мая – 4 июня 2004 г., книга II, 2004.С. 287-302.
18. Zelenyi L.M., Rodin V.G., Angarov V.N., Breus T.K., Dobriyan M.B., Klimov S.I., Korablev O.I., Korepanov V.E., Linkin V.M., Loupian E.A., Ivanov N.N., Lopatento L.E., Sedykh O.Yu. Micro-satellite “Chibis” – universal platform for development of methods of space monitoring of potentially dangerous and catastrophic phenomena// Selected Proceedings of the 5th International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin, April 4-8, 2005 / Eds. by Hans-Peter Roeser, Rainer Sandau, Arnoldo Valenzuela. Walter de Grueter, Berlin, New York, 2005. P. 443-451.
19. Ангаров В.Н., Добриян М.Б., Зеленый Л.М., Назиров Р.Р., Родин В.Г., Марков А.В., Брюханов Н.А., Климов С.И., Корепанов В.Е., Линкин В.М., Лупян Е.А., Кораблев О.И., Готлиб В.М., Эйсмонт Н.А., Лякишев В.Г., Калужный А.В., Козлов В.М., Летуновский В.В., Папков А.П., Иванов Н.Н., Седых О.Ю., Лизунов А.А., Реш Г.Ф. Проект микроспутника «Чибис» в составе Международной космической станции для мониторинга катастрофических явлений// Вопросы миниатюризации в современном космическом приборостроении, Сборник докладов выездного семинара/ Под ред. Р.Р.Назирова, Россия, г. Таруса, 2 - 4 июня 2004.М.: ИКИ РАН, 2005. С. 14-36.

20. Гарипов Г.К., Свертилов С.И., Яшин И.В. Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором РГД. (Статья в настоящем сборнике, с. 49).
21. Гарипов Г.К., Свертилов С.И., Яшин И.В. Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором ДУФ. (Статья в настоящем сборнике, с. 58).
22. Готлиб В.М., Каредин В.Н., Тоньшев А.К., Гаретов В.Ю. Радиочастотный анализатор-регистратор молниевой активности для микроспутника «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 72).
23. Бондаренко А.В., Докучаев И.В., Котцов В.А.. Цифровая фотокамера для регистрации атмосферных грозových разрядов. (Статья в настоящем сборнике, с. 63).
24. Новиков Д.И., Климов С.И., Корепанов В.Е., Ференц Ч., Лихтенбергер Я., Марусенков А., Боднар Л. Магнитно-волновой комплекс микроспутника "Чибис-М" для изучения электромагнитных параметров космической погоды. (Статья в настоящем сборнике, с. 78).
25. Ангаров В. Н., Козлов В. М., Новиков А. А., Наганов С. А., Шестаков С. А. Блок накопления данных для КНА «Гроза». (Статья в настоящем сборнике, с. 90).
26. Готлиб В.М., Каредин В.Н., Скородумов В.Н., Бруква Н.Н.. Радиоканал передачи научных данных микроспутника «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 101).
27. Дудкин Ф.Л., Климов С.И., Корепанов В.Е., Марусенков А.А., Сухинюк А.Е. Современные тенденции развития космического научного приборостроения // Вопросы миниатюризации в современном космическом приборостроении, Сборник докладов выездного семинара / Под ред. Р.Р.Назирова, Россия, г. Таруса, 2 - 4 июня 2004. М.: ИКИ РАН, 2005. С. 112-125.
28. Ангаров В.Н., Климов С.И., Родин В.Г., Калюжный А.В., Летуновский В.В., Козлов В.М. Специфика создания базовой конструкции и компоновки бортового комплекса аппаратуры МС «Чибис-М» для исследования грозových разрядов. (Статья в настоящем сборнике, с. 26).
29. Климов С.И., Григорян О.Р. Сверхмалые электромагнитно-чистые спутники для экологического мониторинга // Инженерная экология. 1996. N1. С.112-125.
30. Григорян О.Р., Климов С.И., Кузнецов С.Н., Панасюк М.И. Антропогенный фактор электромагнитного загрязнения ближнего космоса // Инженерная экология. 1996. N4. С.24-41.
31. Климов С.И. Перспективы микроспутников. Фундаментальные космические исследования и мониторинг потенциально опасных и катастрофических явлений с использованием небольших КА // Российский космос. 2008. № 6(30). С. 28-34.
32. Антонова В.П., Вильданова Л.И., Гуревич А.В., Зыбин К.П., Караштин А.Н., Крюков С.В., Рябов В.А., Пискаль В.В., Птицын М.О., Чубенко А.П., Шлюгаев Ю.В., Щепетов А.С. Тянь-Шаньский экспериментальный комплекс для изучения процессов в грозовой атмосфере // ЖТФ. 2007. с. 72.
33. Антонова В.П., Вильданова Л.И., Гуревич А.В., Зыбин К.П., Караштин А.Н., Митько Г.Г., Рябов В.А., Птицын М.О., Чубенко А.П., Шлюгаев Ю.В., Щепетов А.С. Гамма-излучение от грозových облаков и эффект пробы на убегающих электронах // Радиофизика. 2009.

SCIENTIFIC TASKS OF MISSION CHIBIS - M

Gurevich Alexander Viktorovich¹ (Head of the laboratory, Academician, Ph.D.),

Zelenyi Lev Matveevich² (Director, Academician, Ph.D.),

Klimov Stanislav Ivanovich² (Head of the laboratory, Ph.D.)

¹Institution of Russian Academy of Sciences Physical Institute name of N.Lebedev (FIAN), Moscow

²Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

Studies of physical processes with the atmospheric lightning discharges on the base of micro-satellite Chibis - M are oriented to detailed studies of one of the mysterious, in spite of their frequency of manifestation and observations, natural phenomena. Recent decades brought serious changes in our understanding of nature of the lightning discharges, which was also connected with space reserchies.

They were discovered during the thunderstorms: exceptionally powerful gamma-ray bursts; the radio-frequency pulses of the superhigh power and of the energies, which created radio emission in the very wide frequency band. At the basis of these physical phenomenon, was in the beginning of the 90's theoretically predicted by A.V. Gurevich and K.P. Zybin from the Physical Institute named of P.N. Lebedev of the RAS. It was called name "breakdown on the running away electrons". This entire process occurs to the discharge between the Earth and the cloud, seen in the optical range, and it occupies several hundred milliseconds, and the duration of a series of splashes - only several ten microseconds. To observe these phenomena from the Earth is practically impossible: electron stream, which generate pulses, is directed, in essence, upward, and almost immediately it is absorbed in the atmosphere. The generated emission is propagated further in all directions, but along the way downward, to the Earth, the gamma-ray contracts of high energies are furthermore practically immediately absorbed by the earth's atmosphere and only along the road upward, where its density sharply decreases, they can penetrate in the near-earth space and be observed by satellites.

Keywords: lightning discharges, upper atmosphere, gamma- radio-ultraviolet- radiation, micro-satellite, breakdown on the running away electrons, electrons of the relativistic energies.

СПЕЦИФИКА СОЗДАНИЯ БАЗОВОЙ КОНСТРУКЦИИ И КОМПОНОВКИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА АППАРАТУРЫ МС «ЧИБИС-М» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРОВОВЫХ РАЗРЯДОВ

В.Н. Ангаров — заместитель директора, Специальное конструкторское бюро космического приборостроения Учреждения Российской академии наук Института космических исследований РАН (СКБ КП ИКИ РАН), Таруса

С.И. Климов — заведующий лабораторией, доктор физ.-мат.наук, Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

В.Г. Родин — помощник директора института, Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

А.В. Калюжный — начальник сектора, Специальное конструкторское бюро космического приборостроения Учреждения Российской академии наук Института космических исследований РАН (СКБ КП ИКИ РАН), Таруса

В.В. Летуновский — ведущий конструктор, Специальное конструкторское бюро космического приборостроения Учреждения Российской академии наук Института космических исследований РАН (СКБ КП ИКИ РАН), Таруса

В.М. Козлов — начальник сектора, Специальное конструкторское бюро космического приборостроения Учреждения Российской академии наук Института космических исследований РАН (СКБ КП ИКИ РАН), Таруса

Показаны основные принципы создания базовой конструкции микроспутников (МС) для решения различного рода научно-исследовательских, прикладных и образовательных задач. Приведены конструктивные решения микроспутника и транспортно-пускового контейнера, разрабатываемого для выведения на низкие круговые орбиты (до 600 км) с наклоном $51,6^\circ$ с использованием технических возможностей грузовых кораблей «Прогресс», российского сегмента МКС и участием в подготовке к запуску российских космонавтов в составе экипажей МКС. Приводятся данные по составу и техническим характеристикам бортового комплекса аппаратуры микроспутника «Чибис-М» и компоновочные особенности создания подобных микроспутниковых аппаратов.

Ключевые слова: микроспутник, бортовой комплекс аппаратуры

Современная тенденция миниатюризации, захватывающая все области технологий, не обошла стороной и спутниковую отрасль. Благодаря успехам высоких технологий, у ученых появилась возможность выводить на орбиту полноценные научно-исследовательские станции малых размеров — массой менее ста килограммов (микроспутники), обладающие целым рядом преимуществ по сравнению со своими тяжелыми «собратьями».

Небольшой срок разработки и наземных испытаний и сравнительно невысокая стоимость создания и запуска в космос малоразмерного аппарата в качестве попутной нагрузки снижает возможные риски при неудачных запусках.

К настоящему времени созданы десятки МС для научных исследований. Однако, несмотря на применяемые при их создании высокие технологии, общие подходы конструирования и компоновки, в основном, остаются традиционными.

В первую очередь создается универсальная базовая служебная микро-спутниковая платформа, оснащенная всем необходимым для автономного полета МС и его связи с Землей. На этой базовой платформе предусмотрены свободные места для размещения научной аппаратуры (полезной нагрузки).

Однако, с учетом большого количества решаемых научных задач, а, следовательно, и разнообразия научной аппаратуры, на базовых платформах редко удается оптимально разместить эту полезную нагрузку. Это обусловлено жесткой компоновкой служебных систем микро-спутниковой платформы.

Более чем десятилетний опыт работы по изготовлению научно-исследовательских и научно-образовательных микро-спутников, накопленный в СКБ КП ИКИ РАН, позволил по-новому взглянуть на проблемы разработки базовых конструкций и компоновочных решений при создании МС «Чибис-М».

Первой задачей является создание общего базового несущего конструктива–трансформера, который отвечает требованиям решаемой научной задачи и ограничениям, определяемым схемой выведения МС на орбиту с помощью ракеты-носителя в качестве попутного груза к основной полезной нагрузке.

В нашем случае это ракета-носитель «Союз» и транспортно-грузовой корабль «Прогресс».

Далее начинаются компоновочные работы по оптимальному (с точки зрения научной задачи) размещению научных приборов на базовом конструктиве–трансформере в последовательности, определяемой важностью получаемой от прибора научной информации.

В проекте МС «Чибис-М» приоритет принадлежит комплексу приборов для исследования грозовых разрядов в атмосфере, содержащему четыре основных научных прибора:

- рентген-гамма-детектор (РГД); РГД (с. 49)
- ультрафиолетовый детектор (ДУФ); ДУФ (с. 58)
- радиочастотный анализатор (РЧА); РЧА (с. 72)
- цифровая фотокамера (ЦФК). ЦФК (с. 63)

Существенно расширяет круг научных и образовательных задач магнитно-волновой комплекс приборов (МВК), состоящий:

- из индукционного магнитометра (ИМ);
- двух комбинированных волновых зондов (КВЗ); МВК (с. 78)
- феррозондового магнитометра;
- процессора спектрального анализа (ПСА).

Для сбора и первичной обработки информации, поступающей со всего комплекса научной аппаратуры (КНА), создан блок накопления данных (БНД-Ч). БНД-Ч (с. 90)

Передача научной информации на Землю осуществляется передатчиком ПРД 2,2 ГГц. ПРД 2,2 (с. 101)

Итак, компоновочные работы по созданию МС «Чибис-М» начинаются с оптимального размещения (в порядке вышеназванных приоритетов) КНА на базовом конструктиве–трансформере. Последовательность размещения иллюстрируют рис.1-13.

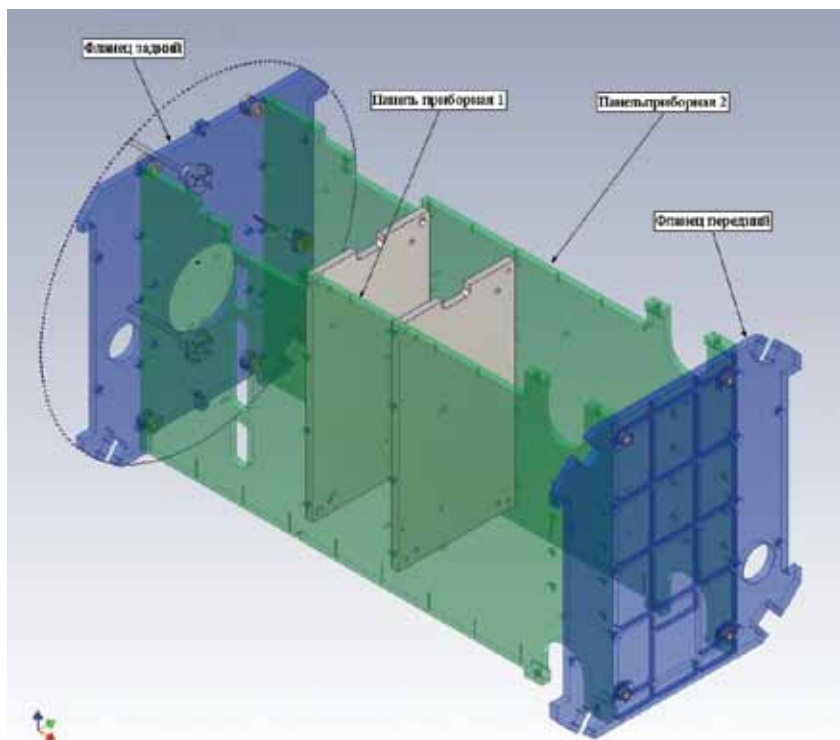


Рис. 1. Базовый конструктив-трансформер

РГД (с. 49)

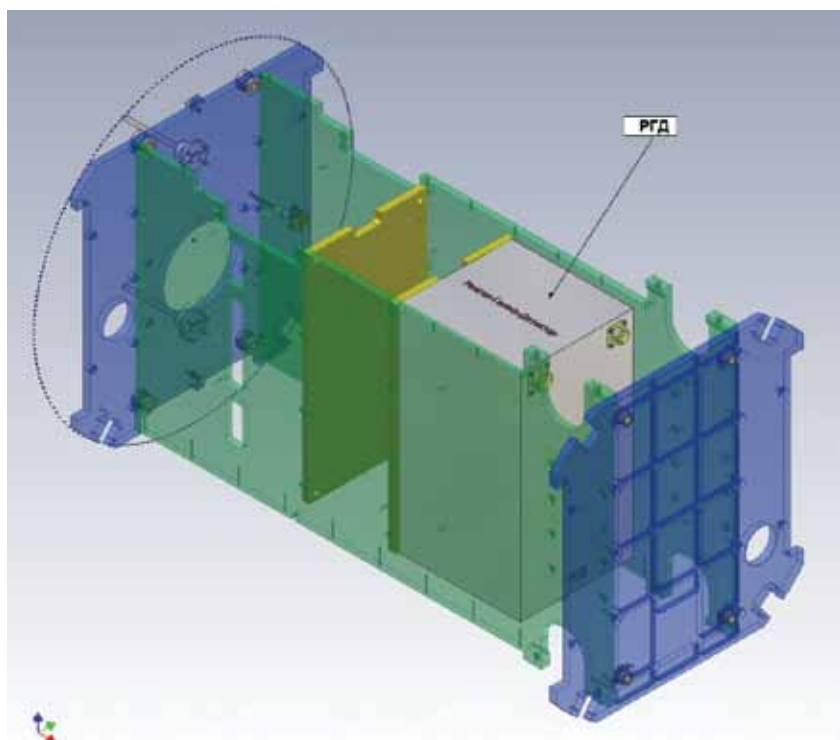


Рис. 2. Компоновка РГД

ДУФ (с. 58)

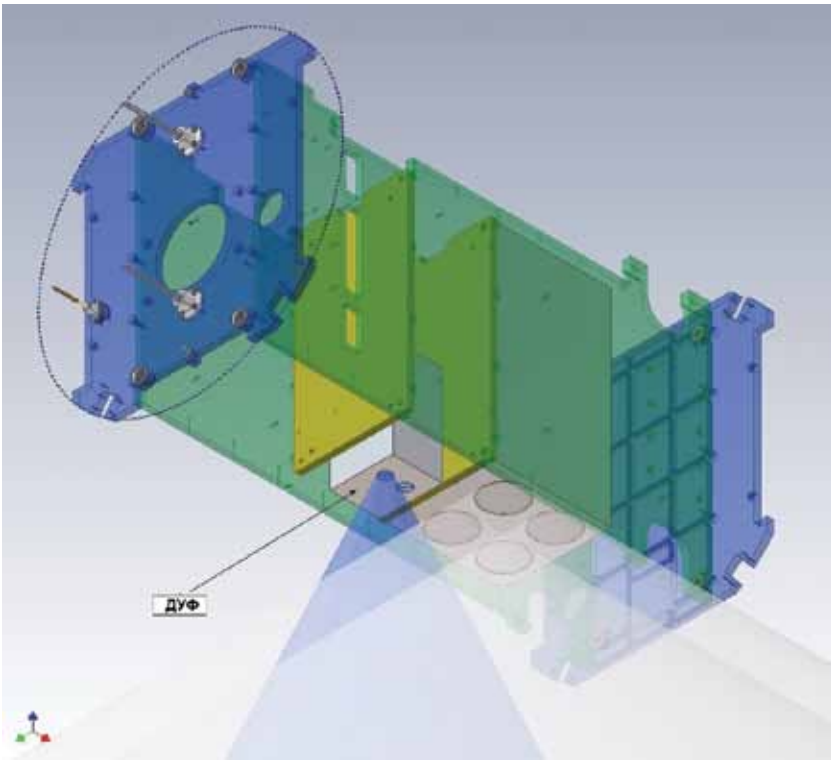


Рис. 3. Компоновка ДУФ

ЦФК (с. 63)

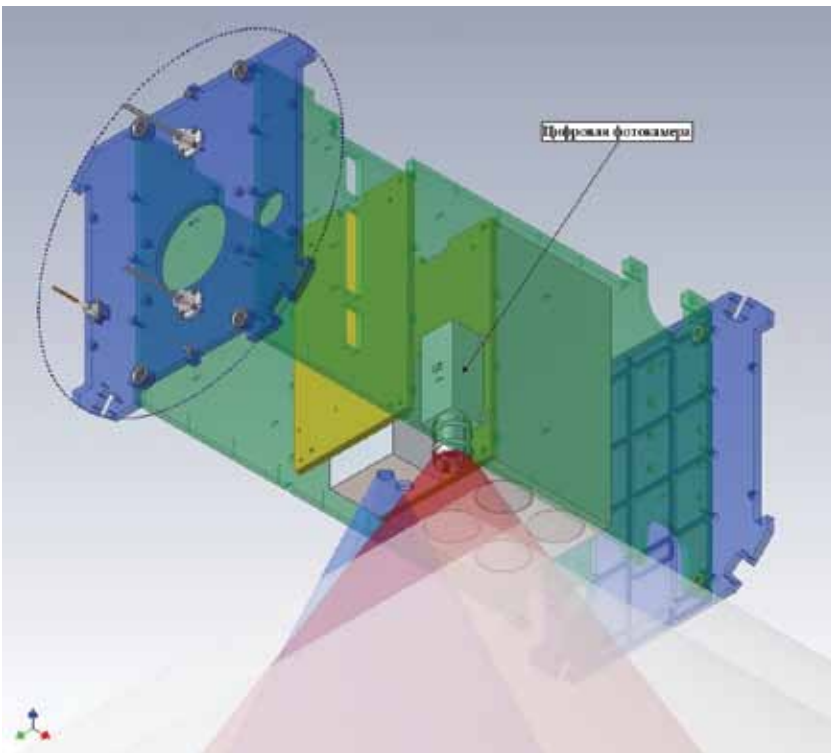


Рис. 4. Компоновка ЦФК

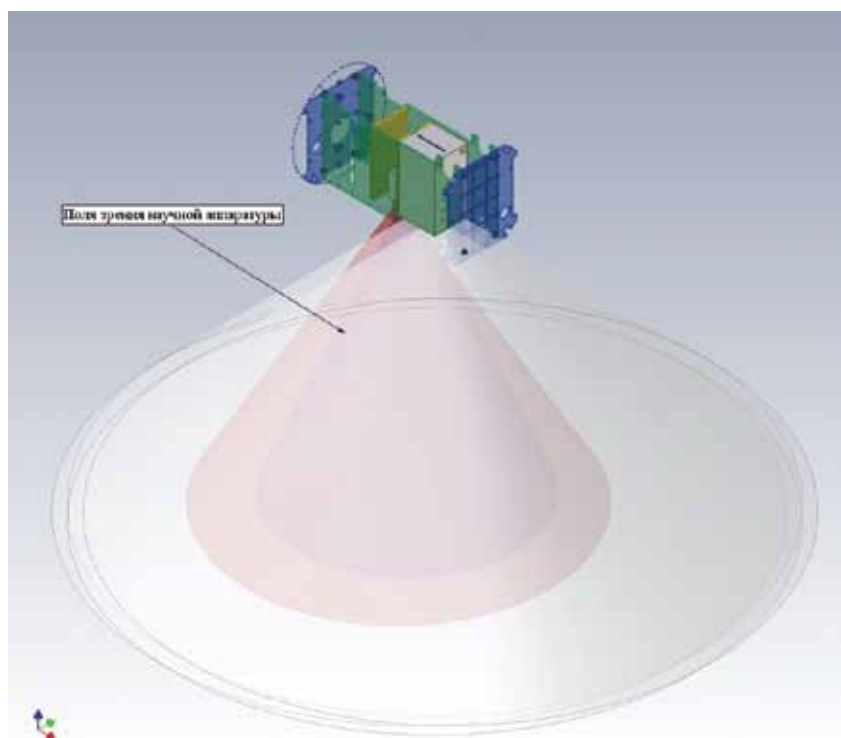


Рис. 5. Поля зрения научной аппаратуры

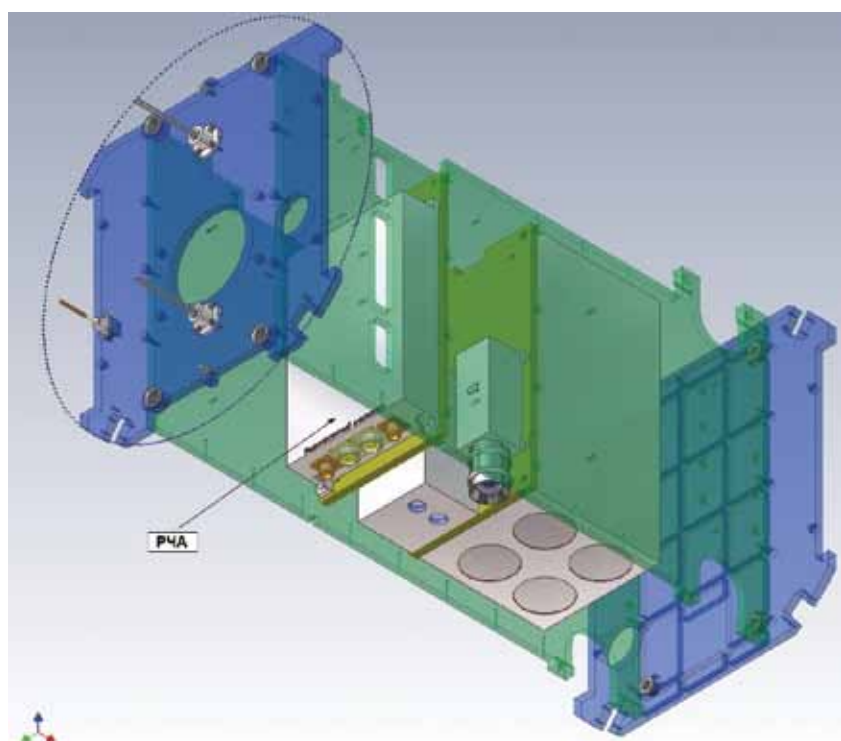


Рис. 6. Компоновка РЧА

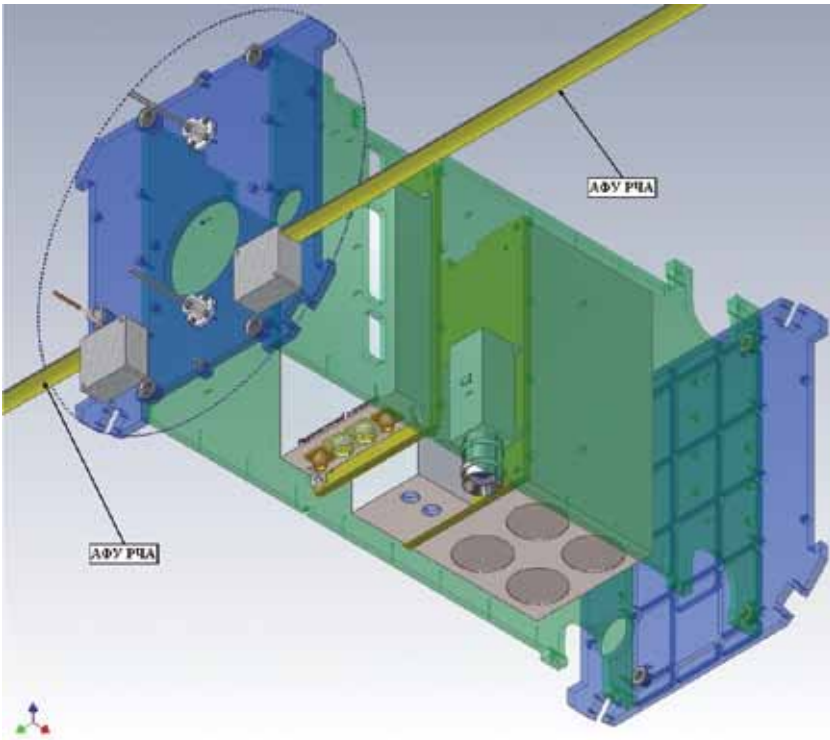


Рис. 7. Компоновка АФУ РЧА

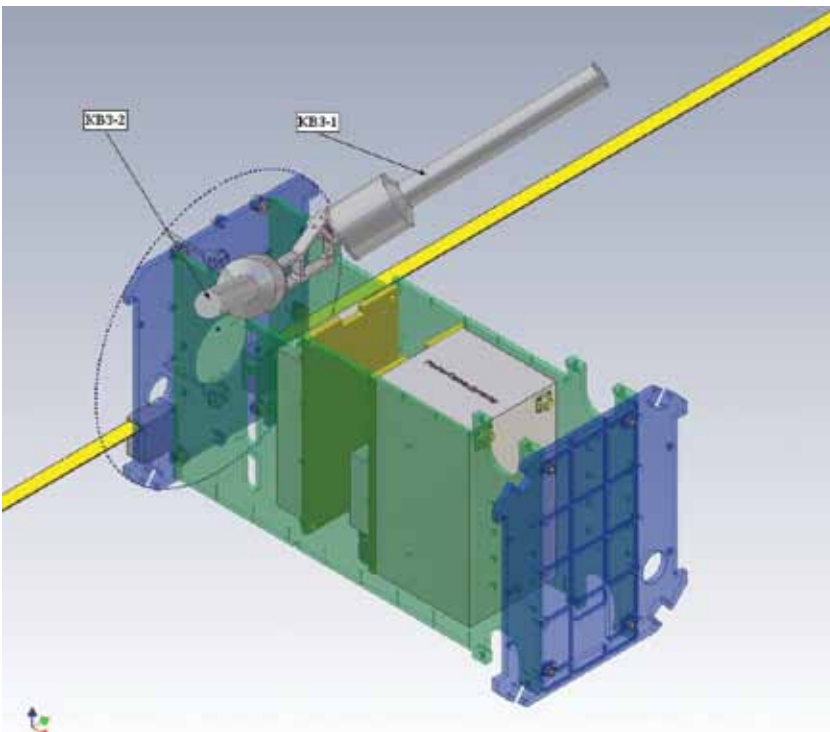


Рис. 8. Компоновка KV3-1 и KV3-2

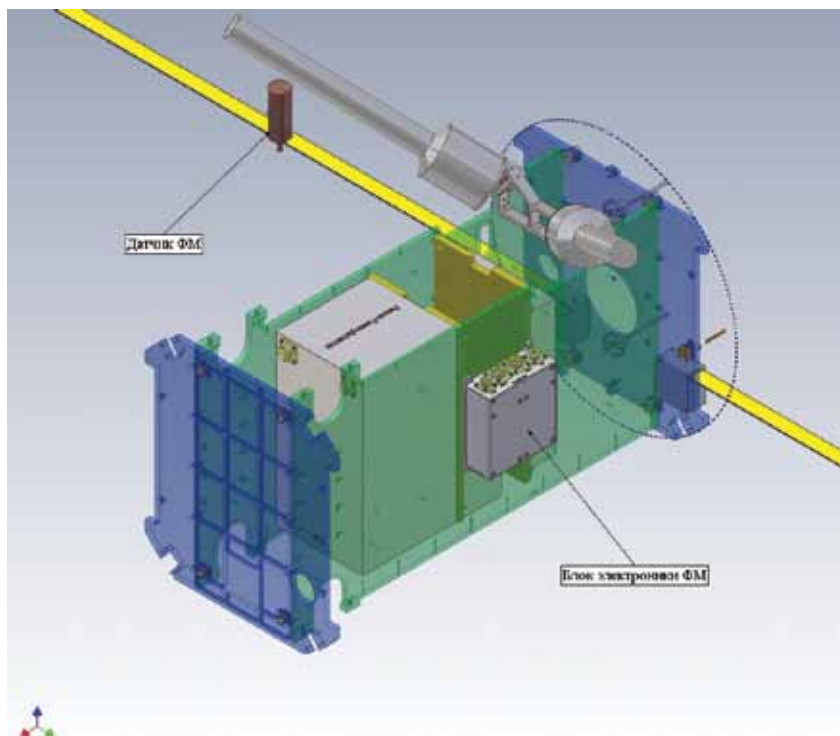


Рис. 9. Компоновка датчика и блока электроники ФМ

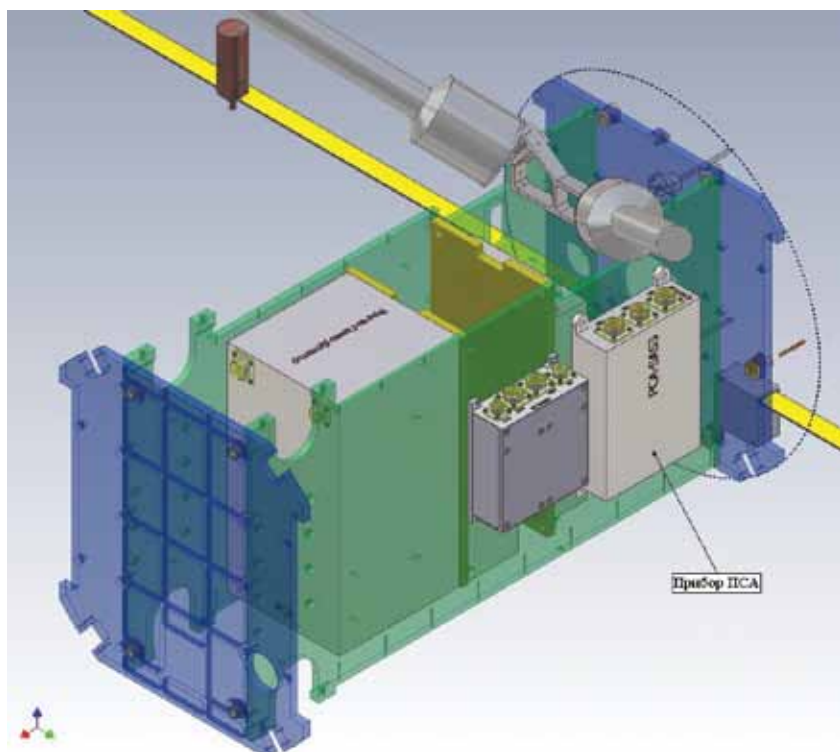


Рис.10. Компоновка ПСА

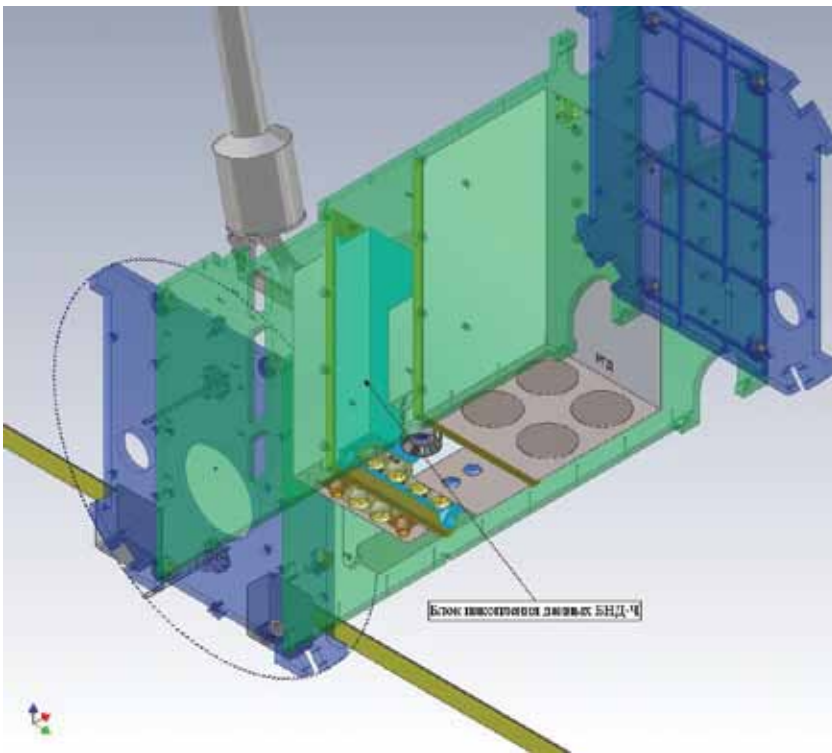


Рис.11. Компоновка БНД-4

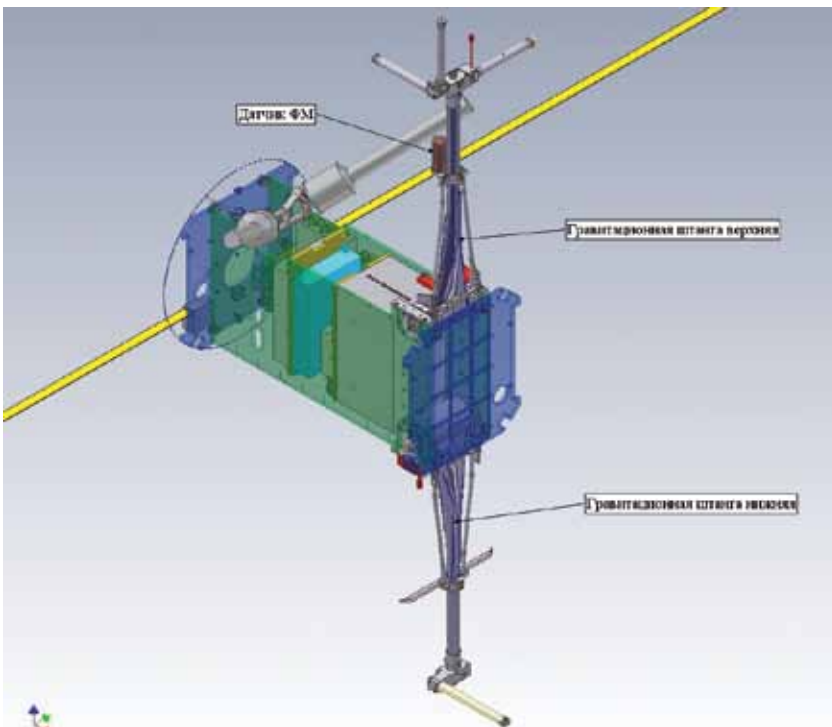


Рис.12. Компоновка гравитационных штанг с установкой на них датчика ФМ (верхняя штанга) и датчика индукционного магнитометра ИМ (нижняя штанга)

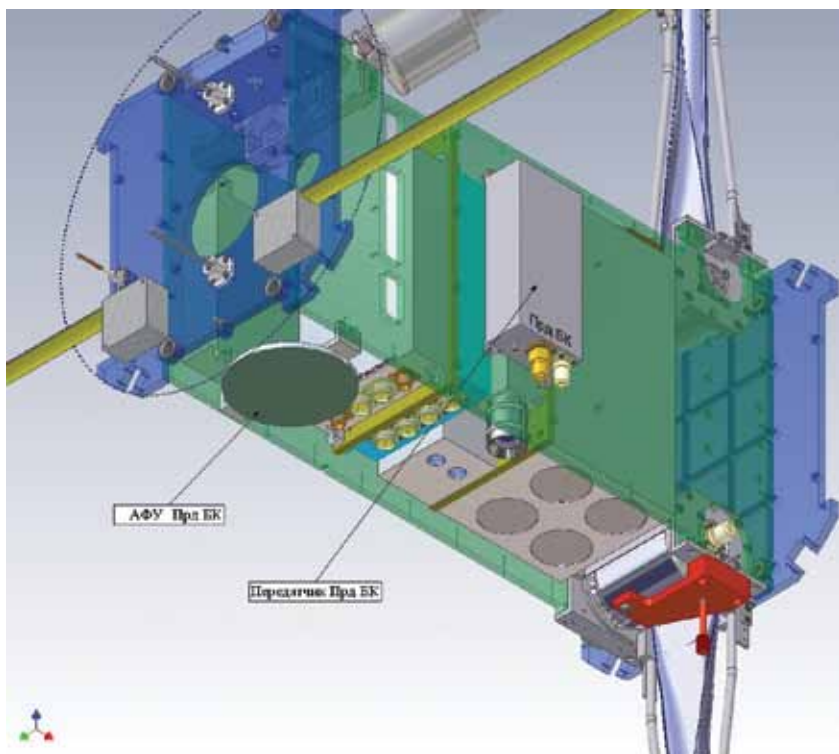


Рис.13. Компонка передатчика научной телеметрии Прд.-БК и АФУ Прд.-БК

После окончания компоновки единого КНА «Гроза» начинается компоновка блоков и приборов комплекса служебной аппаратуры (КСА) МС «Чибис-М». Этот комплекс обеспечивает функционирование всех систем и приборов МС «Чибис-М» в автономном орбитальном полете.

Сложность дальнейших компоновочных работ заключается в обязательном учете моментов инерции и сведении в заданную точку центра масс МС.

Комплекс служебной аппаратуры состоит:

- из базового конструктива-трансформера (механический конструктив МС);
- бортового комплекса управления БКУ, включая систему электропитания СЭП, командную и телеметрическую радиолинии и навигационную аппаратуру НАП;
- системы трехосной ориентации и стабилизации СОС, включая датчики определения ориентации (звездный-ЗД, солнечный-СД, магнитометр, датчики угловых скоростей) и исполнительные устройства, обеспечивающие требуемые развороты МС (по трем осям) в орбитальном полете вокруг центра масс, а также трехосную стабилизацию в заданном положении (гравитационные штанги, двигатели-маховики, электромагнитные устройства (ЭМУ));
- пассивной системы обеспечения требуемого теплового режима (тепловые радиаторы, спецпокрытия, экранно-вакуумная термоизоляция).

На рис. 14-24 показана общая последовательность принятых компоновочных решений по КСА и МС в целом.

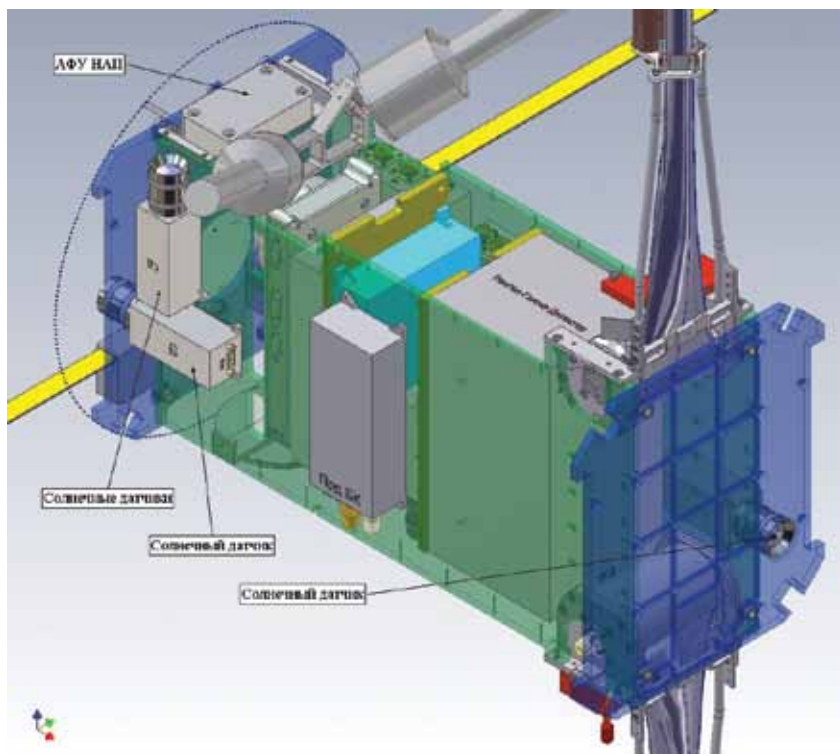


Рис.14. Компоновка солнечных датчиков СОС и АФУ НАП

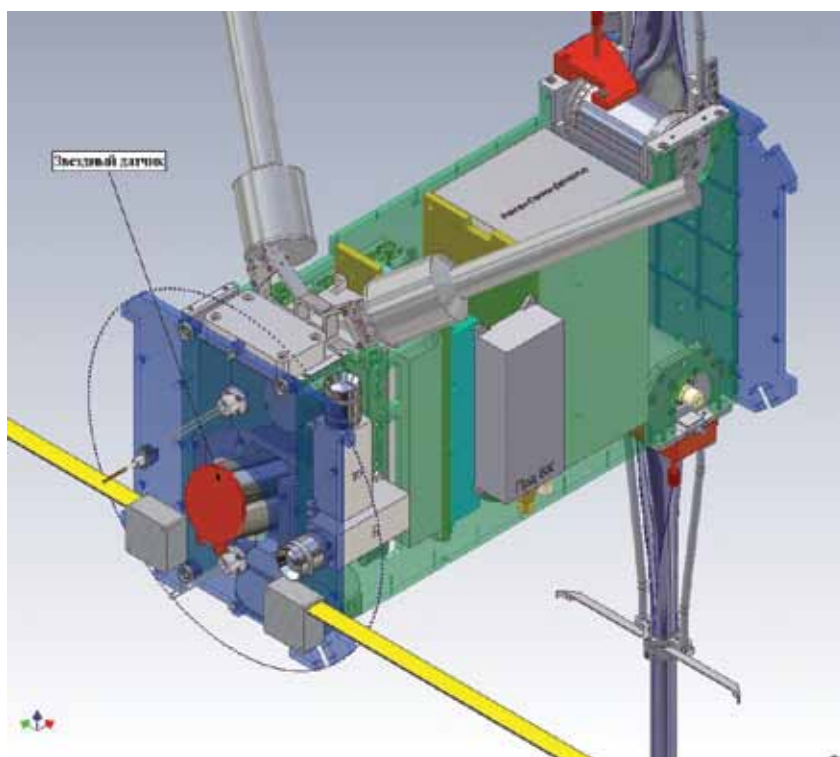


Рис.15. Компоновка звездного датчика



Рис.16. Компоновка ЭМУ на верхней гравитационной штанге (ГУ)

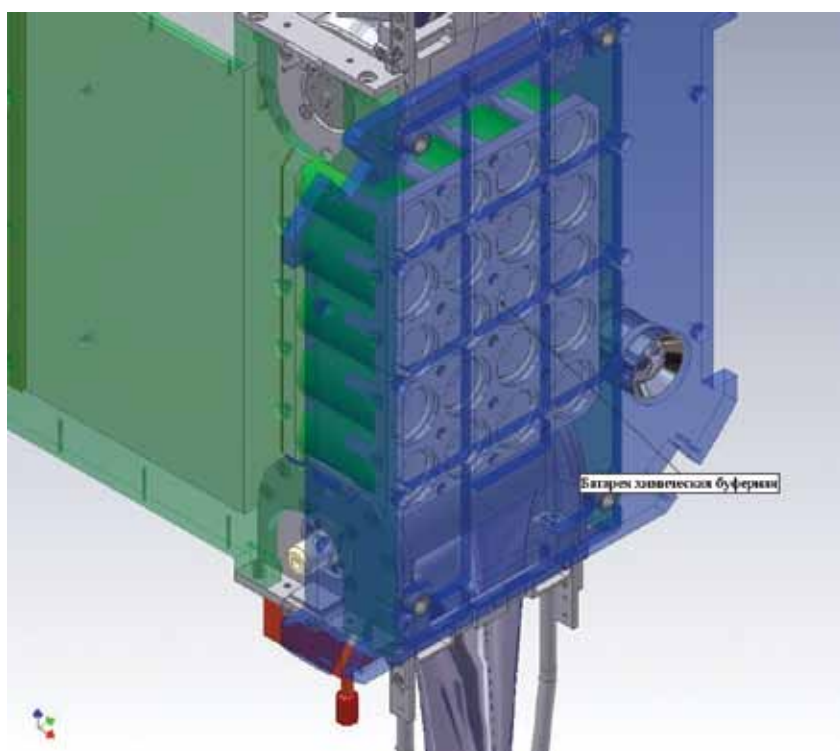


Рис.17. Компоновка буферной химической батареи БХБ

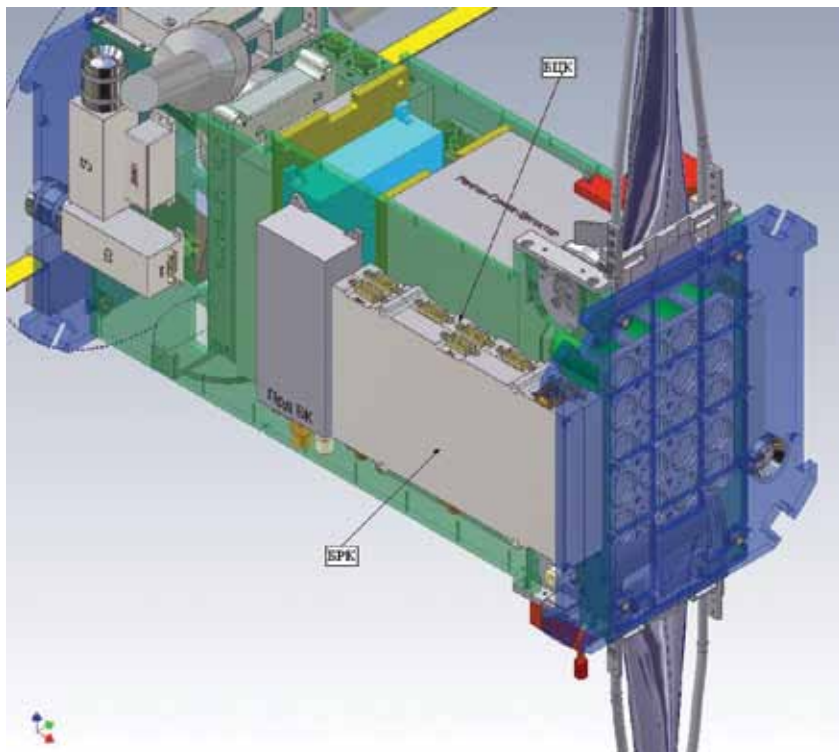


Рис.18. Компоновка блоков центрального процессора БЦК и приемо-передатчиков командной радиолинии БПК

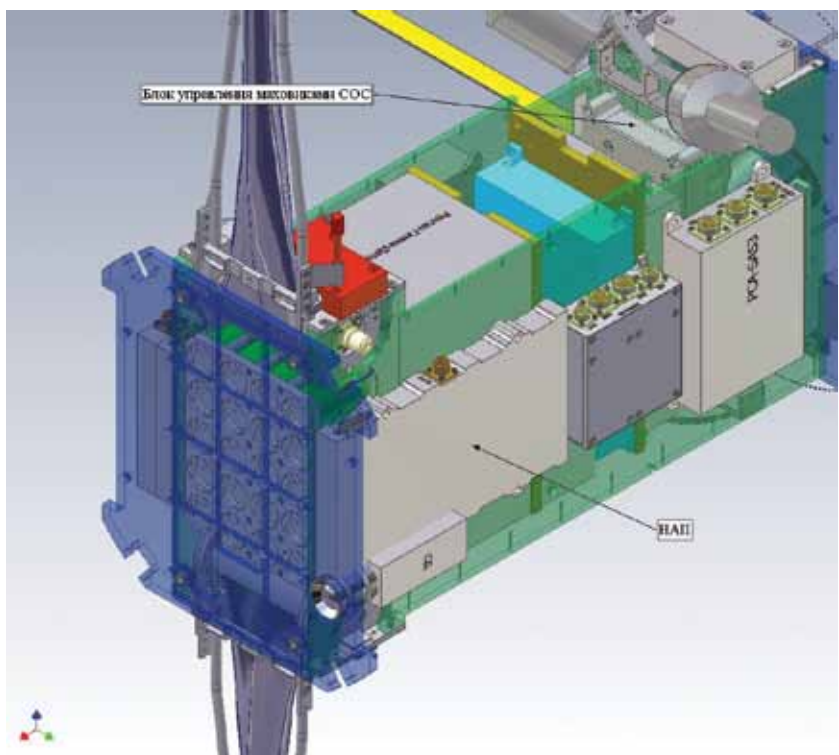


Рис.19. Компоновка блока управления маховиками СОС и НАП

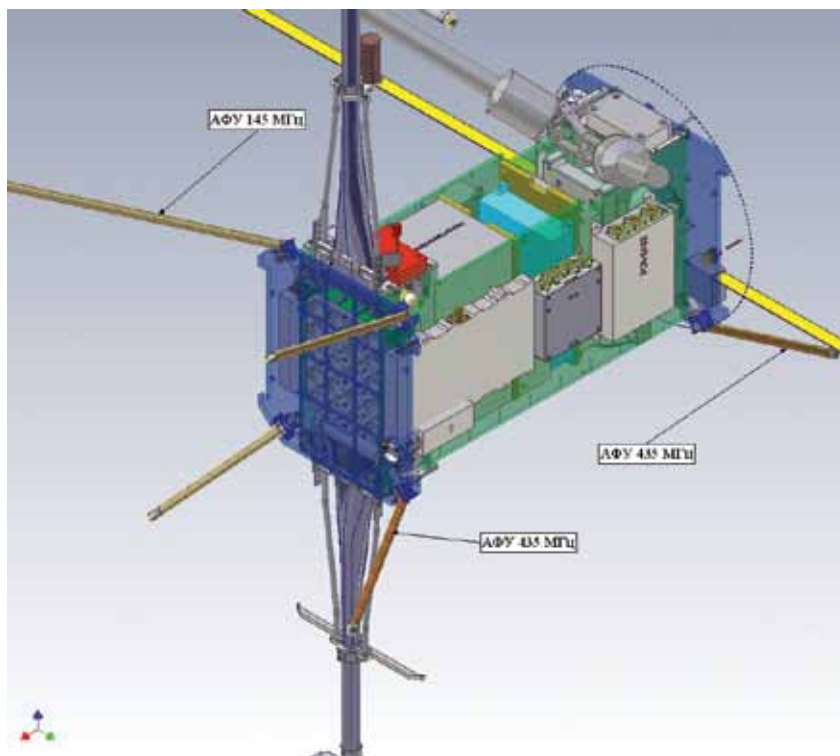


Рис.20. Компоновка АФУ-145 МГц и АФУ-435 МГц

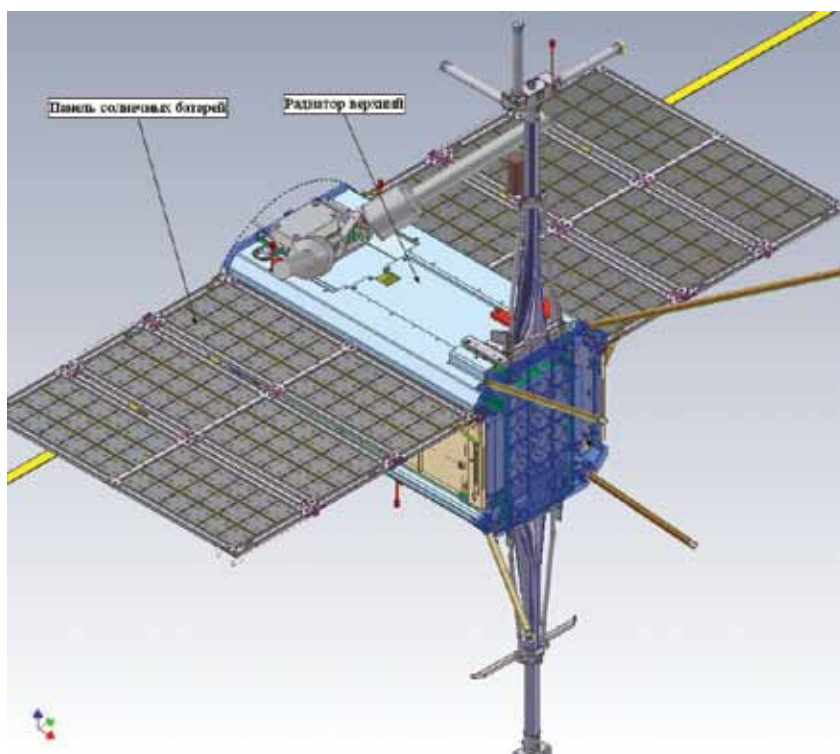


Рис.21. Компоновка верхнего теплового радиатора и панелей солнечных батарей с механизмом их разворачивания

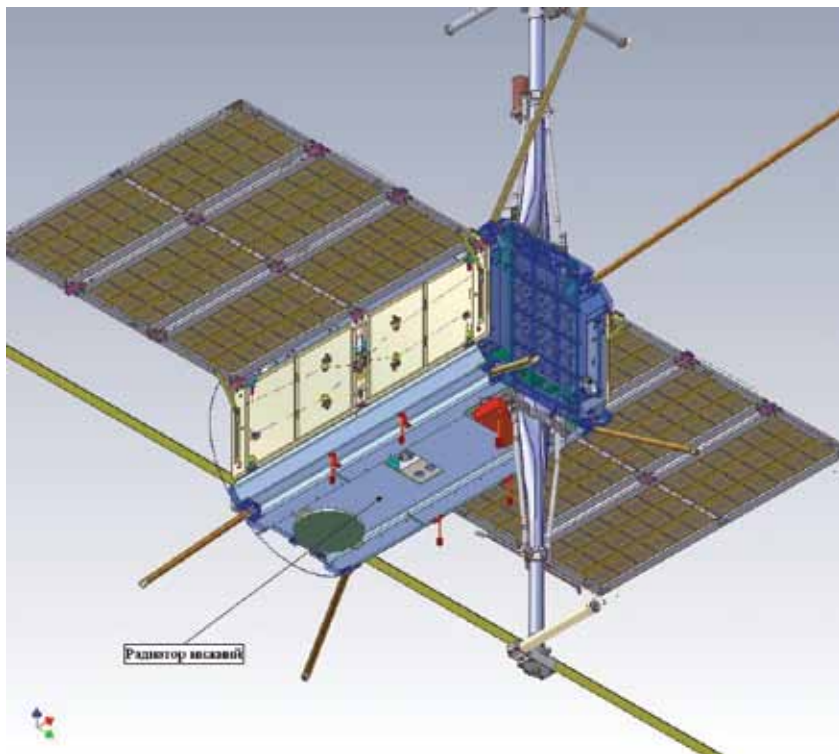


Рис.22. Компоновка нижнего теплового радиатора

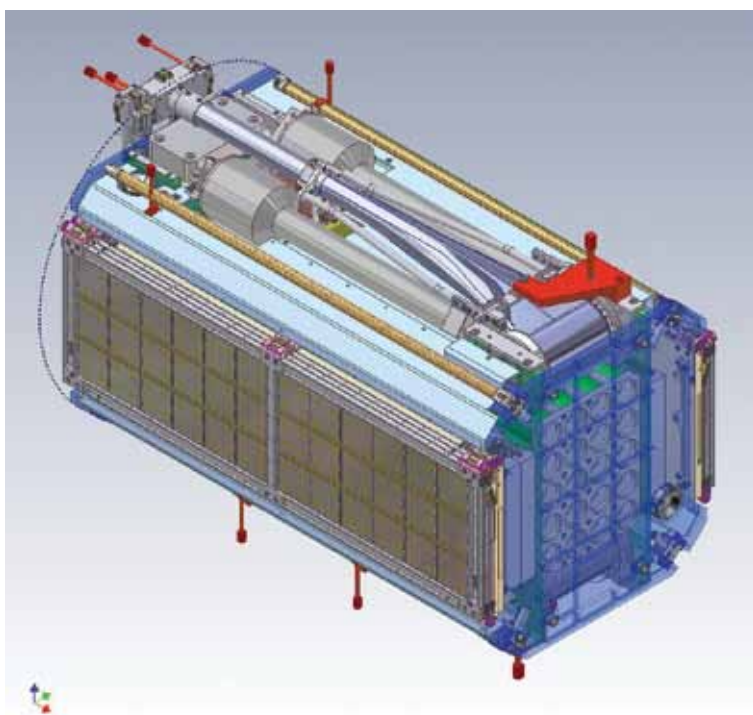


Рис.23. Общая компоновка МС «Чибис-М» в транспортном положении с зачеканенными раскрывающимися конструктивами перед установкой в транспортно-пусковой контейнер

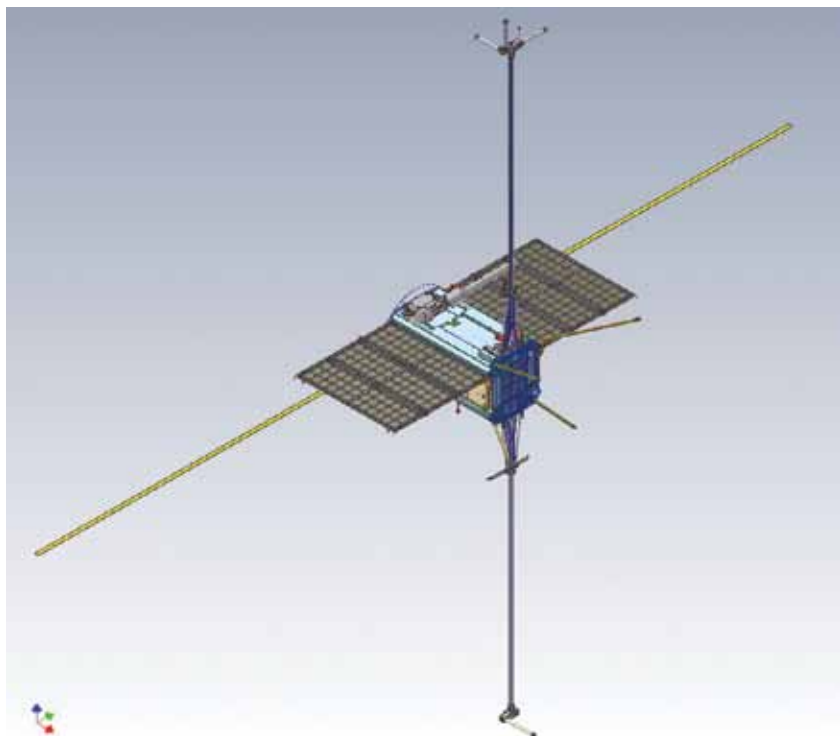


Рис.24. Общая компоновка МС «Чибис-М» в орбитальном полете

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

Масса общая.....	~ 40 кг
• научные приборы.....	10,8 кг
• служебная аппаратура.....	12,6 кг
• конструкция и система терморегулирования.....	16,6 кг
Орбита	круговая высотой ~ 480 км
Время активного существования	не менее 2 лет
Система ориентации:	
• типы.....	основная-электрохимическая (электромаховики) с магнито-динамическим(электромагниты) демпфированием; дублирующая-гравитационная (штанги)
• точность определения ориентации по датчикам (звездный, солнечный).....	до 2 угл. мин
• навигация.....	по системе GPS – ГЛОНАСС
• точность стабилизации (электромаховики).....	$\pm 3 \dots 15$ угл. мин

Система передачи данных:

- борт - Земля.....1Мбит/с
- объем накопительной памяти комплекса научной аппаратуры.....256 Мбайт
- минимальный суточный объем принимаемой от КНА информации.....50 Мбайт
- радиочастоты командной и телеметрической линий 145, 435 МГц
- радиочастота передачи информации от КНА.....2200 МГц

Система бортового энергопитания:

- мощность~ 50 Вт средневитковая
- напряжение..... 12 ± 3 В
- емкость БХБ.....9,5 А·ч
- суммарная площадь солнечных батарей.....0,95 м²

Габариты микроспутника:

- в сложенном состоянии (прямоугольная призма).....370 мм (диаметр описанной окружности шестиугольника) ×605 мм (длина);
- в раскрытом состоянии (антенны и солнечные батареи).....1250×966 мм (описанный диаметр, умноженный на длину);
- в раскрытом состоянии с учетом гравитационных штанг.....1250×4187 мм (описанный диаметр, умноженный на длину).

Учитывая особую сложность компоновочных решений и максимально возможную миниатюризацию приборов КНА и КСА при создании полнофункционального автономно-орбитального научно-исследовательского комплекса МС «Чибис-М», можно сделать следующие выводы:

1. Работы по созданию подобных комплексов требуют от коллективов разработчиков большого опыта по миниатюризации как научных, так и служебных приборов и систем (включая различные узлы точной механики).
Сложность и многообразие задач приводит часто к необходимости нестандартных инженерных подходов в решении задач конструирования и принятия весьма компромиссных решений.
2. Для успешной реализации поставленных задач необходимо создавать пусть не большие, но мобильные творческие коллективы, состоящие из ученых-постановщиков экспериментов, высококвалифицированных разработчиков разного рода аппаратуры, работающих совместно на единую задачу, и иметь хорошую (современную) экспериментально-производственную базу.
3. Необходимо иметь хорошую творческую связь со специалистами космической промышленности, обеспечивающими выведение МС на орбиту в качестве попутной нагрузки, и участие их в наземной отработке и подготовке МС к запуску.

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

SPECIFIC CHARACTER OF CREATION BY THE BASE CONSTRUCTIONS AND THE LINE-UPS OF THE ONBOARD COMPLEX OF EQUIPMENT OF THE CHIBIS-M MICROSATELLITE FOR INVESTIGATING THE LIGHTNING DISCHARGES

Angarov Vadim Nikolaevich¹ (Deputy director),
Klimov Stanislav Ivanovich² (Head of the laboratory, Ph.D.),
Rodin Viacheslav Georgievich² (Director assistance IKI RAN),
Kalyuzhnyi Anatolyi Viktorovich¹ (Head of the Laboratory),
Kozlov Viacheslav Maksimovich¹ (Head of the Laboratory),
Letunovski Valeri.Vladimirovich¹ (Leading engeneer)

¹Special Design Office of Space Instrument Making of the IKI RAN, Tarusa

²Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

In the report the basic principles of the creation of the base construction of the micro-satellite of scientific research and educational designation for solving different kind of scientific research, applied and educational tasks are shown. Are given constructive solutions of micro-satellite and transport-starting container of that developed for the removal in low circular orbits (to 600 km) with the inclination of 51.6 degrees with the use of technical capabilities of cargo ships Progress, the Russian segment of the ISS, and participation in the preparation for the starting of Russian cosmonauts in the composition of the ISS crews. Are given data in composition and to the technical characteristics of the onboard complex of equipment of micro-satellite (MS) Chibis-M and the assembly special features of the creation of similar micro-satellite apparatuses.

Keywords: Micro-satellite, The onboard complex of equipment

ЗАДАЧИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТА «ЧИБИС-М»

Р.Р. Назиров — заместитель директора, доктор технических наук

Н.А.Эйсмонт — ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

Перечисляются задачи баллистического обеспечения проекта с учетом технических ограничений на аппарат и состава научных экспериментов, планируемых на борту спутника. Задачи делятся на две большие группы: проектную часть и группу планирования и управления непосредственно в полете.

В первой части основное внимание уделяется проблемам, влияющим на проектный облик аппарата, таким как возможности командной и телеметрической линий радиосвязи; ограничения по располагаемой мощности солнечных батарей в силу выбранных параметров орбиты; требования по тепловому режиму, диктуемые геометрией и эволюцией орбиты; время баллистического существования аппарата; достижимые точности определения параметров орбиты и средства реализации этих точностей и пр.

Вторая часть включает задачи обеспечения операций в космосе и состоит из наземного и бортового сегментов. Дается краткое описание функций, выполняемых этими сегментами, и представлен список минимальных требований к характеристикам математических программ на борту и на наземных станциях и их интерфейсам. Отдельно показана роль орбитальных расчетов для реализации планируемого определения ориентации аппарата и управления движением около центра масс.

Описаны возможности решения задач баллистического обеспечения в случае аварийных ситуаций.

Приводятся также требования к системам предполетной отработки всех систем баллистического обеспечения, в том числе подчеркивается необходимость использования стендов и имитаторов для отработки бортовых и наземных сегментов.

Ключевые слова: космический аппарат, орбита, баллистика, ориентация, управление движением, телеметрия.

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей работы является изложение состава задач, которые могут быть отнесены к баллистическому обеспечению проекта. Тем самым предлагается список документов, необходимых для реализации проекта и содержащих информацию для работы в других разделах проекта, таких как разработка конструкции и систем собственно аппарата и научных приборов, устанавливаемых на борт спутника. Кроме того, определяется перечень функций и соответствующих документов, относящихся к наземному сегменту проекта, а также к методам и инструментам проведения испытаний отдельных элементов и системы баллистического обеспечения в целом.

1. ПРОЕКТНАЯ БАЛЛИСТИКА

Состав задач проектной баллистики обусловлен необходимостью определить сам облик аппарата и основные требования к системам аппарата.

В качестве исходных данных используются условия проведения экспериментов на борту аппарата и технические ограничения по запуску спутника на орбиту и выполнению операций управления.

1.1. Эксперименты

НЗ (с. 7) В нашем случае — это наблюдения поверхности Земли оптическими средствами с целью регистрации молний, сопровождаемые измерениями в радиодиапазоне, а также в ультрафиолетовой и рентгеновской частях спектра. При этом наблюдения выполняются только на затененной части поверхности Земли, а оптическая камера и датчик ультрафиолетового излучения должны быть направлены к центру Земли. Поле зрения каждого из этих двух приборов составляет примерно $\pm 20^\circ$. Приборы, работающие в радиодиапазоне, и датчики рентгеновского излучения специальных требований к их ориентации не предъявляют.

1.2. Технические ограничения

1.2.1. Способ запуска аппарата: предполагается для выведения спутника на орбиту использовать транспортный корабль «Прогресс» в рамках его миссии к Международной космической станции с подъемом высоты круговой орбиты до 500 км. Габариты и масса аппарата обуславливаются возможностями такого запуска, этим же в значительной степени определяются возможности по разработке конструкции аппарата с требуемым распределением моментов инерции по осям аппарата.

НС (с. 107) 1.2.2. Возможность приема информации и выдачи команд только с помощью станций в Тарусе, Калуге (Россия), Панска Вес (Чехия) и в Университете им. Л. Этвёша (Венгрия).

1.2.3. Отсутствие стандартных средств радиоконтроля орбиты, т.е. наземных станций и бортового оборудования для измерения дальности и скорости изменения дальности спутника относительно станции.

1.3. Задачи

1.3.1. Подготовка программы операций «Прогресса» по выведению КА «Чибис-М» на требуемую орбиту, гарантирующую нестолкновение с МКС в любых ситуациях, включая нештатные.

1.3.2. Оценка времени баллистического существования КА «Чибис-М» в ожидаемом в течение полета интервале цикла солнечной активности.

1.3.3. Построение функции зависимости времени освещенности аппарата в пределах витка по датам полета.

1.3.4. Построение функции зависимости потока солнечного излучения на солнечных батареях в пределах витка от дат полета для планируемых режимов ориентации.

1.3.5. Построение функции зависимости доступного времени наблюдений по датам полета.

1.3.6. Построение функции зависимости частоты и длительности интервалов связи с наземными станциями от дат полета.

1.3.7. Вычисление доплеровского сдвига частоты при прохождении зоны видимости наземных станций и функции углов места и дальности спутника относительно станции.

1.3.8. Оценка необходимых величин изменения кинетических моментов разгрузки маховичной системы и управляющих моментов соленоидов

разгрузки, а также необходимых кинетических моментов маховиков в зависимости от частоты операций разгрузки и принимаемых вариантов управления ориентацией аппарата.

1.3.9. Оценка возможности проведения операций управления ориентацией с помощью команд с наземной станции, т.е. в течение и в условиях интервала видимости с наземной станции.

1.3.10. Оценка возможности реализации штатных и аварийных режимов ориентации.

1.3.11. Оценка возможности и характеристик определения ориентации без использования звездных датчиков.

1.3.12. Оценка характеристик систем управления ориентацией без использования маховичной системы и требований к аппарату в этом случае.

1.3.13. Построение функции положения Земли и Солнца в системе координат спутника для расчета тепловых режимов аппарата.

1.3.14. Оценка точности прогноза положения спутника.

2. БАЛЛИСТИКА ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ СПУТНИКОМ

В эту часть баллистического обеспечения входит состав математических программ для решения задач управления на борту, на наземных станциях и при проведении испытаний при подготовке полета как для аппарата в целом, так и для тестирования отдельных систем.

2.1. Баллистические задачи, решаемые на борту

2.1.1. Определение орбитальных параметров по измерениям GPS, в частности, вектора состояния (оскулирующих элементов орбиты).

2.1.2. Расчет необходимых навигационных параметров для работы системы ориентации, таких как координаты в гринвичской системе, требуемые положения осей аппарата в абсолютной (звездной) системе координат, компоненты модельного магнитного поля Земли, условия освещенности на орбите, условия видимости наземной станции; эти параметры рассчитываются по вектору состояния, вычисляемого либо на борту, либо на наземной станции с последующей передачей на борт по командной радиолинии; некоторые из этих расчетов могут быть дублированы или дополнительно проведены компьютером в составе системы управления ориентацией; результаты бортовых навигационных расчетов включаются в состав телеметрических данных, передаваемых на наземную станцию.

2.2. Баллистические задачи, решаемые при запуске систем аппарата после его выхода из пускового контейнера, размещенного в ТК «Прогресс» (эти задачи решаются в рамках наземной части баллистического обеспечения, но имеют свои особенности)

2.2.1. Основная их цель — приведение служебных систем в рабочее состояние, главным условием чего является обеспечение ориентации солнечных батарей на Солнце; поэтому непосредственно перед отделением должны быть получены параметры орбиты и ориентации «Прогресса», что означает включение в состав требований к отделению КА «Чибис-М» проведение операций определения орбиты «Прогресса» незадолго до отделения; существенным условием отделения является видимость с наземной станции.

2.2.2. Оперативное проведение всех навигационных расчетов на назем-

ной станции, необходимых для выполнения операций по запуску систем спутника; кроме того, на борт засылается вектор состояния, вычисленный по орбитальным параметрам «Прогресса» с учетом импульса отделения.

2.2.3. Задачи, связанные с маневрами «Прогресса» для выведения КА «Чибис-М» на рабочую орбиту, отнесены к области ответственности РКК «Энергия», однако обоснования предложений по маневрам входят в состав описываемого комплекта документов.

2.3. Наземная часть баллистического обеспечения управления аппаратом

2.3.1. Расчет вектора состояния (оскулирующих элементов) аппарата по данным двухстрочных орбитальных параметров TLE (Two Line Elements).

2.3.2. Прогноз навигационных параметров, включая параметры ориентации на период планирования операций, т.е. расчет трассы, зон видимости и целеуказаний наземным станциям, освещенности орбиты, номинальных углов ориентации, магнитного поля.

2.3.3. Выбор интервалов для операций управления ориентацией, таких как разгрузка маховиков или закрутка аппарата (если такой режим возможен и предусмотрен) и расчет номинальных параметров управления.

2.3.4. Проверка работы бортовой навигационной системы (включая систему определения ориентации и управления ориентацией) и передача на борт (если необходимо) полученных наземными средствами векторов состояния (оскулирующих элементов).

2.3.5. Расчет и засылка на борт параметров управления ориентацией для случаев нештатной или аварийной работы бортовой системы управления ориентацией.

2.3.6. Составление математических программ обработки данных бортового приемника GPS для случая его нештатной работы, когда бортовая система дает только координаты аппарата и не определяет вектор состояния.

2.3.7. Расчет и передача на борт прогнозируемых навигационных параметров, необходимых для работы системы управления ориентацией, если бортовая система не может выполнить эти функции.

3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ И НАЗЕМНЫХ СИСТЕМ (ЗАДАЧИ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ)

3.1. Проверка работы бортовой системы GPS; для этого требуется имитатор сигналов GPS, принимаемых аппаратом, движущимся по орбите КА «Чибис-М».

3.2. Проверка работы бортовой системы управления ориентацией; испытания и отладка системы требуют использования соответствующего механического стенда; математическое обеспечение стенда моделирует:

- движение аппарата по орбите с соответствующим изменением вектора направления на Солнце и вектора магнитного поля;
- положения звезд в системе координат аппарата в зависимости от его ориентации.

3.3. Работа системы ориентации тестируется, в том числе для режима приведения спутника в рабочее состояние после отделения от «Прогресса», а также для аварийных и нештатных режимов.

4. АВАРИЙНЫЕ И НЕШТАТНЫЕ РЕЖИМЫ

Состав и анализ этих режимов относятся к проектной части баллистического обеспечения миссии и имеют целью установить минимальный набор средств управления операциями, позволяющий решать задачи экспериментов на борту аппарата, быть может, в урезанном составе. К числу возможных отказов могут быть отнесены следующие:

- 1) отказ всей системы маховиков;
- 2) отказ некоторых из маховиков;
- 3) отказ звездных датчиков;
- 4) отказ математического обеспечения системы управления маховиками;
- 5) отказ бортовой навигационной системы в части обработки данных GPS или полностью.

Наземное баллистическое обеспечение совместно с резервными структурами бортового должны сохранить возможность выполнения миссии в этих условиях.

BALLISTIC SUPPORT OF THE CHIBIS PROJECT TASKS

Nazirov Ravil Raviliyevich (Deputy Director, Ph.D.),

Eismont Natan Andreyevich (Leading Scientist, Ph.D.)

Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

In the paper the ballistics tasks of the Project are listed taking into account the experiments to be fulfilled onboard the spacecraft (s/c) and the technical constraints.

In the first part of the paper the main attention is given to the problems which determine the main project characteristics of the s/c and the requirements the systems are to satisfy, such as the power of solar cells, capacity of chemical batteries, thermal conditions, ballistic lifetime, possibilities of radiolink and telemetry system characteristics.

In the second part the problems of s/c operations are considered and demands to the onboard and ground software are formulated. The contingency cases to be taken into account during development of the systems are listed.

Keywords: spacecraft, orbit, ballistic, attitude, motion control, telemetry.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АЛГОРИТМЫ ВЫРАБОТКИ ТРИГГЕРОВ ПРИБОРОМ РГД

Г.К.Гарипов – научный сотрудник

С.И.Свертилов – старший научный сотрудник, доктор физ.-мат. наук

И.В.Яшин – начальник отдела, кандидат физ.-мат.наук

Научно-исследовательский институт ядерной физики им.Д.В.Скобельцина МГУ им.М.В.Ломоносова (НИИЯФ), Москва

Прибор РГД (рентген-гамма-детектор) предназначен для регистрации всплесков рентгеновского и гамма-излучения, которые могут генерироваться во время атмосферных разрядов. Прибор состоит из четырех сцинтилляционных детекторов NaI(Tl) диаметром 5 см, при этом три из них имеют толщину 1 см, а один – 2 см. Каждый из детекторов «просматривается» отдельным фотоумножителем типа «Хамаматцу R1306». Суммарная эффективная площадь детекторов $\sim 80 \text{ см}^2$ обеспечивает чувствительность к регистрации всплесков на уровне $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ фот/см². При этом диапазон энергий регистрируемых квантов составляет 0,02...1,0 МэВ для детектора толщиной 2 см и 0,02...0,5 МэВ для детекторов толщиной 1 см. В случае регистрации рентгеновского или гамма-всплеска в приборе предусмотрена подробная запись сигнала (цифровая осциллограмма) с временным разрешением 0,2 мкс в течение интервала времени 20 мс. Критерием регистрации всплеска (триггер прибора) является превышение фонового уровня суммарным счетом всех четырех детекторов более чем на 5 стандартных отклонений (σ) при условии независимого превышения фонового уровня $>2,5\sigma$ не менее чем в двух детекторах.

Ключевые слова: вспышки, рентгеновское, гамма-излучение, детектор, сцинтиллятор, фотоумножитель, сигнал, чувствительность, эффективность, временное разрешение, триггер

НЗ (с. 7) Прибор РГД (рентген-гамма-детектор) является частью комплекса научной аппаратуры «Гроза», устанавливаемой на микроспутнике «Чибис-М» для изучения высотных атмосферных разрядов.

Рентген-гамма-детектор предназначен для регистрации спорадических возрастаний (всплесков) жесткого рентгеновского и гамма-излучения (диапазон энергий фотонов 0,02...1,0 МэВ) высотных атмосферных разрядов.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА РГД

Конструкция прибора РГД определяется физической задачей, для решения которой он предназначен, - регистрация всплесков жесткого рентгеновского и гамма-излучения высотных атмосферных разрядов.

Для регистрации гамма-излучения могут использоваться сцинтилляционные детекторы, в частности, на основе кристаллов NaI (Tl) диаметром 5 см и толщиной 1,0 и 2,0 см. Как известно, кристалл NaI (Tl) обладает среди

плотных неорганических скинтилляторов максимальной конверсионной эффективностью и, соответственно, наилучшим световыходом при заданной конфигурации [Цирлин и др., 1991].

Эффективная площадь S детектора гамма-квантов NaI(Tl) с учетом поглощения в защитном кожухе может быть рассчитана по формуле

$$S(E_\gamma) = S_0 e^{-\mu_{\text{Al}}(E_\gamma) l_{\text{Al}} \rho_{\text{Al}}} \left(1 - e^{-\mu_{\text{NaI}}(E_\gamma) l_{\text{NaI}} \rho_{\text{NaI}}} \right), \quad (1)$$

где S_0 — геометрическая площадь детектора; $\mu_{\text{NaI}}(E_\gamma)$, l_{NaI} , ρ_{NaI} , $\mu_{\text{Al}}(E_\gamma)$, l_{Al} , ρ_{Al} — массовые коэффициенты поглощения, толщины и плотности детектора NaI(Tl) и защиты (в эквиваленте алюминия) соответственно. Для выбранных размеров кристаллов NaI(Tl) и с учетом того, что толщина слоя защиты не превышает 0,03 см (в эквиваленте алюминия), из (1) могут быть получены следующие оценки эффективной площади детектора при различных энергиях (для гамма-квантов, падающих перпендикулярно поверхности детектора):

$$E_\gamma = 50 \text{ кэВ}, S \sim 15 \text{ см}^2;$$

$$E_\gamma = 100 \text{ кэВ}, S \sim 20 \text{ см}^2;$$

$$E_\gamma = 200 \text{ кэВ}, S \sim 20 \text{ см}^2;$$

$$E_\gamma = 500 \text{ кэВ}, S \sim 15 \text{ см}^2.$$

Поскольку в рассматриваемом диапазоне энергий (0,05... 0,5 МэВ) вклад фотопоглощения является определяющим, при расчете эффективной площади детектора использовались значения полного коэффициента поглощения [Федоров, 1961], возможными потерями за счет ухода из детектора гамма-квантов, испытавших комптоновское рассеяние, пренебрегалось. Как следует из расчетов, эффективную площадь детектора в рабочем диапазоне энергий (0,1...0,5 МэВ), в котором, как ожидается, лежит максимум спектра регистрируемых гамма-всплесков, для дальнейших оценок можно считать равной $\sim 20 \text{ см}^2$.

Для оценки чувствительности к регистрации гамма-всплесков можно ввести величину I_{min} , равную минимальному регистрируемому количеству отсчетов за всплеск. Для I_{min} будет справедлива формула

$$I_{\text{min}} = n \sqrt{\frac{I \cdot \Delta T}{S}}, \quad (2)$$

где I — фоновый поток гамма-квантов; ΔT — время накопления отсчетов; S — эффективная площадь детектора; n — выбранное количество стандартных отклонений. Как видно из (2), чувствительность в значительной степени определяется уровнем фона.

Согласно данным различных экспериментов, связанных с регистрацией гамма-излучения на массивных околоземных (летающих на высотах 300...500 км) космических аппаратах (в том числе на орбитальной станции «Мир», к которой по параметрам орбиты и массе близка МКС), аппаратный фон в детекторах гамма-квантов определяется главным образом собственным излучением спутника, а также альбедным излучением атмосферы Земли. При этом в потоке собственного излучения космического аппарата выделяют «локальный» компонент, возникающий непосредственно при взаимодействиях высокоэнергичных частиц космических лучей и магнитосферных электронов с веществом спутника, а также «наведенный» компонент, обусловленный излучением относительно долгоживущих радиоактивных изотопов, накапливающихся в веществе космического аппарата и детектора в результате ядерных взаимодействий энергичных частиц. Интенсивность локального излучения подвержена достаточно сильным и иногда нерегулярным вариациям, которые могут имитировать астрофизические явления. Например, тор-

мозное гамма-излучение высыпающихся магнитосферных электронов приводит к имитирующим гамма-всплески кратковременным возрастаниям скорости счета в каналах регистрации гамма-квантов.

Временной ход фоновых скоростей счета гамма-квантов можно представить в первом приближении как суперпозицию широтного хода и дополнительного возрастания счета гамма-квантов при пересечении микроспутником зон захваченной радиации в районе Бразильской аномалии и отрогов внешнего радиационного пояса на высоких широтах. Широтный ход обусловлен ядерными взаимодействиями галактических космических лучей в веществе микроспутника. Возрастания в районе Бразильской аномалии вызваны ядерными взаимодействиями протонов и тормозным излучением высокоэнергичных электронов. Возрастания в области внешнего радиационного пояса связаны только с тормозным излучением электронов.

Для оценки ожидаемого уровня фонового счета в рабочем диапазоне детектора (0,1...0,5 МэВ) можно воспользоваться моделью фона гамма-квантов, построенной на основе данных измерений на орбитальной станции «*Mir*» [Богомолов и др., 2000]. В рамках этой модели были определены вклады наведенного в суммарное излучение компонента, который в диапазоне 0,1...0,5 МэВ составляет в среднем около 62% на экваторе и 21% на максимальной геомагнитной широте для орбиты МКС, на которой будет находиться микроспутник «*Чибис-М*», соответствующей жесткости геомагнитного обрезания $R = 2,5$ ГВ. Согласно модели [Богомолов и др., 2000], спектры локального гамма-излучения и гамма-излучения атмосферы Земли можно аппроксимировать степенной функцией, а наведенного излучения - экспоненциальной. Аналитическое представление спектральной плотности потока этих фоновых компонентов с учетом широтной зависимости имеет следующий вид:

$$\frac{dJ}{dE} = AR^{-1} \left(\frac{E}{E_0} \right)^{-\gamma}, \quad (3)$$

где $E_0 = 1$ МэВ; $A = (13,2 \pm 0,7)$ фот·ГВ/см²·с·МэВ, $\gamma = 1,00 \pm 0,02$ - для локального гамма-излучения станции; $A = (1,7 \pm 0,1)$ фот·ГВ/см²·с·МэВ, $\gamma = 0,97 \pm 0,03$ - для альбедного гамма-излучения атмосферы Земли.

Спектр наведенного излучения представляется зависимостью

$$\frac{dN}{dE} = B \exp \left(- \frac{E}{E_0} \right), \quad (4)$$

где $B = (7 \pm 1)$ имп/см²·с·МэВ, $E_0 = (0,6 \pm 0,2)$ МэВ.

Из (3), (4) с учетом сказанного выше соотношения между вкладами локального и наведенного компонентов для фонового потока гамма-квантов на средних геомагнитных широтах ($R \sim 7$ ГВ) в диапазоне 0,1...0,5 МэВ может быть получена оценка интенсивности 1...5 отсч/см²·с. Ожидается, что интенсивность всплесков гамма-излучения от высотных разрядов составляет в диапазоне 0,1...0,5 МэВ ~ 100 фот/см²·с. Поскольку длительность таких всплесков $\sim 2...5$ мс, ожидаемое количество отсчетов за всплеск должно составить $\sim 0,5$ фот/см². Полагая время накопления отсчетов равным ожидаемой длительности всплеска (например, 5 мс), из (2) можно получить, что с учетом сделанных оценок величины фонового счета в рабочем диапазоне энергий всплески гамма-излучения могут быть зарегистрированы на уровне статистической достоверности ~ 5 стандартных отклонений. Таким образом, детекторы гамма-излучения обеспечивают надежную регистрацию гамма-излучения от высотных разрядов в атмосфере. Однако для регистрации реального события необходимо, чтобы детектор обладал достаточной эффективной площадью. Как следует из вышеизложенного, для ре-

гистрации по крайней мере 10 фотонов за всплеск при длительности события порядка 5 мс детектор должен обладать площадью не менее 20 см². Но приведенные оценки справедливы для самых сильных событий, вероятность появления которых невелика. Для регистрации более слабых событий, которые, как ожидается, должны появляться гораздо чаще, необходима аппаратура, по крайней мере, с десятикратным запасом по чувствительности, то есть рабочая площадь детектора должна быть не менее 100 см².

Для того чтобы надежно исключить имитации гамма-всплесков сильно-ионизирующими частицами, следует использовать несколько (не менее трех) идентичных сцинтилляционных детекторов. Поскольку вероятность прохождения таких частиц одновременно через три детектора, расположенных практически в одной плоскости, мала, условием регистрации гамма-всплеска можно считать значимые возрастания скорости счета во всех трех детекторах. Имитации гамма-всплесков выпадающими магнитосферными электронами также могут быть исключены, во-первых, потому, что длительность подобных событий составляет, как правило, от десятков секунд до нескольких минут, т.е. существенно отличается от длительности всплесков гамма-излучения, связанного с атмосферными разрядами; во-вторых, при регистрации гамма-всплесков в качестве мастерного сигнала предполагается использовать показания оптических датчиков, т.е. отбирать только такие возрастания, которые сопровождаются оптическими вспышками. Для отобранных таким образом всплесков гамма-излучения предполагается записывать временные последовательности количества отсчетов с разрешением ~1 мкс, достаточным для получения информации о распределении фотонов во временных профилях самых коротких событий (длительностью ~2...5 мс). Кроме того, в ходе эксперимента могут записываться энергетические спектры гамма-всплесков с разрешением, определяемым собственным энергетическим разрешением кристалла NaI(Tl), ~10% на линии электрон-позитронной аннигиляции 511 кэВ. Таким образом, в эксперименте обеспечивается принципиальная возможность регистрации аннигиляционной линии, что позволяет получить информацию о рождении электрон-позитронных пар в процессе разряда.

В ходе эксперимента в течение длительного времени должна быть обеспечена возможность единовременного обзора различных областей верхней атмосферы Земли достаточно большой площади, чтобы набрать значимую статистику регистрируемых событий. Очевидно, что для этого предпочтительным является вариант космического эксперимента на низкоорбитальном спутнике или станции с возможностью ориентации регистрирующей аппаратуры в местный надир. Особенностью планируемых исследований также является необходимость длительных наблюдений в широкой апертуре в сочетании с детальными временными и спектральными измерениями, что требует накапливания и регулярной трансляции на Землю больших объемов данных.

С учетом вышеизложенного разработана следующая конструкция прибора РГД.

Прибор РГД включает:

- детекторный узел рентгеновского и гамма-излучения (ДУРГИ);
- узел плат электроники (ПЭ);
- панель разъемов;
- элементы конструкции (плита-основание, кожух, стенки).

На рис. 1. приведен сборочный чертеж блока.

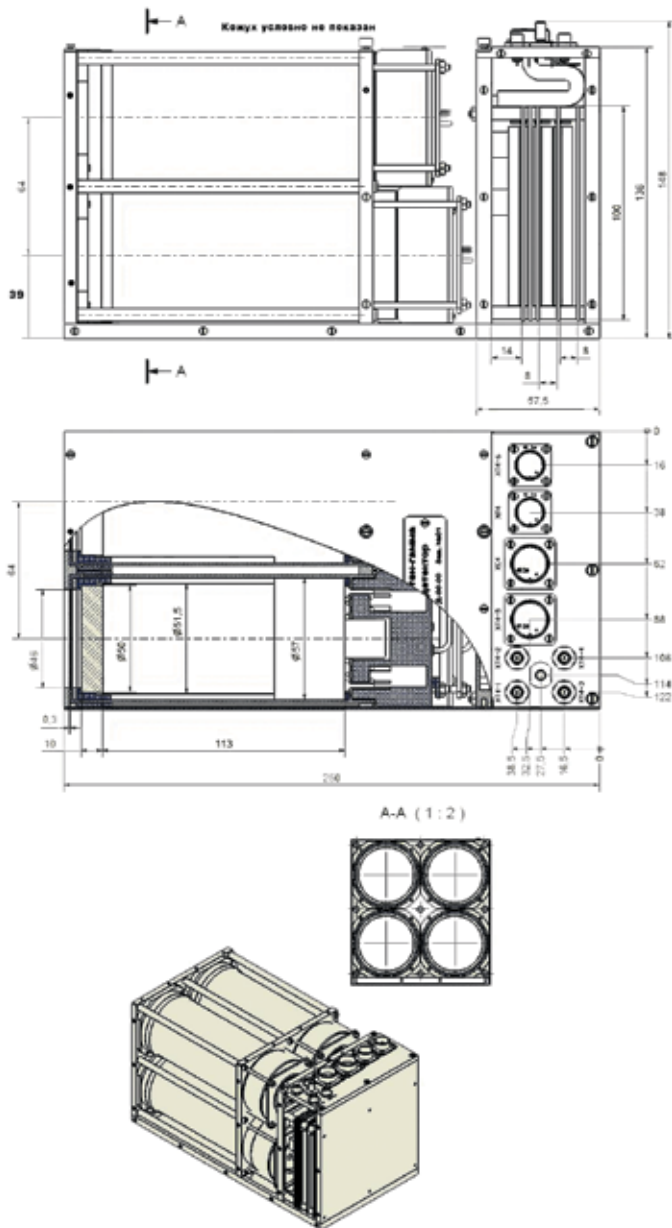


Рис.1. Сборочный чертеж блока РГД

Устройство ДУРГИ

Детекторный узел ДУРГИ состоит из трех детекторов жесткого рентгеновского и гамма-излучения (50...500 кэВ) и одного детектора – гамма-спектрометра (0,05...1,0 МэВ), а также конструктивных элементов крепления детекторов. Оси детекторов рентгеновского излучения и гамма-спектрометра должны быть сонаправлены друг с другом. Конструктивно все детекторы размещены в одном блоке и крепятся на элементах конструкции блока с помощью системы шпилек.

Упрощенная схема детектора жесткого рентгеновского и гамма-излучения приведена на рис.2. Каждый детектор выполнен на основе сцинтиллятора NaI(Tl) с размерами - $\varnothing 5,0 \times 1,0$ см, который просматривается фотоумножителем (ФЭУ) Hamamatsu R1306 с диаметром фотокатода 5,0 см. С ФЭУ сочленен делитель высокого напряжения Hamamatsu E1198-05.

Детекторный узел гамма-спектрометра выполнен на основе сцинтиллятора NaI(Tl), размеры которого $\varnothing 5,0 \times 2,0$ см. Сцинтиллятор просматривается фотоумножителем Hamamatsu R1306 с диаметром фотокатода 5,0 см. С ФЭУ сочленен делитель высокого напряжения Hamamatsu E1198-05. Упрощенная схема детектора приведена на рис.3.

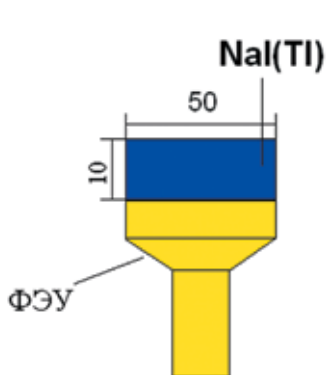


Рис.2. Схема детектора жесткого рентгеновского и гамма-излучения

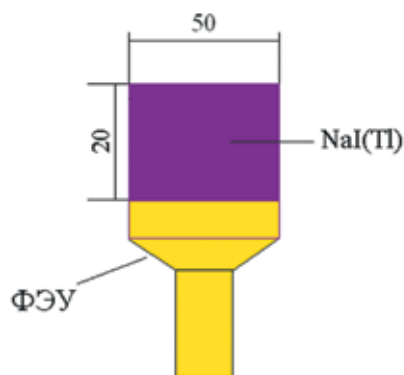


Рис. 3. Схема детекторного узла гамма-спектрометра

Устройство узла ПЭ

Узел ПЭ состоит из плат электроники и кронштейна, с помощью которого осуществляется крепление плат на элементах конструкции блока.

Узел ПЭ включает четыре платы:

- преобразователей и фильтров;
- предусилителей;
- аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) и программируемых интегральных схем (ПЛИС);
- CAN.

Плата преобразователей и фильтров включает два преобразователя высоковольтного напряжения (ПНВ) – основной и резервный, два преобразователя низковольтного напряжения (ПНН) – основной и резервный, а также фильтры, обеспечивающие очистку от помех напряжения, подаваемого с ПНН на другие платы электроники. Эта плата закрыта специальным металлическим кожухом для устранения нежелательного электромагнитного воздействия со стороны преобразователей на элементы электроники блока РГД и других приборов комплекса.

На плате предусилителей располагаются четыре входных предусилителя, на которые подаются сигналы с выходов ФЭУ, а также мультиплексор, распределяющий сигналы от разных ФЭУ на АЦП.

Плата АЦП и ПЛИС включает аналогово-цифровые преобразователи и микросхемы ПЛИС, обеспечивающие оцифровку сигналов, поступающих с выходов предусилителей, и их анализ в соответствии с логикой работы прибора.

Плата CAN представляет собой интерфейс для связи блока РГД с блоком БНД-Ч.

Блок РГД размещается вне гермоотсека космического аппарата и входными окнами детекторов ориентирован на Землю (в надир). При этом поле зрения каждого из детекторов не должно затеняться в пределах $\pm 30^\circ$ от оси блока. Допускается попадание в поле зрения детекторов отдельных элементов конструкции спутника (радиатора, антенны передатчика и т.п.).

Физико-технические характеристики блока РГД:

- энергетический диапазон – 0,02 ... 1,0 МэВ;
- эффективная площадь – $\sim 80 \text{ см}^2$;
- поле зрения – $\sim \pi$ ср;
- масса – $< 4,2 \text{ кг}$;
- габариты – не более 13,4×15,6×25,0 см;
- посадочные места ($\varnothing 6,5 \text{ мм}$);
- потребляемая мощность $< 5 \text{ Вт}$;
- питание прибора осуществляется от бортовой сети напряжением 12 В.

ЛОГИКА РАБОТЫ БЛОКА РГД

В ходе эксперимента должна осуществляться непрерывная запись показаний детекторов прибора РГД. Выходной сигнал детекторов, осуществляющих запись временного профиля всплеска, должен оцифровываться с разрешением не менее 100 нс и записываться в течение интервала времени, который задается ресурсами внутренней «кольцевой» памяти прибора (не менее 20 мс), после чего должна происходить перезапись в «кольцевую» память последующего набора показаний. Таким образом, в кольцевой памяти всегда хранится текущая последовательность оцифрованных показаний детекторов длительностью 20 мс. Параллельно с записью оцифрованных сигналов от каждого из четырех детекторов должно осуществляться запись числа отсчетов (сигналов, амплитуда которых превышает порог, соответствующий энерговыделению в детекторе 25 кэВ), аккумулируемых за интервал 3 мс и за интервал времени длительностью 1 с (длительность этого интервала может изменяться по команде с Земли), предшествующий трехмиллисекундному интервалу. Путем суммирования отсчетов в канале каждого детектора за 1 с интервал, предшествующий 3 мс, определяется уровень фона. Превышение количеством отсчетов, суммируемых за 3 мс, уровня фона на определенное число «сигма» в заданном числе детекторов (этот уровень и количество сработавших детекторов устанавливаются по команде с Земли, исходное значение – 3σ не менее чем в двух детекторах) является признаком события. В этот момент должен вырабатываться триггер прибора (T_n) – прямоугольный импульс длительностью 1 мкс. При этом содержимое кольцевой памяти в интервале от 8 мс до T_n и в течение 12 мс после T_n переписывается в буферную память прибора.

РЧА (с. 72)
БНД-Ч (с. 90)
ДУФ (с. 58)

Аналогичным образом содержимое кольцевой памяти может фиксироваться по назначенному от другого прибора (радиочастотного анализатора (РЧА) или ультрафиолетового детектора (ДУФ)) внешнему триггеру, поступающему в блок РГД из блока накопления данных (БНД-Ч). При этом содержимое кольцевой памяти в интервале от 8 мс до триггера и в течение 12 мс после триггера также переписывается в буферную память прибора.

В момент появления T_{α} должен также вырабатываться строб длительностью 10 мс, который поступает в блок БНД-Ч и служит для выработки триггера комплекса (T_{κ}). В случае совпадения этого стога с аналогичным стробом, вырабатываемым прибором РЧА или ДУФ, в блоке БНД-Ч вырабатывается триггерный сигнал - T_{κ} , служащий для фиксации содержимого кольцевой памяти приборов комплекса, в том числе и РГД. В случае фиксации по T_{κ} переписывается в буферную память прибора содержимое кольцевой памяти в интервале от 15 мс до триггера и в течение 5 мс после триггера.

По командам с Земли может быть изменена длина записи в кольцевой памяти – 50 мс и длительность стога – 5 и 25 мс.

В случае длины записи в кольцевой памяти 20 мс события считаются независимыми, т.е. соответствующие показания записываются в кольцевой памяти в буферную как независимые последовательности, если интервал между их началом больше 10 мс. В противном случае они записываются как одно событие.

В буферную память прибора также непрерывно записывается число отсчетов от каждого из четырех детекторов за 1 с для контроля фоновых показаний детекторов.

При заполнении буферной памяти прибора в БНД-Ч выставляется запрос на считывание, по которому содержимое буферной памяти переписывается в БНД-Ч для передачи на Землю. После окончания переписывания данных из прибора в БНД-Ч содержимое буферной памяти обнуляется, и она готова к записи последующего набора данных.

БНД-Ч (с.90)

Блок РГД должен обеспечить измерение физических параметров, приведенных в таблице.

Фотоумножитель	Параметры			
	энергетический диапазон измерений, кэВ	коэффициент преобразования $K_{пр}$, мВ/кэВ	порог 5σ чувствительности на фоновой частоте $f = 1$ кГц, эрг/см ²	потребляемая мощность канала, Вт, не более
ФЭУ-1	20...500	$K_{пр} = 5,0$	$\leq 4 \cdot 10^{-8}$	1,2
ФЭУ-2	20...500	$K_{\gamma} = 5,0$	$\leq 4 \cdot 10^{-8}$	1,2
ФЭУ-3	20...500	$K_{\gamma} = 5,0$	$\leq 4 \cdot 10^{-8}$	1,2
ФЭУ-4	20...500	$K_{пр} = 5,0$	$\leq 4 \cdot 10^{-8}$	1,2

При этом по каждому из параметров таблицы время преобразования должно быть не более 500 нс; погрешность измерения — не более $\pm 1,0\%$ в нормальных условиях; линейность характеристики — $\pm 1,0\%$ во всём диапазоне измерения; температурная погрешность коэффициентов преобразования — не более 0,1% от измеряемого значения на градус Цельсия в рабочем диапазоне температур.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ РГД

Исходя из суточной квоты телеметрии (квота должна быть уточнена на этапе техпроекта) должно предусматриваться сочетание двух режимов опроса и преобразования измерительных каналов РГД — фоновый и всплесковый.

Фоновый режим обеспечивает 100% покрытие орбиты со скважностью 1 с, всплесковый - три-четыре 20-мс интервала за виток со скважностью 0,1 мкс.

Фоновый режим

Кадр содержит следующие параметры - средние значения скорости счета за секунду интервала:

ФЭУ-1.....	2 байт
ФЭУ-2.....	2 байт
ФЭУ-3.....	2 байт
ФЭУ-4.....	2 байт
Итого.....	8 байт
Служебная информация.....	2 байт
	<hr/>
	10 байт
Всего за сутки	1,0 Мбайт

Всплесковый режим

Объем одной записи.....	4000 байт
Итого, за виток.....	$4 \cdot 4000 = 16$ кбайт
за сутки.....	256 000 байт
Оба режима в сумме.....	1 256 Мбайт

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Цирлин Ю.А., Глобус М.Е., Сысоева Е.П. Оптимизация детектирования гамма-излучения сцинтилляционными кристаллами. М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Федоров Н.Д. Краткий справочник инженера-физика. Ядерная физика. Атомная физика. М.: Госатомиздат, 1961.
3. Богомолов А.В. и др. // Космич. исслед. 2000.Т.38.С.377.

PHYSICAL PARAMETERS AND TRIGGER ALGORITHM IN RGD INSTRUMENT

Garipov Gali Karymovich (Scientist),

Svertilov Sergey Igorevich (Senior Scientist, Ph.D.),

Yashin Ivan Vasil'evich (Head of Department, Ph. D.)

Skobel'tsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University

The RGD-instrument is intended for the detection of X-ray and gamma-ray flashes which could be produced in atmospheric discharges. The instrument consists from four NaI(Tl) scintillation detectors of 5 cm diameter. The thickness of three detectors is 1 cm and of one 2 cm. Each detector is viewed by separate photomultiplier tube of Hamamatsu R1306 type. The summary effective area of all detectors is $\sim 80 \text{ cm}^2$, it provides the efficiency of flash detection at the level $\sim 5 \cdot 10^{-2} \text{ phot/cm}^2$. The detected quanta range is 0,02...1,0 MeV for thick detector (2 cm) and 0,02 ... 0,5 MeV for thin detectors (1 cm). The detailed signal recording (digital oscillogram) with the time resolution 0,2 mcs during 20 ms interval is foreseen in the case of X-ray or gamma-ray flash detection. The burst detection criterion (instrument trigger) is the all four detector summary count increasing more than on 5 standard deviations (σ) of background level with the increasing more than on $2,5\sigma$ of background level at least in two detectors separately.

Keywords: flashes, X-rays, gamma, emission, detector, scintillator, photomultiplier tube, signal, sensitivity, efficiency, time resolution, trigger.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АЛГОРИТМЫ ВЫРАБОТКИ ТРИГГЕРОВ ПРИБОРОМ ДУФ

Г.К.Гарипов – научный сотрудник

С.И.Свертилов – старший научный сотрудник, доктор физ.-мат. наук

И.В.Яшин – начальник отдела, кандидат физ.-мат.наук

Научно-исследовательский институт ядерной физики им.Д.В.Скобельцина
МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва

Прибор ДУФ (ультрафиолетовый детектор) предназначен для регистрации всплесков атмосферного ультрафиолетового и красного излучения в диапазонах длин волн 180 ... 400 и 650 ... 800 нм соответственно. Регистрация излучения осуществляется посредством двух фотоумножителей Hamamatsu R1463. Полоса чувствительности ограничена светофильтрами УФС-1 в ультрафиолетовом диапазоне и КС-3 в красном диапазоне толщиной 0,25 см. Оба фотоумножителя размещаются в одном блоке вместе с платами электроники, источниками питания, преобразователями гальванической развязки и фильтрами помех. Область обзора фотоумножителей ограничивается мультиапертурным коллиматором $\pm 10^\circ$. В случае регистрации всплеска выходной сигнал детекторов, осуществляющих запись временного профиля, должен оцифровываться с разрешением не менее 100 мкс и записываться в течение интервала времени, который задается ресурсами внутренней «кольцевой» памяти прибора (не менее 20 мс). Пороговый уровень срабатывания в приборе должен вырабатываться автоматически (за счет обратной связи).

Ключевые слова: всплески, ультрафиолетовое, красное излучение, детектор, фотоумножитель, сигнал, диапазон, чувствительность, эффективность, коллиматор, временное разрешение, триггер, память прибора.

НЗ (с. 7) Прибор ДУФ (ультрафиолетовый детектор) является частью комплекса научной аппаратуры КНА «Гроза», устанавливаемой на микроспутнике «Чибис-М» для изучения высотных атмосферных разрядов.

Прибор ДУФ должен в составе КНА «Гроза» регистрировать вспышки ультрафиолетового ($\lambda=180...400$ нм) и красного излучений ($\lambda=650...800$ нм) высотных атмосферных разрядов.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА ДУФ

Выход излучения и, возможно, заряженных частиц из верхней атмосферы в космическое пространство может происходить при развитии транзитных высотных электрических разрядов в атмосфере.

Транзитные разряды развиваются на высотах более 30 км и достигают высот ионосферы, пространственные размеры составляют сотни километров и значительно превосходят по объему молниевый разряд. Особенно интересно, что длительность таких разрядов невелика (миллисекунды), что при столь больших размерах разряда указывает на высокую скорость распространения разряда в пространстве (скорость, близкая

к скорости света). Приведенные характеристики позволяют ожидать, что в верхней атмосфере, где плотность вещества мала, в таких разрядах мы, скорее всего, имеем дело с ускоренными частицами (электронами) и электромагнитными излучениями сравнительно высокой энергии. Основным источником светового излучения в этих разрядах является ультрафиолетовое свечение возбужденных в разряде ионов молекул азота, которое пропорционально энергии разряда. Тип транзиентных световых явлений (TLE — английская аббревиатура этого явления) зависит от начальных условий возникновения разряда, таких как количества накопленного электричества на облаках, расстояния между облачным покровом и ионосферой, плотность электронов между облаками и ионосферой и в ионосфере.

До настоящего времени экспериментальные данные о высотных электрических разрядах получены по электромагнитному излучению, сопровождающему такой разряд, в широком диапазоне частот (или длин волн). Наблюдаются радиосигналы с частотой десятки герц - десятки килогерц, сигналы в ближнем ультрафиолете, рентгене, гамма-кванты с энергией в десятки мегаэлектронвольт. Разработаны теоретические модели разряда [Гуревич А.В., Зыбин К.П.], результатом которого может быть выход электронов высокой энергии в околоземное космическое пространство, но пока нет надежных экспериментальных данных, которые подтвердили бы такое предсказание.

Экспериментальные данные о транзиентных световых явлениях, например, данные микроспутника МГУ «Университетский -Татьяна» [Garipov et al., 2005 а], указывают на концентрацию TLE на низких широтах, где, как известно, высока концентрация водяного пара и кинетическая энергия турбулентного движения атмосферы высока благодаря интенсивному нагреву поверхности Земли Солнцем. В процессе движения атмосферных масс происходит ионизация молекул и капель водяного пара, их разделение на области положительно и отрицательно заряженных частиц, возникновение электрического поля с высокой напряженностью.

Экспериментальные данные о TLE показывают, что яркость излучения в диапазоне ближнего УФ (300...400 нм) очень высока, порядка 10^{21} ... 10^{24} фотонов в районе действия разряда в атмосфере. Известно, что излучение в этом диапазоне длин волн связано с ионизацией и возбуждением молекул азота атмосферы при прохождении электронов. Есть уверенность в том, что наблюдаемые вспышки ближнего УФ связаны с существованием огромных потоков электронов с энергией, по крайней мере, большей энергии, необходимой для возбуждения молекул азота (>10 эВ) в районе разряда. Большие потоки электронов являются естественным следствием развития лавинного разряда в атмосфере, начинающегося при наличии достаточно высокого электрического поля. В экспериментах по наблюдению светового изображения TLE, развивающегося по вертикали, было показано, что электрический разряд может распространяться между облаками и ионосферой, достигая высот в десятки километров и вплоть до 100 км. Это означает, что электрическое поле возникает не только в промежутке облако - Земля или в промежутке облако - облако, но и в районе облако - ионосфера.

Вместе с тем длительность такого «высотного» разряда мала — порядка миллисекунд, — что указывает на высокую скорость распространения разряда. Если электроны играют главную роль в развитии разряда, то их скорость движения должна быть близка к скорости света, то есть их энергия должна быть порядка или более 1 МэВ. Такие электроны должны излучать тормозные кванты с энергией того же порядка, что и энергия электронов. Такое излучение из атмосферы было найдено экспериментально [Garipov et al., 2005 б], это позволило утверждать, что, по крайней мере, часть наблюдаемых высотных разрядов происходит с ускорением электронов до энергий в десятки мегаэлектронвольт. Электроны столь

высоких энергий, попавшие на большие высоты атмосферы, имеют шанс выйти за пределы атмосферы, быть захваченными геомагнитным полем и стать частью магнитосферы Земли.

Так как высотные разряды сосредоточены вблизи экватора, то такие гипотетически вышедшие из атмосферы электроны оказываются на низких L-оболочках ($L \sim 1 \dots 3$) и должны достаточно быстро «высыпаться» обратно в атмосферу на сопряженных разрядных точках. Таким образом, мы вправе ожидать существования интересного явления, в котором верхняя атмосфера и ближний космос составляют единое пространство. На существование такой связи, возможно, указывает и связь частоты наблюдения вспышек ультрафиолетового излучения с фазой Луны, обнаруженной научной аппаратурой микроспутника МГУ «Университетский-Татьяна» [Garipov et al., 2008].

Вместе с тем пока не выполнено комплексное экспериментальное исследование излучения в событии TLE, потоков электронов на орбите спутника над TLE и на сопряженных с TLE точках.

Задачей настоящего эксперимента является получение новых статистически надежных данных о карте распределения событий TLE разного типа. Эти данные помогут выяснить природу высотных разрядов различного типа. Данные детекторов в настоящем эксперименте об интенсивности УФ будут использованы для получения статистически полных данных о карте низкоширотного свечения. В совокупности ожидаемые данные помогут понять роль высотных разрядов в физике и химии верхней атмосферы, стабильности ионосферы, роли магнитосферы в изменении состояния ионосферы, найти возможную корреляцию высотных разрядов и других геофизических явлений.

Для получения новых данных по упомянутым выше направлениям мы выбираем метод наблюдения TLE с борта ИСЗ в направлении надир. В этом направлении ожидается минимальное поглощение сигнала TLE в атмосфере, поле зрения приборов остается постоянным практически на всем пути полета ИСЗ (в противоположность измерениям на лимбе атмосферы, где реальное поле зрения сильно зависит от состояния атмосферы между прибором и наблюдаемым событием).

Прибор ДУФ включает:

- детектор (фотоэлектронный умножитель - ФЭУ) ультрафиолетового (180...400 нм) и красного излучения (650...800 нм);
- узел плат электроники (ПЭ);
- панель разъемов;
- элементы конструкции (плита-основание, кожух, стенки, элементы крепления ФЭУ и фильтров, кронштейны крепления плат электроники, источников питания, преобразователей гальванической развязки, фильтра подавителя помех на шинах питания).

Детектор ДУФ состоит из двух ФЭУ Hamamatsu R1463 с диаметром входного окна фотокатода 13,6 мм. Полоса чувствительности ФЭУ ограничена светофильтрами УФС-1 в ультрафиолетовом диапазоне и КС-3 - в красном диапазоне, установленными на фотокатод ФЭУ.

Область обзора ФЭУ ограничена мультиапертурным коллиматором $\pm 10^\circ$. Области обзора ФЭУ сонаправлены и ориентированы в надир.

Конструктивно ФЭУ размещается в одном блоке и крепится на элементах конструкции блока.

Входные окна детекторов ДУФ должны быть ориентированы на Землю (в надир). При этом поле зрения каждого из детекторов не должно затеняться в пределах $\pm 10^\circ$ от оси блока.

Потребляемая мощность ДУФ не более 2,5 Вт при питании прибора от бортовой сети напряжением 12 В. Важной особенностью детектора является наличие системы автоматической регулировки усиления (АРУ), позволяющей регистрировать сигналы на дневной и ночной стороне Земли в широком диапазоне освещенности атмосферы.

Упрощенная схема ДУФ приведена на рис. 1.

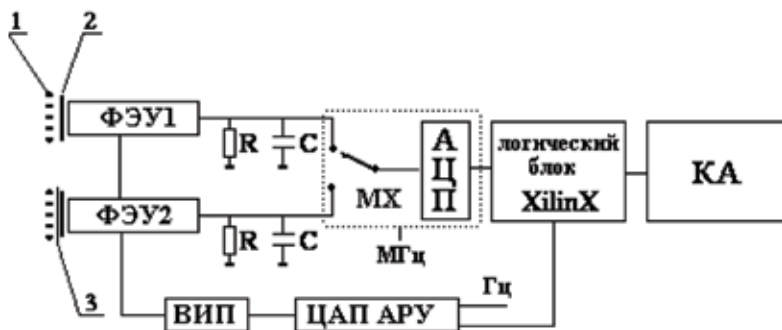


Рис. 1. Схема ДУФ: 1- коллиматор; 2 - светофильтр УФС-1; 3 - светофильтр КС-3; ФЭУ-1 и ФЭУ-2 – фотоумножители; ВИП- плата питания ФЭУ; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ЦАП АРУ–цифро-аналоговый преобразователь системы автоматической регулировки усиления; КА – бортовые системы микроспутника

Выходной сигнал детекторов, осуществляющих запись временного профиля всплеска, оцифровывается с разрешением не менее 100 мкс (уточняется) и записывается в течение интервала времени, который задается ресурсами внутренней «кольцевой» памяти прибора (не менее 20 мс, уточняется), после чего происходит перезапись в «кольцевую» память последующего набора показаний.

Пороговый уровень срабатывания вырабатывается автоматически (за счет обратной связи).

В буферную память ДУФ осуществляется непрерывная запись числа отсчетов от каждого из четырех детекторов за 1 с для контроля фоновых показаний детекторов.

При заполнении буферной памяти ДУФ в БНД-Ч выставляет запрос на считывание, по которому содержимое буферной памяти переписывается в БНД-Ч для передачи на Землю.

БНД-Ч (с.90)

Прибор ДУФ обеспечивает измерение физических параметров, приведенных в таблице.

Фотоумножитель	Характеристики	
	диапазон длин волн регистрируемых фотонов, нм	потребляемая мощность канала, Вт, не более
ФЭУ-1	180...400	1,25
ФЭУ-2	650...800	1,15

По каждому параметру таблицы: линейность и погрешность измерения - не более $\pm 2,0\%$ в нормальных условиях; температурная погрешность коэффициентов преобразования - не более $0,2\%$ от измеряемого значения на градус Цельсия в рабочем диапазоне температур.

Суточная информационная квота прибора ДУФ уточняется на следующих этапах разработки КНА "Гроза".

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич А.В., Зыбин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // УФН.2001. Т. 171. С. 1177 – 1199.
2. Garipov G.K., Khrenov B.A., Panasyuk M.I., Tulupov V.I., Salazar H., Shirokov A.V., Yashin I.V. UV-flashes in the equatorial region of the Earth // JETP Letters.2005. V. 82. P.185-187.
3. Garipov G.K., Khrenov B.A., Panasyuk M.I., Tulupov V.I., Shirokov A.V., Yashin I.V., Salazar H. UV-radiation from the atmosphere: Results of the MSU "Tatiana" satellite measurements // Astroparticle Physics.2005. V. 24. P.400-408.
4. Garipov G.K., Khrenov B.A., Panasyuk M.I. Correlation of atmospheric UV transient events with lunar phase // Geophysical Research Letter.2008. V.35.L10807,doi:10.1029/2007GL032679.

PHYSICAL PARAMETERS AND TRIGGER ALGORITHM IN DUF INSTRUMENT

Garipov Gali Karymovich (Scientist),

Svertilov Sergey Igorevich (Senior Scientist, Ph.D.),

Yashin Ivan Vasil'evich (Head of Department, Ph. D.)

Skobel'tsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University

The DUF instrument is intended for detection of atmospheric ultraviolet and red burst emission in the wavelength band 180 ... 400 and 650 ... 800 nm respectively. Radiation detection provides by two photomultiplier tubes of Hamamatsu R1463 type, which sensitivity band is limited by light filters of 0.25 cm thickness UFC-1 in the ultraviolet range and KC-3 in the red range. Both photomultipliers are placed in one box with the electronic plates, power sources, DC/DC converters and noise filters. The photomultiplier input window is limited by multiaperture collimator $\pm 10^\circ$. In the case of burst detection output signal from detectors recorded the time profile should be converted in digital form with resolution no less than 100 mcs and recorded during the time interval, which is defined by the instrument inner "ring" memory resources (no less than 20 ms). The threshold switch-on level should be produced in the instrument automatically (by the feedback).

Keywords: bursts, ultraviolet, red, radiation, detector, photomultiplier, signal, range, sensitivity, efficiency, collimator, time resolution, trigger, instrument memory.

ЦИФРОВАЯ ФОТОКАМЕРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

А.В. Бондаренко — генеральный директор

И.В. Докучаев — главный специалист

ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», Москва

В.А. Котцов — научный сотрудник, Учреждение Российской академии наук
Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

Цифровая фотокамера – ЦФК – в составе КНА «Гроза» микроспутника «Чибис-М» предназначена для изучения новых физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах. Рассмотрены ее состав и алгоритмы работы. Съёмка выполняется в кольцевом цикле наблюдения с отбором и запоминанием кадров с грозовыми вспышками по синхронизации от приборов электромагнитной регистрации событий. Камера обеспечит фиксацию факта молнии с привязкой наблюдаемых координат разряда к системе координат микроспутника «Чибис-М».

Ключевые слова: грозовые атмосферные разряды, цифровая камера, анализ динамики изображений, кольцевой цикл записи.

Молния представляет собой мощный электрический разряд, который происходит в нижних слоях атмосферы. Для появления такого разряда необходимо, чтобы в обкладках атмосферного конденсатора, образованного облаками и земной поверхностью, накопилась значительная разность потенциалов. Считается, что молния возникает как пробой при достижении некоторого порогового значения.

Специалисты отмечают в этой теории одно слабое место — расчётное значение порогового поля на порядок превосходит то, которое реально наблюдают при грозовых разрядах. А.В. Гуревич и его коллеги из Физического института им.П.М.Лебедева РАН (ФИАН) считают, что процесс разряда запускают высокоэнергетические частицы космического излучения. Они назвали его пробоем на убегающих электронах. Этот процесс представляет собой лавинообразное размножение быстрых электронов с характерной энергией 0,1... 10 МэВ. В атмосфере он возникает в постоянном электрическом поле на порядок меньше обычного. По результатам наблюдений гамма-всплесков во время грозы была выдвинута гипотеза, что при возникновении молний выделяется большое количество гамма-квантов. Экспериментальная проверка этих гипотез представляет достаточно сложную задачу, которая требует наблюдения процессов образования молний и определения синхронности возникновения излучений.

На российских географических широтах гроза — явление достаточно редкое, наиболее часто грозы возникают в экваториальной области. Координаты возникновения молний при грозах случайны. Эффективное изучение этих явлений возможно с космических аппаратов. На рис. 1 показан пример фотоснимка атмосферного грозового разряда, снятого космонавтами с борта МКС. На снимке хорошо видна вспышка грозового разряда, однако для решения нашей задачи требуется проведение более сложного комплекса наблюдений.

НЗ (с. 7)



Рис.1. Атмосферный грозовой разряд, снятый космонавтами с борта МКС

Для наблюдений грозовых явлений в Специальном конструкторском бюро космического приборостроения ИКИ РАН разрабатывается микроспутник «Чибис-М». В составе его комплекса научной аппаратуры «Гроза» предусмотрена цифровая фотокамера ЦФК, разработанная совместно ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ» (разработка электроники) и ИКИ РАН (разработка конструкции, сборка, испытания и т.д.) и предназначенная для изучения новых физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах. Эта камера — достаточно сложное устройство, которое должно вести постоянное наблюдение, выделять и фиксировать вспышки молний, определять их координаты и, что самое главное, идентифицировать их с одновременно наблюдаемыми физическими явлениями. Для этого ЦФК должна выполнять съёмку в кольцевом цикле наблюдения с обработкой, отбором и запоминанием грозовых вспышек по синхронизации от приборов электромагнитной регистрации одновременных событий.

Цифровая фотокамера представляет собой устройство получения полутонных высококачественных изображений со встроенным видеопроцессором реального времени. Реализованный на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) DSP-процессор способен выполнять различные функции обработки видеoinформации.

Цифровая фотокамера содержит входную оптику, блок фотоприёмника на ПЗС-матрице, DSP-процессор реального времени для выполнения операций с видеoinформацией, блок запоминания изображений, интерфейсы обмена данными и управления.

Структурная схема связей функциональных блоков фотокамеры показана на рис.2. Эта схема даёт представление о составе блоков, характере их взаимодействия и степени сложности рассматриваемого устройства.

Для формирования изображения в фотокамере используется объектив «Астар-6» с фокусным расстоянием 18 мм, угловое поле зрения 30°. Разрешение объектива при контрасте 70% и относительном отверстии 1/2 – не хуже 70 пар линий/мм. Для повышения информативности спектральная характеристика камеры ограничивается селенокадмиевым светофильтром типа ЖС или ОС.

Аппаратная реализация фотокамеры выполнена на ПЗС-матрице Kodak KAI-1020M с двойной коррелированной выборкой (ДКВ) и электронным затвором, АЦП-преобразователь - 12 бит при 45 МГц с VGA (усилитель с переменным коэффициентом усиления), DSP-видеопроцессор выполнен на ПЛИС Altera семейства Cyclone II с DSP-памятью - SDRAM (16M x 16), для запоминания кадров изображений используется память - FLASH (1G x 8). Камера оснащена цифровым датчиком температуры, работающим в диапазоне от - 40 до + 75 °С.

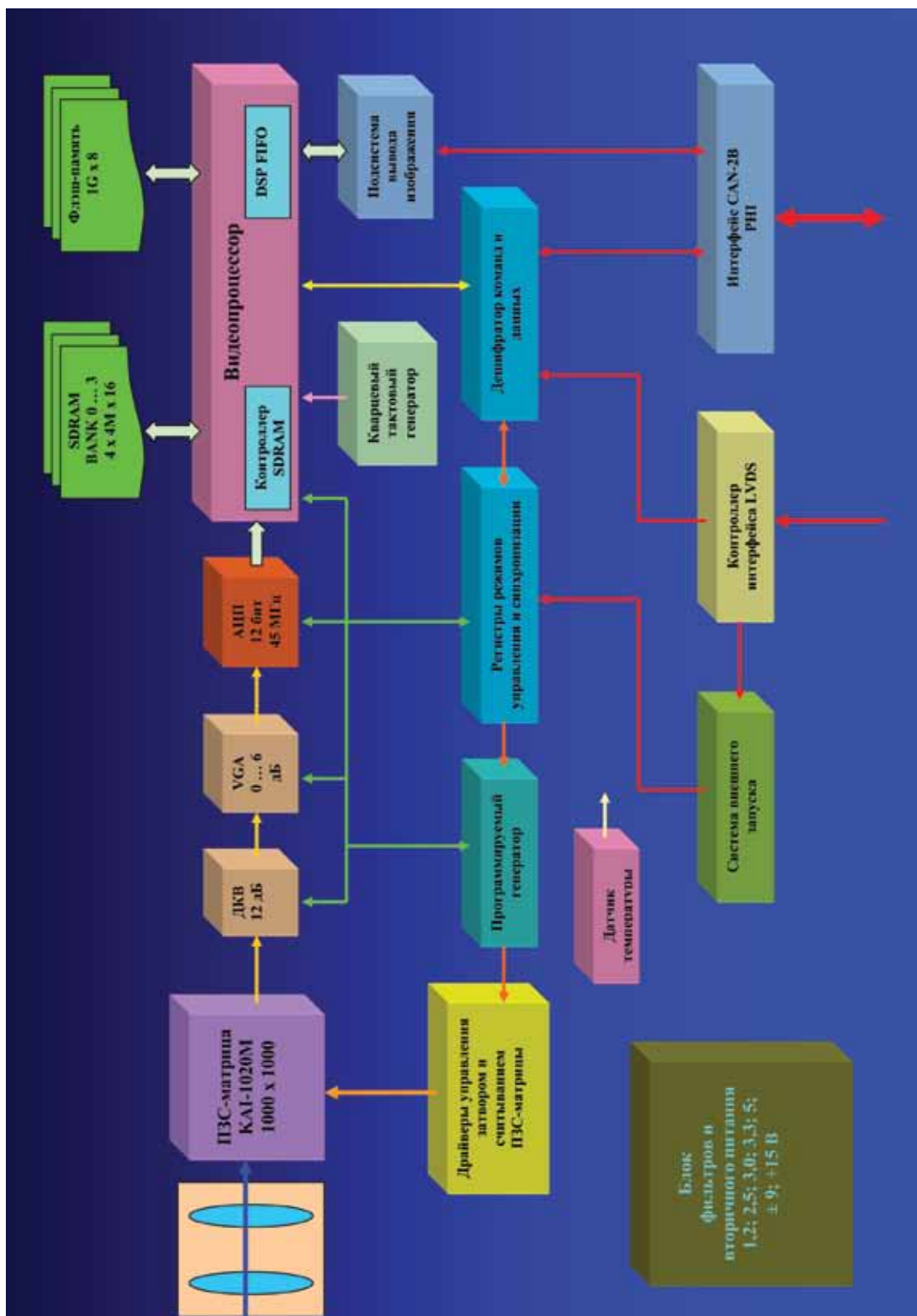


Рис.2. Структурная схема связей функциональных блоков цифровой фотокамеры

Цифровая фотокамера работает от источника электропитания постоянного тока с напряжением 12 В и гальванической развязкой; потребление - не более 5 Вт (при этом общим проводом должен быть -12 В, шина +12 В разрывается непосредственно в бортовом вычислительном комплексе (БВК)).

Обмен данными и управление осуществляется по интерфейсу CAN-2В, для запуска используется интерфейс LVDS, скорость передачи данных - до 1 Мбайт/с. Камера включается и выключается подачей либо снятием питания от бортовой сети 12 В.

Изображение, полученное с ПЗС-матрицы (при формате кадра 1024 x 1024 пиксела x 12 бит), имеет пространственное разрешение 1000 x 1000 элементов с 12-битным разрешением по яркости (4096 градаций оттенков серого) и частотой не менее 12 кадров/с.

Использование режима объединения пикселов (биннинга) позволяет увеличить чувствительность матрицы в 2 раза при соответствующем снижении пространственного разрешения. В режиме биннинга 1 x 2 (2 x 2) – получаемое разрешение 1024 x 512 (512 x 512) с частотой не менее 24 кадров/с. Использование 12-бит АЦП позволяет повышать контрастность изображений в 2, 4 и 8 раз, за счёт таблиц перекодировки LUT.

Расчёт пороговых значений освещённости для ПЗС-матрицы KAI-1020M приведен в статье: *Бондаренко А.В., Докучаев И. В., Князев М.Г. Расчёт пороговых значений потока излучений и освещённости для ПЗС-матриц Kodak KAI-1003M, KAI-1020M и Philips FTF-3020M // CCTV focus.2006. № 4. С. 24.*

За основу изучения физических механизмов в грозовых атмосферных разрядах могут быть приняты алгоритмы обработки изображений в реальном масштабе времени, реализованные ранее для решения подобных задач в цифровых видеокомплексах и мультиплексоре RT-106MX, разработанных в ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ».

На рис.3 представлена блок-схема DSP-обработки видеoinформации в цифровой фотокамере.

Рассмотрим некоторые варианты решения отдельных задач обработки видеoinформации с использованием процессора цифровой камеры.

Для обнаружения вспышки грозового атмосферного разряда можно использовать алгоритм анализа последовательности из трех кадров и детектор движения.

Анализируется последовательность изображений из трёх кадров (F_{i-1} , F_i , F_{i+1}) и задан пороговый уровень сигнала P . Пороговый уровень задаётся БВК и может меняться в зависимости от факторов окружающей среды. Аппаратно проверяется условие: если разность кадров ($F_i - F_{i-1} - P > 0$) и ($F_{i+1} - F_i - P < 0$), то принимается решение о наличии вспышки (импульса).

Для регистрации вспышек молний может быть использован известный алгоритм детектора движения. Кадр изображения делится на три прямоугольные области (стробы) по вертикали. Строб на изображении может быть выделен пунктирной линией; в каждом стробе, заданном прямоугольной областью кадра изображения, проводятся статистические измерения. Затем для каждого строба вычисляется свой порог превышения.

Аппаратно по изображению могут выполняться: определение минимального и максимального значения пиксела внутри строба статистики за время ввода одного кадра, определение количества пикселов, превышающих заданный порог обнаружения, интервал разности значений одинаково расположенных пикселов в двух кадрах изображения - текущего и эталонного. Эта информация позволяет изучать динамику изменения изображения в определенном пространственном направлении, проводить селекцию статических и динамических изображений.

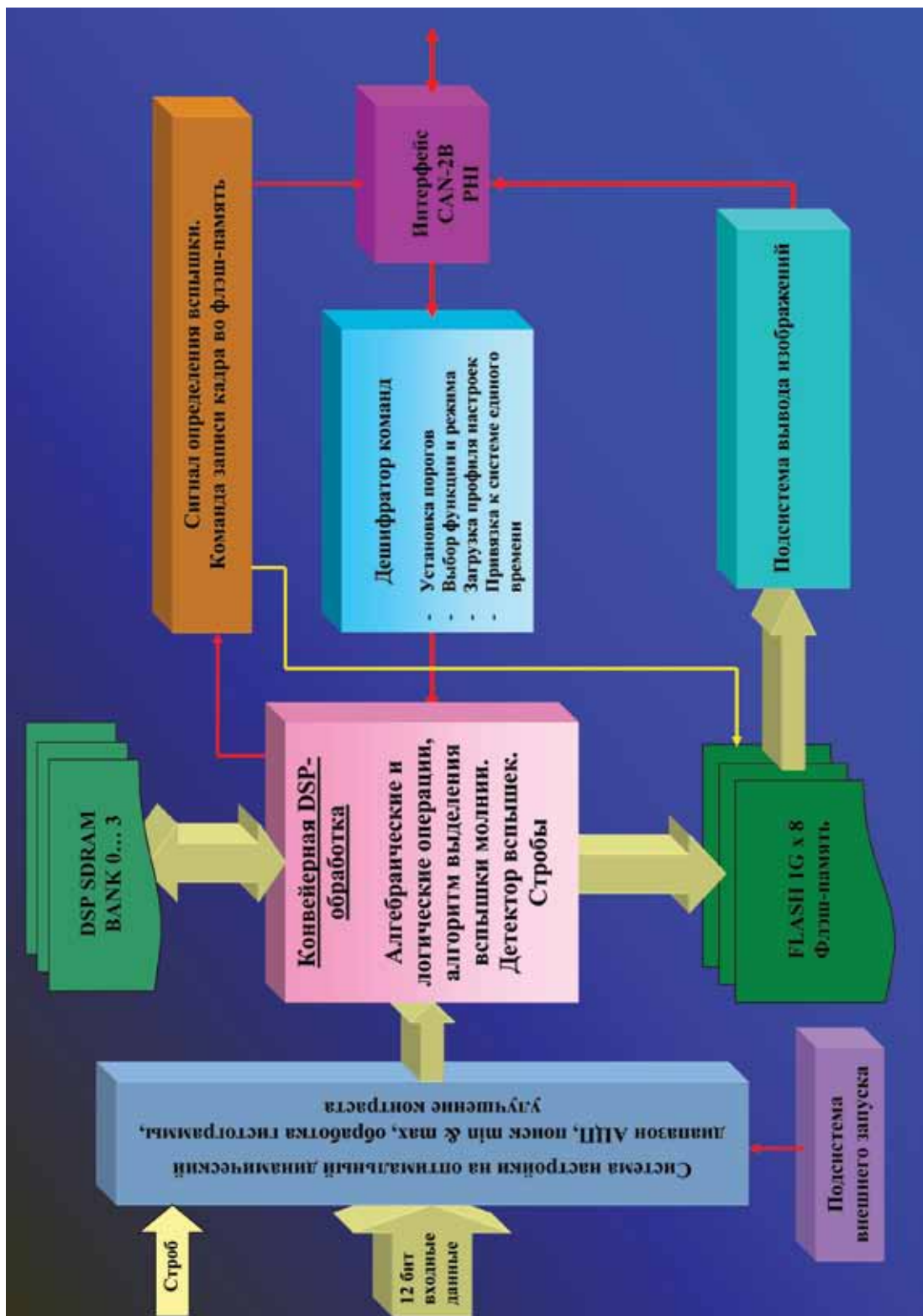


Рис.3. Блок-схема DSP-обработки видеоинформации в цифровой фотокамере

Интервал разности сравниваемых значений яркости - порог обнаружения - задается БВК по модулю в одном из регистров цифровой камеры. В качестве эталонного может использоваться предыдущий кадр изображения или любой кадр из потока, записанный в DSP-банк.

В результате работы алгоритма по импульсу превышения происходит запись изображения с грозовой вспышкой во флэш-память.

Приведем описание некоторых алгоритмов, используемых в задачах обработки видеoinформации, реализуемых в процессоре цифровой фотокамеры.

При плохом качестве изображения из-за малого соотношения сигнал/шум можно применить рекурсивные методы обработки видеoinформации.

Рекурсивное накопление. Результирующее изображение вычисляется по формуле

$$Y_n = (1/k)X_n + (1 - 1/k)Y_{n-1}$$

где Y_n – результирующее изображение в n-ом кадре;
 X_n – оцифрованное изображение в n-ом кадре;
 Y_{n-1} – результирующее изображение в n-1-ом кадре;
 k – коэффициент рекурсии ($2 \leq k \leq 64$).

Использование режима накопления позволяет повысить соотношение сигнал/шум в сильно зашумленных статических и слабо динамичных изображениях.

Вычитание кадра (в качестве вычитаемого используется кадр изображения, записанный по команде от БВК). Результирующее изображение вычисляется по формуле

$$Y_n = (kX_n - (1 - k)X_{DSP}) / 2 + C,$$

где Y_n – результирующее изображение в n-ом кадре;
 X_n – оцифрованное изображение в n-ом кадре;
 X_{DSP} – вычитаемый кадр изображения;
 k – весовой коэффициент ($1/64 \leq k \leq 1$);
 C – коэффициент, равный половине разрядной сетки АЦП.

Пример применения функции рекурсивного накопления



Рис.4. Исходное изображение



Рис.5.Обработанное изображение

На рис.4 показано исходное изображение, представляющее собой шумовую составляющую ПЗС-матрицы и электронно-оптического преобразователя (ЭОП). На рис.5 приведено обработанное изображение с калиброванной освещённостью 10...6 лк и с параметрами обработки: коэффициент рекурсии 1/32, контраст 4, время интеграции 4 с.

Сложение с кадром (в качестве слагаемого используется кадр изображения, записанный по команде от БВК). Результирующее изображение вычисляется по формуле

$$Y_n = kX_n + (1 - k)X_{DSP},$$

где Y_n – результирующее изображение в n-ом кадре;
 X_n – оцифрованное изображение в n-ом кадре;
 X_{DSP} – суммируемый кадр изображения;
 k – весовой коэффициент ($1/64 \leq k \leq 1$).

Вычитание двух смежных кадров (в качестве вычитаемого используется предыдущий кадр изображения). Результирующее изображение вычисляется по формуле

$$Y_n = (kX_n - (1 - k)X_{n-1}) / 2 + C,$$

где Y_n – результирующее изображение в n-ом кадре;
 X_n – оцифрованное изображение в n-ом кадре;
 X_{n-1} – оцифрованное изображение в n-1-ом кадре;
 k – весовой коэффициент ($1/64 \leq k \leq 1$);
 C – коэффициент, равный половине разрядной сетки АЦП.

Сложение двух смежных кадров (в качестве слагаемого используется предыдущий кадр изображения). Результирующее изображение вычисляется по формуле

$$Y_n = kX_n + (1 - k)X_{n-1},$$

где Y_n – результирующее изображение в n-ом кадре;
 X_n – оцифрованное изображение в n-ом кадре;
 X_{n-1} – оцифрованное изображение в n-1-ом кадре;
 k – весовой коэффициент ($1/64 \leq k \leq 1$);

Конструкция цифровой камеры должна выдерживать вибрационные механические нагрузки при выводе на орбиту спутника, а элементы устройства обеспечить надёжное длительное функционирование в условиях околоземного космического пространства. На рис.б показан прототип такой камеры с видеопроцессором, памятью для хранения видеoinформации, видеовыходом, интерфейсом и блоком питания.



Рис.б. Прототип ЦФК

ЛИТЕРАТУРА

Бондаренко А.В., Докучаев И.В. Использование мультимедийного видеопроцессора RT-850 для визуализации и обработки ангиографических изображений в реальном времени // Труды 1-го Евразийского конгресса, V национальной конференции по медицинской физике и инженерии. «Медицинская физика –2001» 18-22 июня 2001, г. Москва.

Бондаренко А.В., Докучаев И.В., Стешенко В.Б. Аппаратная реализация систем ввода, обработки, хранения и вывода изображений различных телевизионных форматов и стандартов // ЦОС. 2003. №1. С. 27.

Бондаренко А.В., Докучаев И. В., Князев М.Г. Телевизионная видеокамера с цифровой обработкой в реальном времени // Современная электроника. 2006. № 3. С. 50.

Бондаренко А.В., Докучаев И.В., Князев М.Г., Коноплянников Ю., Лазаренко Ю.М. Лазерная система автоматизации измерения габаритов сооружений на железных дорогах // ЦОС.2004. № 4.С. 36.

Бондаренко А.В., Докучаев И. В., Князев М.Г. Расчёт пороговых значений потока излучений и освещённости для ПЗС-матриц Kodak KAI-1003M, KAI-1020M и Philips FTF-3020M // CCTV focus.2006. № 4. С. 24.

Техническая документация и руководство пользователя на видеопроцессоры серии RT-8xxVP. М.:ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», 2009. (www.rastr.net).

Техническая документация на цифровые ПЗС-камеры и программное обеспечение. М.:ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», 2009. (www.rastr.net).

Техническая документация на программно-алгоритмическое обеспечение. М.:ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», 2009. (www.rastr.net)

Ritter G. X., Wilson J.N. Handbook of computer vision algorithms in Image Algebra / 2nd ed. Boca Raton, 2001.

DIGITAL CAMERA FOR ATMOSPHERIC LIGHTNING DISCHARGE REGISTRATION

Bondarenko Andrey Viktorovich¹ (Director),

Dokuchaev Igor Vadimovich¹ (Chief specialist),

Kottsov Vladimir Alexandrovich² (Scientific researcher)

¹ RASTER TECHNOLOGY, Moscow

² Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

Digital camera being a component of scientific facility Groza for microsatellite Chibis-M is supposed to investigate physical processes in atmospheric lightning discharges. In the paper, camera's structure and operational algorithms is considered. Photographing is performed by ring observing cycles with the selection and storage of the frames comprising lightning discharges. The selection and storage is made by synchronizing from the devices of electromagnetic registration of the events. The camera will provide the fixation of the lightning events with the binding of the observing coordinates of the discharge to the coordinate system of micro satellite Chibis-M.

Keywords: atmospheric lightning discharges; digital camera, image dynamics analysis, ring recording cycle.

РАДИОЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗАТОР-РЕГИСТРАТОР МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

В.М.Готлиб – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук

В.Н.Каредин– ведущий конструктор

А.К.Тоньшев– ведущий конструктор

В.Ю.Гаретов– программист

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

Радиочастотный анализатор-регистратор (РЧА) предназначен для приема в радиодиапазоне, анализа и регистрации на борту спутника электрической активности высотных молниевых разрядов, которые характеризуются широкой полосой частот и микросекундной длительностью.

РЧА обладает высокой избирательностью, анализатор прибора разделяет полезные сигналы и узкополосные помехи. Регистрация широкополосных радиоимпульсов и пакетов радиоимпульсов осуществляется в цифровой форме на интервале 50 мс, скорость аналого-цифрового преобразования 96 МГц.

РЧА обеспечивает также регистрацию среднего уровня сигнала вдоль орбиты. По командам с Земли могут устанавливаться пороги срабатывания анализатора, уровни усиления, объем запоминаемой выборки.

Ключевые слова: радиоприем, широкополосность, мажоритарная схема, аналого-цифровое преобразование, пороги срабатывания, средний уровень.

НЗ (с. 7) Научной задачей прибора «Радиочастотный анализатор-регистратор» (РЧА) является прием, анализ и регистрация электрической активности высотных молниевых разрядов в радиодиапазоне, характеризующихся широкой полосой частот и микросекундной длительностью.

Исходные данные для разработки прибора:

- входной частотный диапазон 26...48 МГц;
- минимальная длительность регистрируемых сигналов < 1 мкс;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ~ 96 МГц;
- разрядность АЦП 8 разрядов;
- точность привязки к бортовому времени 1 мкс;
- различение полезного сигнала на фоне помех;
- длительность запоминаемой выборки от 1 до 50 мс;
- возможность регулировки ряда параметров по командам с Земли.

На рис.1 изображена условная схема приема радиоизлучения молнии на борту микроспутника; показаны прямой и отраженный лучи, попадающие на вход РЧА. Из схемы видно, что прием на борту отраженного сигнала позволяет оценить высоту разрядов по его запаздыванию относительно прямого сигнала. При этом предполагается, что отражен-

ный сигнал содержит значительную часть зеркальной компоненты, так как длина волны принимаемого излучения достаточно велика (6...12 м). Определению высоты может помочь информация от установленной на борту видеокамеры, позволяющая уточнить координаты вспышки.

Рассмотрим подробнее характеристики РЧА.

Чувствительность

Внутренние шумы прибора определяются типом используемого малошумящего усилителя (МШУ) и в данном случае составляют ~2 мкВ при нагрузке 75 Ом.

Внешние шумы – галактические и околоземные.

На рис.2 приведены данные по спектральной плотности мощности различных шумов в диапазоне до 200 МГц. Используя эти данные, определим, что приведенная к входу РЧА эффективная температура галактических шумов в рабочем диапазоне частот 26...48 МГц (полоса 22 МГц) составит $\sim (0,5 \dots 2,0) \cdot 10^4$ К или 10 мкВ.

Околоземные шумы определяются подспутниковым районом и могут быть на 1...2 порядка больше. Оценка уровня надежно регистрируемого сигнала – более 20 мкВ.

Избирательность

Полоса частот 26...48 МГц, выбранная для регистрации исследуемых процессов, находится в весьма интенсивном диапазоне радиоизлучений. Здесь и промышленные помехи, и мощные радиостанции на частотах ниже 25 МГц, и мощные телевизионные станции на частотах выше 48 МГц, сигналы от которых могут на несколько порядков превышать полезный сигнал.

Чтобы избежать срабатывания прибора из-за этих внеполосных помех, необходимо обеспечить хорошую избирательность прибора по соседнему каналу. Для этого был разработан специализированный твердотельный фильтр, обладающий высокой избирательностью. На рис.3 приведена частотная характеристика фильтра в интервале частот 10...60 МГц. Видно, что вне рабочей полосы частот избирательность фильтра лучше: -40 дБ.

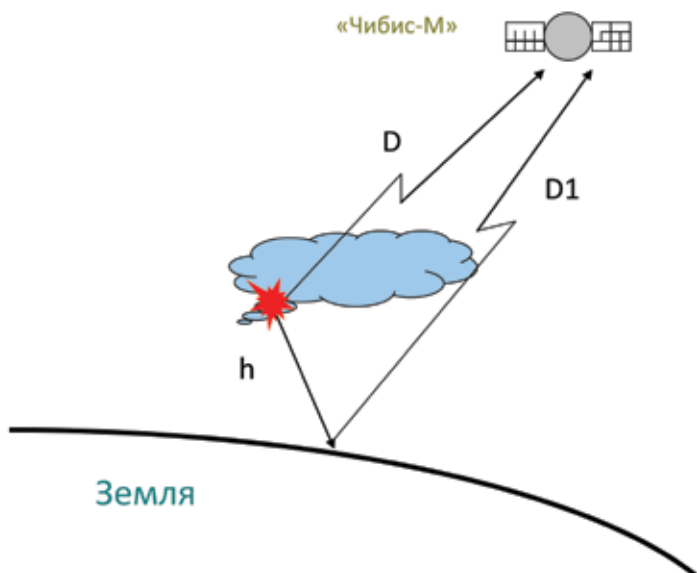


Рис.1. Радиоизлучение разряда молнии

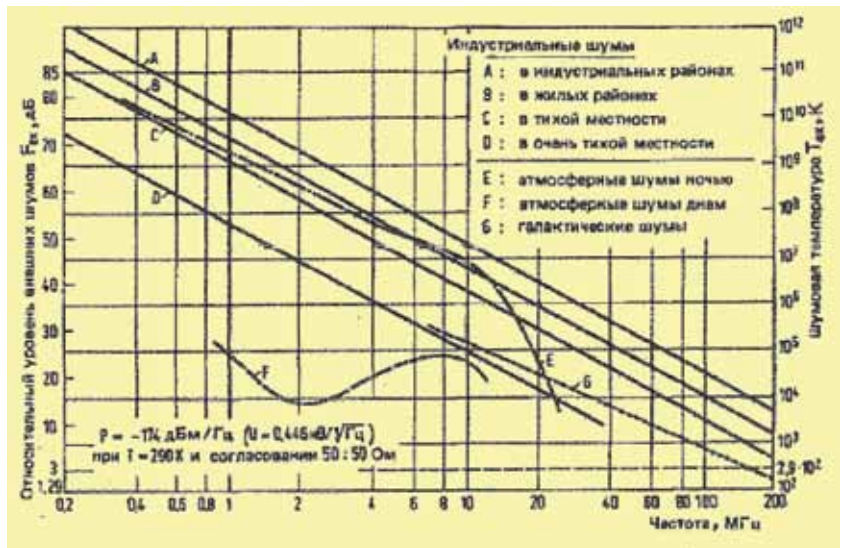


Рис. 2. Спектральная плотность мощности шумовых помех (в относительных единицах) как функция частоты в спектральном интервале 0,2...200 МГц. Коэффициент шума приемника в общем случае должен соответствовать (при каждом значении частоты) уровню шумов для условий, обозначенных параметром С; для космической связи критерием является кривая G. Мощность шумов максимальна на частотах порядка 10 кГц

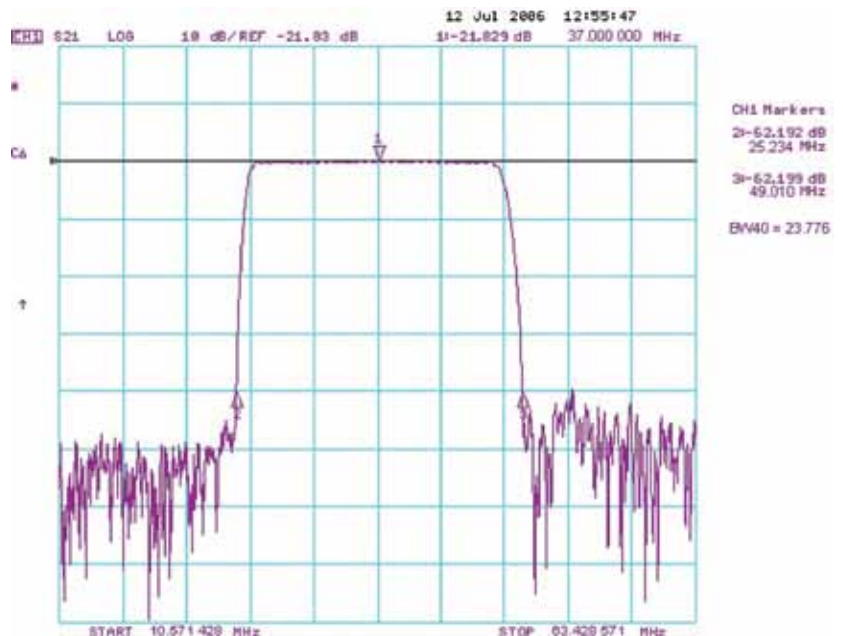


Рис. 3. Частотная характеристика фильтра в интервале частот 10...60 МГц

Блок-схема РЧА

На рис.4 приведена блок-схема РЧА, где можно выделить следующие основные узлы:

- широкополосный канал приема, усиления и фильтрации радиочастотного излучения (LNA, Filter);
- цифровой узел, включающий скоростной аналого-цифровой преобразователь (ADC), скоростную память (Memory) и контроллер управления прибором с интерфейсом обмена (Counter) с блоком накопления данных (БНД) от всех датчиков микроспутника;
- узел анализа, обеспечивающий принятие решения о необходимости фиксации события (F1...F5, RC, Treshold).

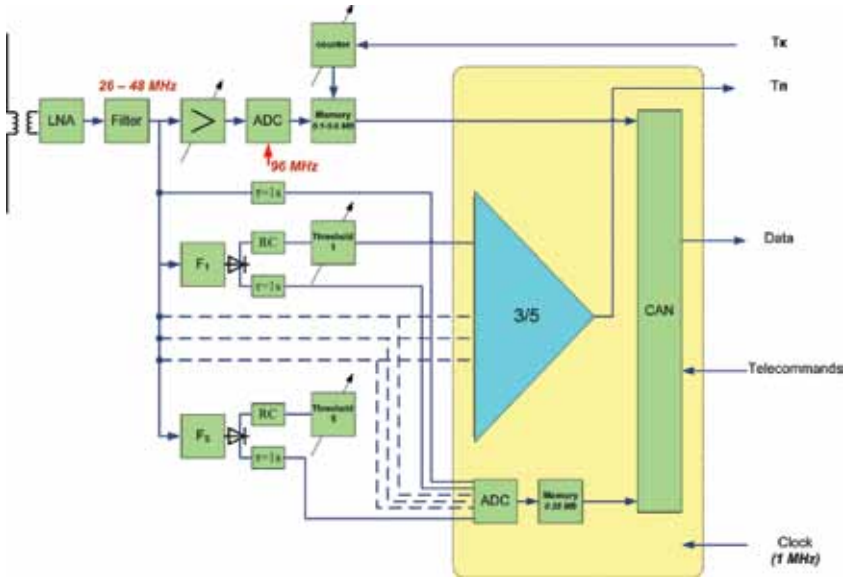


Рис.4. Блок-схема радиочастотного анализатора

Как было указано выше, диапазон частот аналоговой части прибора до АЦП составляет 26...48 МГц, динамический диапазон - 60 дБ.

Аналого-цифровой преобразователь цифрового узла работает на частоте 96 МГц, что соответствует двойной частоте среза основного фильтра. Объем памяти позволяет записывать процесс длительностью от 1 до 50 мс. После заполнения памяти прибор передает информацию в БНД-Ч.

БНД-Ч (с.90)

Задачей узла анализа является выделение широкополосного микросекундного излучения на фоне помех и выдача команды на регистрацию события.

Узел анализа содержит пять полосовых фильтров, частоты которых равномерно расположены в основной полосе прибора 26...48 МГц. Выходные сигналы этих фильтров после детектирования и фильтрации с постоянной времени ~10 мкс поступают на пороговые устройства, фиксирующие превышение сигнала над порогом. Если такое превышение произошло одновременно в трех и более фильтрах из пяти, фиксируется наличие события, которое записывается в память. Таким образом предполагается исключить влияние узкополосных помех земного происхождения. Уровни порогов могут изменяться по командам с Земли.

Кроме того, в приборе предусмотрено определение среднего значения сигнала (шума) в процессе полета, как в основной (широкой) полосе, так и в пяти парциальных фильтрах. Постоянная времени осреднения ~1 с. Эти данные также оцифровываются 8-разрядным кодом и хранятся в памяти контроллера.

На рис.5 приведен внешний вид прибора.



Рис.5. Внешний вид прибора

Массо-габаритные характеристики РЧА:

- а н т е н н а — диполь из двух частей по 2 м;
- масса антенны 0,6 кг;
- п р и б о р — размеры 100 x 150 x 40 мм;
- масса — 0,9 кг.

Потребление — 3 Вт.

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

RADIOFREQUENCY ANALIZER- REGISTRATER FOR LIGHTING DISCHARGING FOR CHIBIS-M MICROSATELLITE

Gotlib Vladimir Mikhailovich (Leading scientist, Ph.D.),

Karedin Viktor Nikolaevich (Leading engineer),

Tonshev Alexander Konstantinovich (Leading engineer),

Garetov Vadim Yurievich (Programmist)

Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

This report is included the description of Radiofrequency analyzer-registrater for receiving of lightning discharging in high atmosphere on the board of Chibis-M microsatellite . Electricity activity has wide band and short pulses.

Digital registration provide for 96 MHz frequency and 50 ms interval of remember after discovering of event.

Keywords: radio receiving, wide band, ADC, controlling treshold.

МАГНИТНО-ВОЛНОВОЙ КОМПЛЕКС МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М» ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Д.И. Новиков — ведущий конструктор

С.И. Климов — заведующий лабораторией, доктор физ.-мат.наук

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва, Россия

В.Е. Корепанов — заместитель директора по научной работе, доктор технических наук

А.А. Марусенков — старший научный сотрудник, кандидат технических наук
Львовский центр Института космических исследований Национальной академии наук Украины и Национального космического агентства Украины (ЛЦ ИКД НАНУ-НКАУ), Львов, Украина

Ч.Ференц

Я. Лихтенбергер

Лаборатория космических исследований Будапештского Университета имени Лоранда Этвёша, Будапешт, Венгрия

Л. Боднар — БЛ Электроникс, Солимар, Венгрия

Основной задачей, решаемой магнитно-волновыми приборами в процессе полёта микроспутника «Чибис-М», является изучение электромагнитных параметров в диапазоне частот 0,1...40 кГц. При этом магнитно-волновой эксперимент на микроспутнике «Чибис-М» нацелен и на исследование взаимосвязи плазменно-волновых процессов в ионосфере, происходящих под влиянием солнечных-магнитосферных-ионосферных-атмосферных связей, и представляет большой интерес для изучения параметров космической погоды. Ожидается, что систематическое изучение этих связей позволит найти универсальные законы, регулирующие преобразование и диссипацию плазменно-волновой энергии в магнитосферно-ионосферной системе.

Ключевые слова: космическая погода, магнитно-волновой эксперимент, электромагнитные излучения, микроспутник.

ВВЕДЕНИЕ

НЗ (с. 7) Длинноволновые электромагнитные излучения для исследования плазменных процессов в космосе играют ту же роль, что и сейсмические волны для изучения структуры Земли. По сравнению с электромагнитными процессами в других средах, волны в плазме обладают рядом определенных характерных особенностей. Основное значение имеет эффект резонанса, возникающий из-за взаимодействия волн и частиц, преобразования волн, формирования резонаторов и волноводов. Благодаря эффекту резонанса волны ультранизких частот передают информацию о динамических явлениях в околоземном космическом пространстве и верхних слоях атмосферы. При этом они достигают достаточно больших амплитуд, чтобы иметь заметное влияние на потоки плазмы и эффективно ускорять электроны в магнитосфере. В последнее

время показано, что возмущением плазмы сопровождаются не только магнитные бури (рис. 1, табл.1, см. [1]), но и наземные геофизические явления, связанные с большим выбросом энергии, - взрывы, ураганы и грозы, землетрясения [2].

Таблица 1. Электромагнитные параметры космической погоды

Область геокосмоса	Источник энергии	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность, с	Относительное изменение энергии
Магнитосфера	Магнитное поле	10^{16}	10^{12}	10^4	10^{-2}
	Электрическое поле	$10^8 \dots 10^{10}$	$10^4 \dots 10^6$	$10^4 \dots 10^5$	$10^2 \dots 10^4$
Ионосфера	Тепловая энергия	10^{12}	10^8	10^4	± 1
	Электрическое поле	$10^5 \dots 10^7$	$10 \dots 10^3$	$10^4 \dots 10^5$	$10^2 \dots 10^4$
Термосфера	Тепловая энергия	$10^{15} \dots 10^{17}$	$10^{11} \dots 10^{13}$	$10^4 \dots 10^5$	$10^{-3} \dots 10^{-1}$

В настоящее время в ряде стран находятся в стадии реализации и планируются несколько космических экспериментов, направленных на изучение низкочастотной волновой активности в ионосфере. К ним можно отнести широко известный эксперимент на спутнике DEMETER (Франция, [3]), а также на спутниках «Компас-2» (Россия, [4]) и «Сич-1М» (Украина, эксперимент «Вариант», [5]). Продолжением этих исследований будет волновой эксперимент, планируемый на борту микроспутника «Чибис-М» (астрономическое окно для запуска — 2009 – 2011 гг.).

ВОЛНОВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА БОРТУ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

НЗ (с. 7) Основной научной задачей, решаемой комплексом научной аппаратуры спутника «Чибис-М» - КНА «Гроза» (рис. 2), — является изучение процесса развития ступенчатого лидера высотной молнии в сильных электрических полях [6, 7]. Подробное описание задач и параметров аппаратуры КНА «Гроза» представлено в статьях, входящих в настоящий сборник [8-14].

БНД-Ч (с. 90) Магнитно-волновой комплекс не входит в состав приборов, вырабатывающих метки по факту регистрации «события» — ступенчатого лидера, но его бортовой процессор — ПСА — может использовать вырабатываемый БНД-Ч строб в целях фиксации генерируемых при этом электромагнитных излучений в диапазоне $10^2 \dots 2 \cdot 10^4$ Гц (КНЧ-ОНЧ- диапазоны).

Известно, что генерируемые в основной фазе грозового разряда электромагнитные излучения, называемые свистами (вистлеры), регистрируются в ОНЧ-диапазоне и наблюдаются на спутниках (рис. 3) уже давно. Таким образом, ОНЧ-излучения генетически связаны с грозовыми разрядами, что и поясняет связь их исследований с основной задачей комплекса «Гроза».

Основной задачей, решаемой магнитно-волновыми приборами в процессе полёта микроспутника «Чибис-М», является изучение электромагнитных параметров в диапазоне частот $0,1 \dots 40$ кГц. При этом магнитно-волновой эксперимент на микроспутнике «Чибис-М» нацелен и на исследование взаимосвязи плазменно-волновых процессов в ионосфере, происходящих под влиянием солнечных - магнитосферных - ионосфер-

ных - атмосферных связей, и представляет большой интерес для изучения параметров космической погоды. Ожидается, что систематическое изучение этих связей позволит найти универсальные законы, регулирующие преобразование и диссипацию плазменно-волновой энергии в магнитосферно-ионосферной системе.

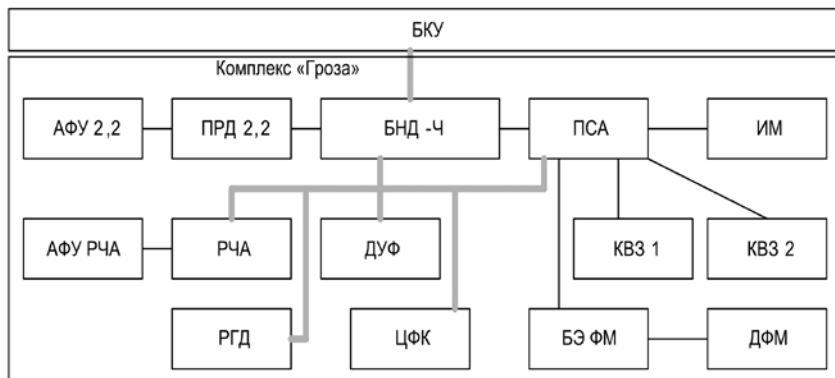


Рис. 2. Структурная схема КНА «Гроза»:

БКУ — бортовой комплекс управления; РГД — рентген-гамма-детектор [9]; ДУФ — ультрафиолетовый детектор [10]; РЧА — радиочастотный анализатор [11]; ЦФК — камера оптического диапазона [12]; БНД-Ч — блок накопления данных [13]; ПРД 2,2 — передатчик научной информации с антенной АФУ 2,2 [14]; магнитно-волновой комплекс: ПСА — процессор спектрального анализа, ИМ — индукционный магнитометр, КВЗ — комбинированный волновой зонд (2 шт.), БЭ ФМ — блок электроники и ДФМ — датчик феррозондового магнитометра

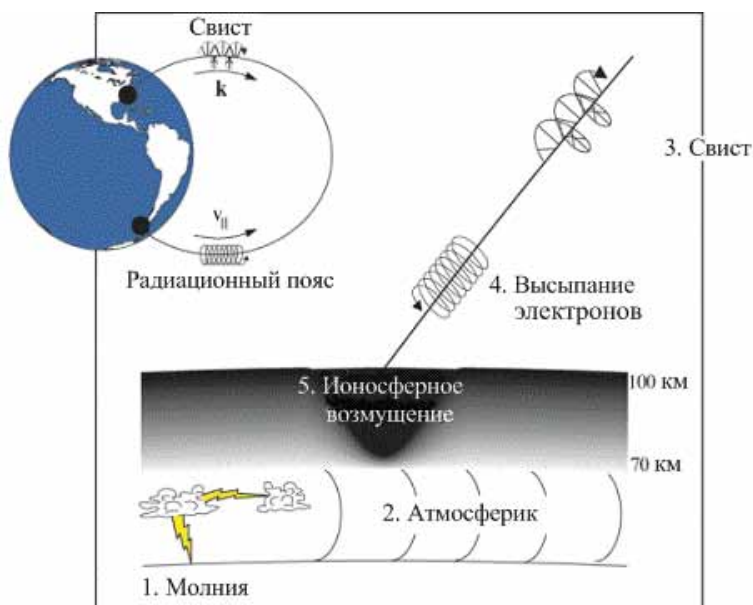


Рис. 3. Схема формирования и распространения свистов

На основе анализа обширного экспериментального материала, ожидаемого от микроспутника «Чибис-М» и геофизических наземных обсерваторий, теоретического анализа и компьютерного моделирования

будут разработаны алгоритмы волновой и гидромагнитной диагностики магнитосферно-ионосферной системы. Предполагается, что эти методы позволят проводить непрерывный количественный мониторинг характерных энергий частиц, концентрации и химического состава плазмы в магнитосфере для того, чтобы предсказывать различные виды геомагнитных возмущений, создаваемых влиянием различных факторов как «сверху» (космических), так и «снизу» (наземных) (табл. 1, 2).

Решение этой проблемы будет достигнуто с использованием скоординированной процедуры исследований:

- *in situ* колебаний электрического и магнитного полей непосредственно в ионосферном слое F в различных гелио- и геомагнитных условиях;
- геомагнитных и геофизических параметров в наземных обсерваториях с временным разрешением от 10^{-1} до 10^{-3} с;
- взаимосвязи электромагнитных явлений КНЧ-ОНЧ-диапазонов в различных областях околоземного космического пространства посредством одновременного сравнительного анализа волновых измерений, проводимых на различных космических аппаратах и наземных геофизических станциях.

Таблица 2. Энергетические характеристики потоков в ионосферу «снизу»

Переносчик	Интенсивность, Вт/м ²	Площадь, м ²	Мощность, Вт	Длительность, с	Примечание
Инфракрасное излучение поверхности Земли	$4 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{17}$	Непрерывно	Поглощается и излучается атмосферой
Атмосферная турбулентность	1...10	$5 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{14} \dots 5 \cdot 10^{15}$	Непрерывно	До высот ~100...120 км
Внутренние гравитац. волны (ВГВ)	0,1...1	$5 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{13} \dots 5 \cdot 10^{14}$	Непрерывно	Эффективно диссипируют в термосфере
Инфразвук от сильнейшего землетрясения	$10^2 \dots 10^3$	10^{11}	$10^{13} \dots 10^{14}$	10^2	Достигает F-области ионосферы
Электромагнитное излучение сильнейшего землетрясения	$10^{-3} \dots 10^{-2}$	10^{11}	$10^8 \dots 10^9$	$10^2 \dots 10^3$	Достигает ионосферы и магнитосферы
Акустическое излучение сильнейшей молнии	10^{-3}	10^9	10^6	~1	Диссипирует в атмосфере
Электромагнитное излучение сильнейшей молнии	10^{-3}	10^9	10^6	~1	Достигает ионосферы и магнитосферы

Важно отметить, что сигналы, регистрируемые ИМ, ДФМ и КВ31 и КВ32, могут быть переданы в виде «волновой формы», позволяющей вести прецизионную спектрально-временную обработку на Земле. Кроме того, они подвергаются бортовой обработке процессором спектрально-

го анализа — ПСА, — что позволяет существенно сжать объём телеметрической информации. Следует отметить, что реализованная конфигурация размещения датчиков позволяет провести векторные измерения магнитной компоненты КНЧ-ОНЧ-эмиссий (рис.4).

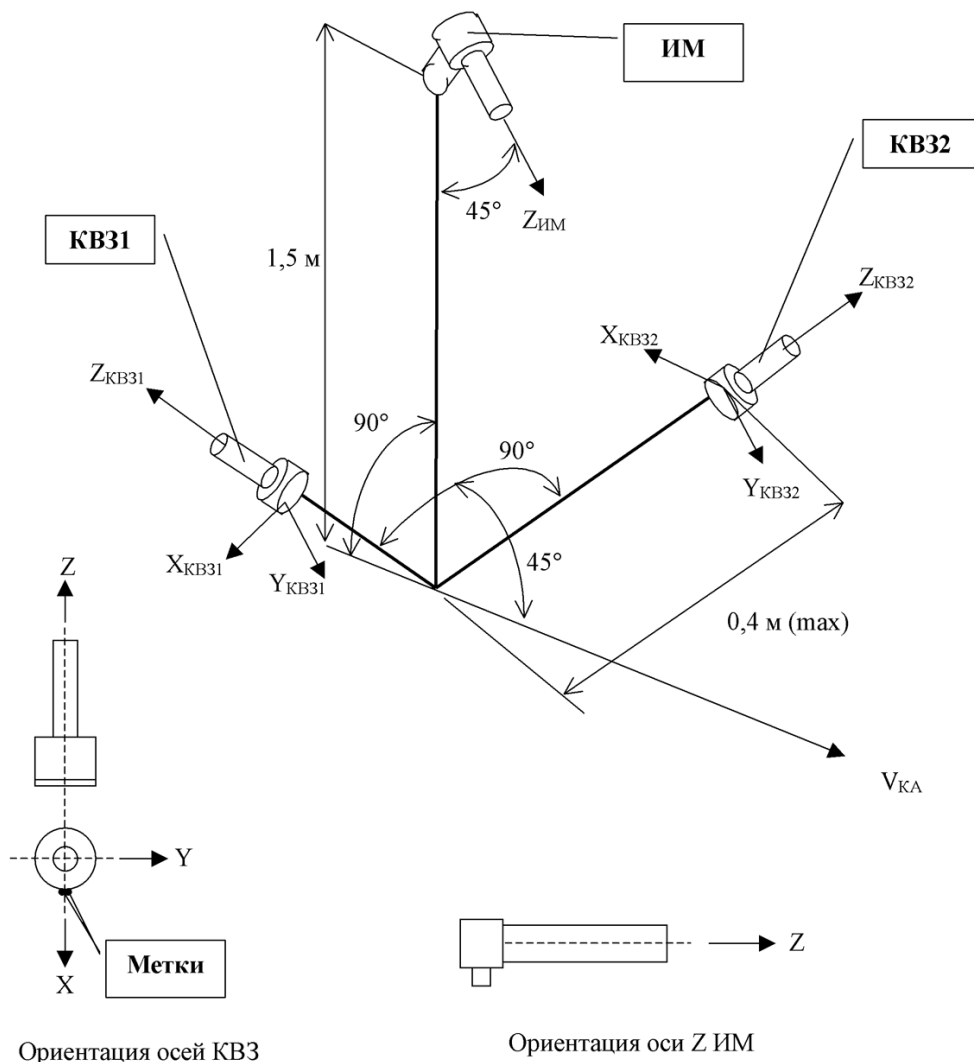


Рис. 4. Конфигурация размещения датчиков магнитно-волновых приборов

Основная функция ПСА — бортовая обработка сигналов (табл.3) и формирование спектров в диапазоне КНЧ-ОНЧ (0,1...40 кГц). Кроме того, ПСА должен обнаруживать события и всплески регистрируемых мод, как это реализовано на борту других спутников (таких как DEMETER или «Компас-2»).

Таблица 3. Входные сигналы ПСА

Датчик	Число компонент	Диапазон частот	Скорость оцифровки сигналов
Магнитное поле (B_x, B_z, B_y)	3	10 Гц ... 40 кГц	100 кГц
Электрическое ОНЧ-поле ($E=E_2-E_1$)	1	10 Гц... 40 кГц	100 кГц
Ток плазмы (I_1, I_2)	2	10 Гц ... 40 кГц	100 кГц
Электрическое КНЧ-поле ($E=E_2-E_1$)	1	DC -100 Гц	250 Гц
Постоянное магнитное поле (BM_x, BM_y, BM_z)	3	DC -100 Гц	250 Гц

РЕГИСТРАЦИЯ СОБЫТИЯ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПСА

Структурная схема ПСА, отражающая возможные конфигурации входов, внутреннюю обработку сигналов и связи с системами КНА и служебными системами, представлена на рис. 5.

Процессор ПСА предназначен для поиска электромагнитных сигналов, рассматриваемых как «событие», в потоке данных, получаемых датчиками и интересных с точки зрения научных задач КА «Чибис-М». Определение события осуществляется интегрированным программным модулем ПСА. В случае электромагнитного события оно регистрируется в одном из счетчиков в зависимости от типа события. Кроме этого, данные волновой формы, содержащие событие, сохраняются в памяти прибора с программируемой продолжительностью и затем посылаются в систему телеметрии. Программное обеспечение ПСА может работать в нескольких режимах.

Переключение режимов и возможное перепрограммирование ПСА осуществляется по телекомандам, перечень которых определяется комплексом поставленных задач.

Учитывая наклонение орбиты КА «Чибис-М», близкое к наклонению Международной космической станции (МКС), важным аспектом исследований является формирование скоординированных «двухточечных» наблюдений. Благоприятный фактор для этих наблюдений - близость параметров магнитно-волновых датчиков КНА «Чибис-М» и датчиков эксперимента «Обстановка, 1-й этап» на борту МКС [15].

БАЛ (с. 43)

Относительно низкое наклонение орбит МКС и КА «Чибис-М» создаёт хорошую основу для изучения мало исследованных процессов космической погоды на средних и экваториальных широтах [16], где также высока грозовая активность. Эти области часто подвержены стихийным бедствиям, отражения которых в ионосфере будут исследоваться на указанных двух спутниках как составная часть программы предсказания и диагностики космической погоды [17, 18]. Рассмотрим особенности работы волнового комплекса в принятых режимах работы.

Основной режим — «Режим А»

«Режим А» — основной для оценки входных сигналов. В данном режиме обрабатывается только один канал. Фактическая конфигурация канала (компонента вектора E или B , скорость оцифровки) зависит от команд, поступивших на ПСА.

Программное обеспечение ПСА проводит быстрое преобразование Фурье FFT и с помощью цифрового процессора сигналов вычисляет

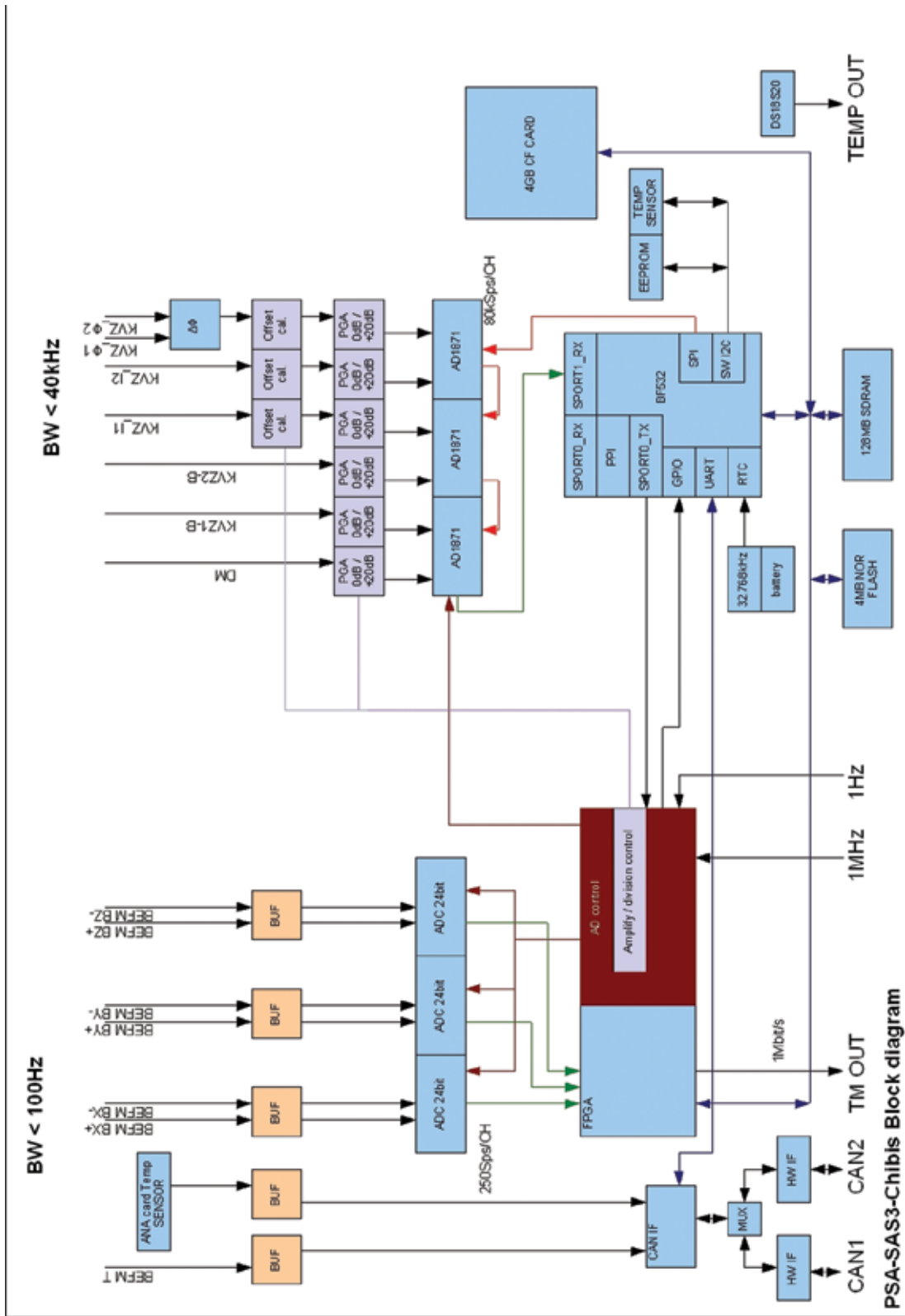


Рис. 5. Структурная схема процессора спектрального анализа - ПСА

спектр и средний шумовой фон выбранного канала. Детальный структурный анализ спектра FFT, проводимый программным обеспечением ПСА, позволяет найти местные пики энергии в спектре и оценить следующие их основные параметры:

- уровень пика (амплитуда);
- уровень пика относительно шумового фона;
- число пиков;
- ширина пиков.

Данные параметры накапливаются и исследуются в выбранной последовательности частотных диапазонов. В результате проведенной оценки сигналы разделяются по следующим категориям:

1. Узкий диапазон частот (T_NB) - у сигнала есть только 1...3 линии в спектре.
2. Широкий диапазон частот (T_WB) - полоса частот сигнала находится в диапазоне 1... 2 кГц.
3. Очень широкий диапазон частот (T_UWB) - сигнал регистрируется в большей части исследуемого спектра.
4. Многократные пики (T_MP) — в спектре появляются более одного узкого сигнала.

Считывая данные по последовательности диапазонов, можно добавить к вышеупомянутым категориям:

а) Время (продолжительность сигнала):

- 1 диапазон;
- 2...10 диапазонов;
- продолжительный.

б) Частота (как частота сигнала изменяется во времени):

- фиксированная;
- повышающаяся;
- понижающаяся.

В результате применения имеющегося программного обеспечения на выходе получаем ряд событий (сигналы, отличающиеся от фонового шума), попадающих в одну из четырех категорий в пределах исследуемого временного интервала.

Расширенный режим - «Режим Б»

В расширенном режиме программное ПСА-обеспечение может провести более подробную обработку данных. Сначала по зарегистрированным данным создается непрерывная спектрограмма (без промежутков). После этого каждому спектру выставляется параметрическая оценка, подобно процессу, описанному в основном способе, а в дальнейшем проводится анализ трехмерного спектра с построением зависимости изменений интенсивности и частоты сигнала от времени.

Такой анализ может классифицировать сигнал по следующим категориям событий:

- импульсный сигнал (короткий переходный процесс);
- монотонный сигнал;
- рассеянный сигнал;
- сигнал широкого диапазона.

Программируемый режим сбора данных

Используя этот режим работы, можно, в зависимости от поступивших телеметрических команд, получать данные с заданной степенью детализации волновой формы в заданной точке орбиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магнитно-волновой комплекс приборов, установленный на борту микроспутника «Чибис-М», направлен, прежде всего, на решение задачи мониторинга космической погоды с целью отработки методики предсказания и анализа состояния ее изменений, связанных как с воздействиями «сверху» - из космического пространства, - так и возмущениями, поступающими «снизу», - от мощных природных катастроф (землетрясения, цунами и пр.) и антропогенных воздействий (взрывы, старты мощных ракет и пр.). В связи с имеющейся возможностью проведения двухточечных синхронных наблюдений с борта микроспутника и МКС особая надежда возлагается на исследование способов разделения воздействий «снизу» и «сверху», что дало бы новый стимул к развитию методов прогнозирования природных катастроф с помощью искусственных спутников Земли.

Работы по созданию магнитно-волнового комплекса приборов ведутся в международной кооперации с венгерскими и украинскими участниками, что позволило получить уровень параметров этого комплекса, не уступающий лучшим мировым достижениям. Они выполняются при поддержке контракта 1-05/08 с НКАУ.

Дискуссия по методическим вопросам изучения атмосферных грозových разрядов проведена в рамках рабочей группы Международного института космических наук, Берн (ISSI Team: CARNES — Coupling of Atmosphere Regions with Near-Earth Space).

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмака В. П., Лысенко В. Н., Черногор Л. Ф. Результаты исследования волновых процессов в ионосфере при различных состояниях космической погоды // Космічна наука і технологія. 2005. Т. 11. № 1/2. С. 37 – 57.
2. Maekawa S., Horie T., Yamauchi T., Sawaya T., Ishikawa M., Hayakawa M., Sasaki H.. Seismo-ionospheric phenomena: A statistical study on the effect of earthquakes on the ionosphere, based on the subionospheric LF propagation data in Japan // Ann. Geophys. 2006. V. 24. P. 2219–2225.
3. Chum J., Santolik O., Parrot M. Analysis of subprotonospheric whistlers observed by DEMETER: A case study // J. Geophys. Res. 2009. V.114. P.A02307 (doi:10.1029/2008JA013585).
4. Kuznetsov V.D., Ruzhin Yu.Ja., Mikhailov Yu.M., Mikhailova G.A., Kapustina O.V., Dokukin V.S., Druzhin G.I., Smirnov S.E., Ference Sz., Lichtenberger Ja., Bodnar L., Korepanov V.E. VLF- experiment on the Compass-2 satellite and ground-based measurements of the seismoelectromagnetic effects on Kamchatka // Int. Seminar "Low-frequency wave processes in space plasma". Zvenigorod, November, 12-16, 2007. P. 6.1.
5. Корепанов В.Є., Крючков Є.І., Лізунов Г.В., Федоренко А.К., Дудкін Ф.Л. Експеримент "Варіант" на супутнику "Січ-1М" – перші результати. // КНІТ. 2007. Т. 13. № 4. С. 10-17.
6. Gurevich A.V., Zybin K.P., Medvedev Yu.V. Runaway breakdown in strong electric field as a source of terrestrial gamma flashes and gamma bursts in lightning leader steps // Phys. Lett. 2007. V.A 361. P. 119 – 125.

7. Klimov S.I., Rodin V.G., Zelenyi L.M., Angarov V.N. Development of the Method of the Creation of Micro-Satellite (~ 50 kg) Platforms for the Fundamental and Applied Research of the Earth and Near-Earth Outer Space / R. Sandau, H-P. Roeser, A. Valenzuela (Eds.) Small Satellites for Earth Observation. Springer Science+Busines Media B.V., 2008. P. 333-343.
8. Гуревич А.В., Зеленый Л.М., Климов С.И. Научные задачи миссии «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 7)
([http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews\[tt_news\]=184&cHash=c551dc2447](http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews[tt_news]=184&cHash=c551dc2447))
9. Гарипов Г.К., Свертилов С.И., Яшин И.В. Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором РГД. (Статья в настоящем сборнике, с. 49).
([http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews\[tt_news\]=196&cHash=3fea691e04](http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews[tt_news]=196&cHash=3fea691e04))
10. Гарипов Г.К., Свертилов С.И., Яшин И.В. Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором ДУФ. (Статья в настоящем сборнике, с. 58).
11. Готлиб В.М., Каредин В.Н., Тоньшев А.К., Гаретов В.Ю. Радиочастотный анализатор-регистратор молниевой активности для микроспутника «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 72).
([http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews\[tt_news\]=195&cHash=fdbb1b66de](http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews[tt_news]=195&cHash=fdbb1b66de)).
12. Бондаренко А.В., Докучаев И.В., Котцов В.А. Цифровая фотокамера для регистрации атмосферных грозových разрядов. (Статья в настоящем сборнике, с. 63).
([http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews\[tt_news\]=197&cHash=70f6c4474c](http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews[tt_news]=197&cHash=70f6c4474c))
13. Ангаров В. Н., Козлов В. М., Новиков А.А., Наганов С.А., Шестаков С.А. Блок накопления данных для КНА «Гроза». (Статья в настоящем сборнике, с. 90).
([http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews\[tt_news\]=192&cHash=25470ea6e3](http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews[tt_news]=192&cHash=25470ea6e3))
14. Готлиб В.М., Каредин В.Н., Скородумов В.Н., Бруква Н.Н. Радиоканал передачи научных данных микроспутника «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 101).
([http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews\[tt_news\]=193&cHash=707c535a39](http://www.chibis.cosmos.ru/index.php?id=685&tx_ttnews[tt_news]=193&cHash=707c535a39))
15. Klimov S.I., Korepanov V.E., Dobrovolskiy I.A., Lapshinova O.V., Sorokin I.V., Belyaev S., Stanev G.A., Georgieva K., Kirov B., Gough M.P., Alleyne H.S.C.K., Balikhin M., Szego K., Szalai S., Lichtenberger J., Ferencz Cs., Bodnar L., Juchiewicz J., Rothkaehl H., Stasiewicz K. The Plasma-Wave Complex of scientific instrumentation for wave and plasma parameters measurements in the frame of Russian Segment of ISS //Proceedings of the ESA Space Weather Workshop: Developing a European Space Weather Service Network. SWENET: Space Weather European Network), 3-5 November 2003, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands. (www.estec.esa.int/wmwww/wma/spweather/workshops/spw_w5/proceedings/OBSTAN-Poster.pdf)
16. Климов С.И. Исследования влияния космической погоды на состояние среднениротной и приэкваториальной ионосферы (Researches of influence of space weather on a condition of middle latitude and near-equator ionosphere.) // Tenth Jubilee International Scientific Conference "Contemporary problems of solar-terrestrial influences", 20-21 Novembers 2003, Sofia, Bulgaria, 2003. P.12-13.
17. Zelenyi L.M., Rodin V.G., Angarov V.N., Breus T.K., Dobriyan M.B.,

Klimov S.I., Korablev O.I., Korepanov V.E., Linkin V.M., Loupian E.A., Ivanov N.N., Lopatento L.E., Sedykh O.Yu. Micro-satellite Chibis – universal platform for development of methods of space monitoring of potentially dangerous and catastrophic phenomena // Selected Proceedings of the 5th International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin, April 4-8, 2005. / Ed. by Hans-Peter Roeser, Rainer Sandau, Arnaldo Valenzuela. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2005. P. 443-451.

18. Ангаров В.Н., Климов С.И., Новиков Д.И., Родин В.Г. Научно-методические аспекты создания микроспутниковых платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства // Космонавтика и ракетостроение. 2007. Т. 4(49). С. 150-157.

MAGNETIC-WAVE INSTRUMENTS OF MICROSATELLITE CHIBIS-M FOR THE STUDY OF THE ELECTROMAGNETIC PARAMETERS OF SPACE WEATHER

Novikov Denis Igorevich¹ (Leading engineer),

Klimov Stanislav Ivanovich¹ (Head of the laboratory, Ph.D.),

Korepanov Valeriy Evgenievich² (Deputy Director for sciences, Ph.D.),

Ferencz Csaba³,

Lichtenberger Janos³,

Marusenkov Andrey Anatoliovich² (Senior scientist, Ph.D.),

Bodnar Laszlo⁴

¹Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

²Lviv Centre of Institute of Space Research (LC ISR) of National Academy of Sciences of Ukraine and National Space Agency of Ukraine, Lviv, Ukraine

³Space Research Laboratory of Eötvös University, Budapest, Hungary

⁴BL Electronics, Solymár, Hungary

The basic task solved by magnetic-wave instruments in the process of the microsatellite Chibis-M flight is the study of the electromagnetic parameters in the range of frequencies 0,1 ... 40 kHz. In this case magnetic-wave experiment on the microsatellite Chibis-M is aimed also at the study of interrelation of the plasma-wave processes in the ionosphere proceeding under the effect of the solar-magnetospheric-ionospheric-atmospheric connections and it is very interesting for the study of space weather parameters. It is expected that the systematic study of these connections will make it possible to find the universal laws which regulate conversion and dissipation of plasma-wave energy in the magnetospheric-ionospheric system.

Keywords: Space weather, magnetic-wave experiment, electromagnetic radiations, microsatellite.

БЛОК НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ КНА “ГРОЗА”

В.Н.Ангаров – заместитель директора СКБКП ИКИ РАН

В.М.Козлов – начальник сектора

А.А.Новиков – конструктор

С.А.Наганов – конструктор

С.А.Шестаков – конструктор

Специальное конструкторское бюро космического приборостроения
Учреждения Российской академии наук Института космических
исследований РАН (СКБ КП ИКИ РАН), Таруса

Дается описание системы сбора комплекса научной аппаратуры микро-спутника «Чибис-М»: архитектуры процессорной части прибора, системы интерфейсов для организации сбора, выдачи команд и обеспечения работы приборов комплекса в совместной реакции на кратковременные события. Изложены требования к информационным и временным параметрам при одновременной регистрации разными приборами одного события.

Ключевые слова: система сбора информации, микроспутник, шина CAN, FPGA Actel, APA1000.

НЗ (с. 7) Работа научной аппаратуры микроспутника (МС) «Чибис-М» имеет некоторые особенности организации взаимодействия. Основная особенность - параллельная взаимосвязанная работа нескольких научных приборов по обнаружению и записи событий, которые имеют различные временные и информативные характеристики.

Состав комплекса научной аппаратуры (КНА) и взаимодействие с бортовым комплексом управления (БКУ) МС «Чибис-М» поясняется блок-схемой рис. 1.

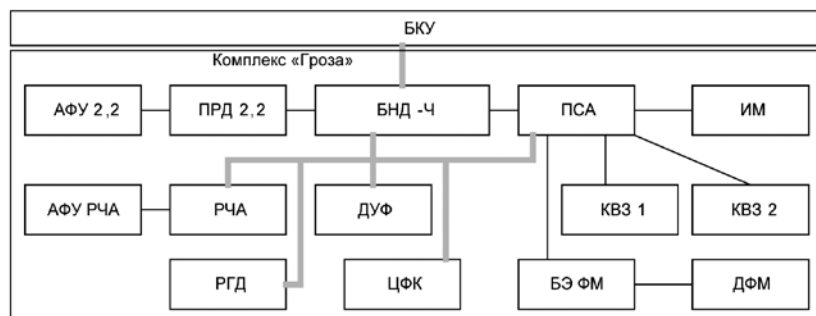


Рис. 1. Блок-схема КНА «Гроза» БКУ – бортовой комплекс управления; РГД - рентген-гамма-детектор; ДУФ - ультрафиолетовый детектор; РЧА - радиочастотный анализатор; ЦФК - камера оптического диапазона; БНД-Ч - блок накопления данных; ПРД 2,2 - передатчик научной информации с антенной АФУ 2,2; магнитно-волновой комплекс: ПСА - процессор спектрального анализа, ИМ - индукционный магнитометр, КВЗ - комбинированный волновой зонд (2 шт), БЭ ФМ - блок электроники и ДФМ - датчик феррозондового магнитометра

Часть приборов можно выделить в группу, выполняющую параллельную запись событий атмосферных разрядов: БНД-Ч, РГД, РЧА, ДУФ, ЦФК. Часть приборов пассивно участвуют в этих исследованиях, решая задачи «космической погоды», - это ПСА с комплексом различных датчиков. К КНА отнесен и передатчик диапазона 2,2 ГГц (ПРД 2,2), осуществляющий передачу на Землю научной телеметрической информации.

Внешние связи комплекса, питание и управление (командная радиопередача) — от БКУ.

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ БЛОКА НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ

На рис. 2 приведена функциональная схема БНД-Ч. Основным элементом схемы является программируемая матрица Actel APA1000. Она содержит IP-ядро процессора ASD186, полностью совместимого с Intel C186, и набор контроллеров. В таком решении удалось практически все функции реализовать в ПЛИС и окончательную отладку производить в уже смонтированной плате (способ *in system*).

Накопительная память состоит из двух блоков по 256 Мбайт.

2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ БНД-Ч, РГД, РЧА, ДУФ, ЦФК

С приборами РГД, РЧА, ДУФ, ЦФК блок БНД-Ч может работать в трех основных режимах (табл.1). Настройка режимов производится по командам с Земли до начала сеанса записи (эксперимента) по информационной магистрали CAN от БНД-Ч.

РЧА (с. 72)
ДУФ (с. 58)
РГД (с. 49)
ЦФК (с. 63)

Для исключения временных задержек при исполнении алгоритмов определения событий приборы (за исключением ЦФК) обмениваются с БНД-Ч, помимо информационно-командной магистрали, триггерами по специальным выделенным линиям. Происходит разделение функций: события обнаруживаются каким-либо прибором, совпадения этих событий определяются в БНД-Ч и там же вырабатываются команды в приборы на запоминание этих фрагментов в буферной памяти. Обмен производится импульсами-триггерами: от прибора — Тп, от БНД-Ч — Тк.

На рис. 3 приведен пример режима работы по совпадению событий двух приборов - РЧА и РГД. События при наземных испытаниях задаются от КИА КНА импульсами Тсргд и Тсрча.

Заданы следующие параметры событий:

- длительность фиксируемых событий для РЧА — 20 мс (возможен вариант до 50 мс), для РГД — 20 мс, для ДУФ — 50 мс; ЦФК и ДУФ работают в пассивном режиме — по запуску от совпадения стробов РЧА и РГД;
- триггеры приборов (Тпрча, Тпргд, Тпдуф) — импульсы, которые должны вырабатывать приборы при появлении событий;
- триггер комплекса (Тк) должен вырабатываться системой сбора (БНД-Ч) при определенных условиях, в зависимости от режима (см. табл. 1).

Строб должен вырабатываться БНД-Ч (внутри БНД-Ч) в ответ на Тп. В режимах «1а», «2а» табл.1 строб не вырабатывается. В режиме «2б» Тк должен вырабатываться сразу, как только стробы перекрываются. В режиме «1а», «2а» табл. 1 Тк вырабатывается сразу по приходе Тп (задержка около 1 мкс).

Каждый прибор должен записывать непрерывно все, что «видит», в свою кольцевую память (КП).

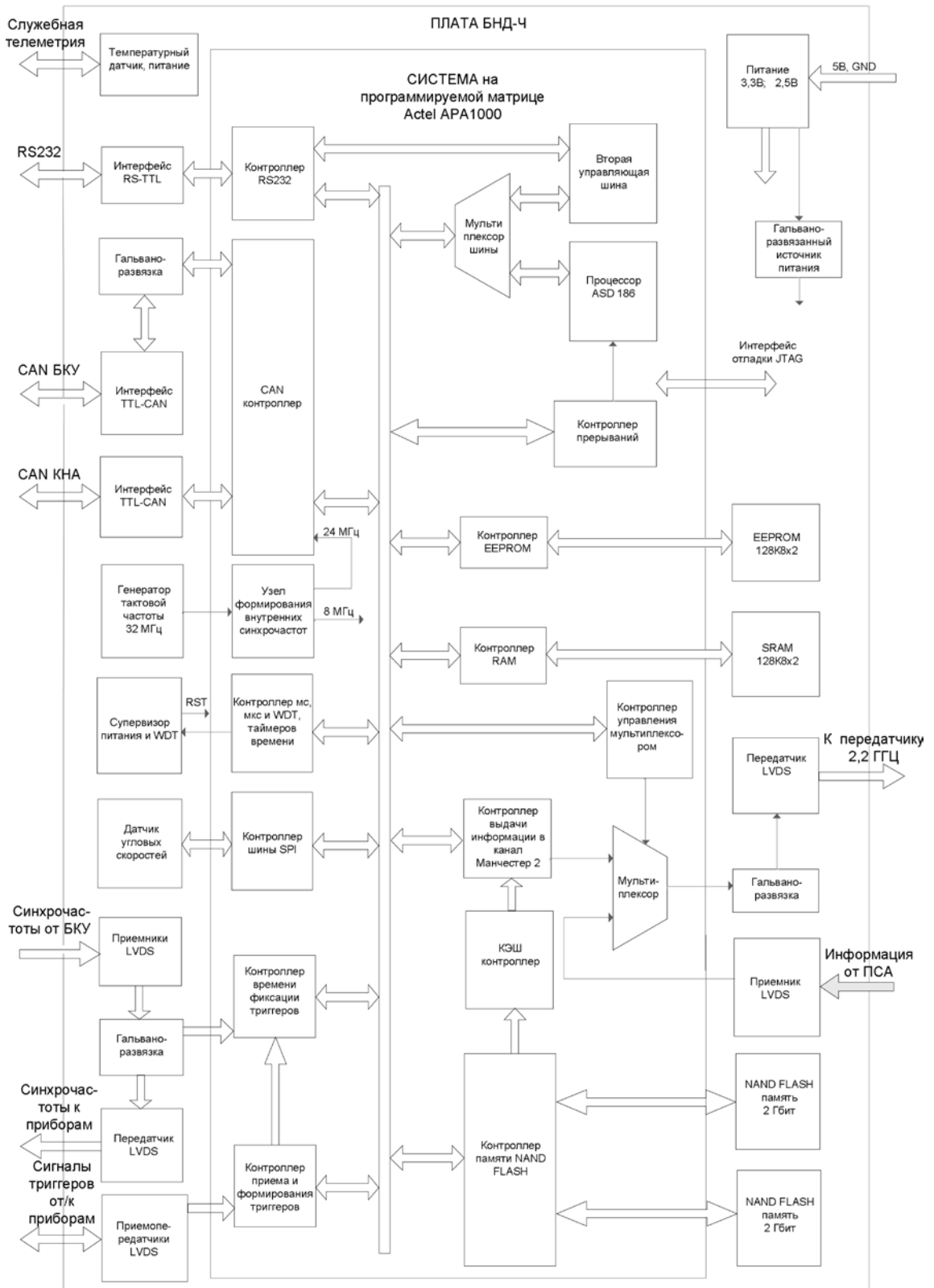


Рис. 2. Функциональная схема БНД-4

Таблица 1

№	Условия фиксации события	РЧА	РГД	ДУФ	ЦФК	Примечания
1) Автономная работа приборов. Срабатывание от собственного триггера						
1а)	Прибор самостоятельно (через БНД-Ч) фиксирует собственное событие	Да	Да	Да	Нет, используется триггер Тп любого другого назначенного прибора	Прибор выдает триггер Тп в БНД-Ч, а БНД-Ч возвращает его только данному прибору в виде триггера Тк
2) Фиксация события от других приборов						
2а)	Фиксация от триггера Тп ведущего прибора	Да, от РГД или ДУФ	Да, от РЧА или ДУФ	Да, от РЧА или РГД	Да, так же, как в «1а»	Один из приборов назначается ведущим
2б)	По совпадению двух или трех стробов (в БНД-Ч)	Да, совпадение РГД и ДУФ	Да, совпадение РЧА и ДУФ	Да, совпадение РЧА и РГД	Да, совпадение стробов (в БНД-Ч) в разной комбинации от трех приборов	Ведомый прибор - только ЦФК

Комплекс БНД-Ч должен выдавать Тк в следующих случаях:

- поступление Тп (возврат каждому прибору своего Тк, режимы «1а» и «2а»);
- временное совпадение двух выбранных стробов;
- временное совпадение трех стробов.

После фиксации события (по Тк) прибор должен сообщить БНД-Ч по информационно-командной шине о своей готовности к следующему циклу. Комплекс БНД-Ч выдает команду о начале следующего цикла.

Приборы комплекса должны сообщить БНД-Ч о заполнении буферов памяти.

Совпадения событий определяются при помощи стробов внутри БНД-Ч. Длительность стробов зависит от объема памяти, выделяемой на событие.

По рис.3 первым выдает Тп прибор РЧА, спустя некоторое время РГД тоже выдает Тп; если стробы перекрываются, то вырабатывается Тк. Поскольку задан режим «Тк в середине события», то запоминаются данные для всех приборов симметрично относительно Тк (кроме ЦФК).

Объем записанной информации по зафиксированному событию будет: для ЦФК — 1 Мбайт, для РГД — 0,2 Мбайт, для ДУФ — 5 кбайт, для РЧА — 2 Мбайт. Эти данные должны быть записаны в буферную память приборов. На это, возможно, потребуется время - приблизительно 1 с (параметр должен быть уточнен со всеми разработчиками).

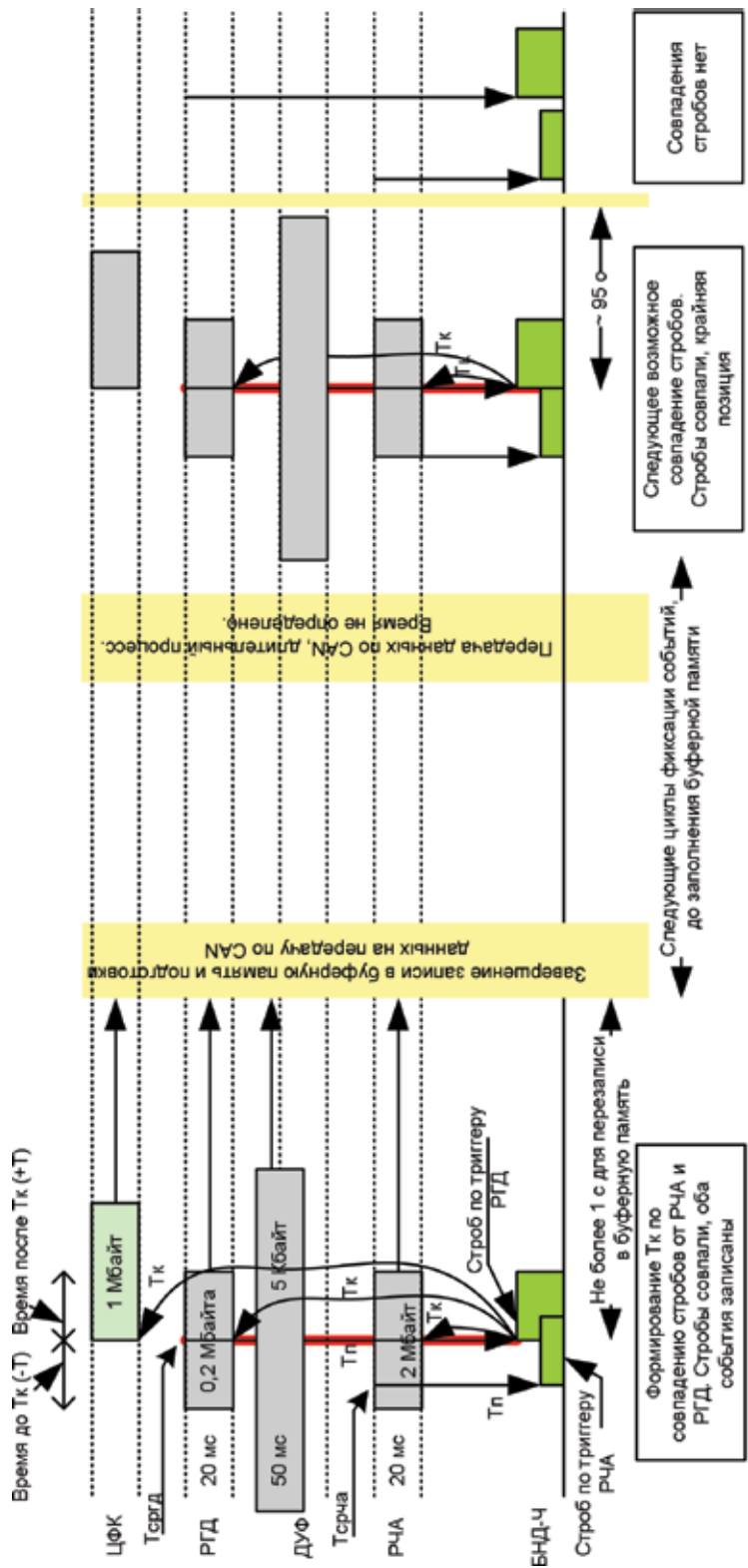


Рис. 3. Пример диаграммы работы КНА

3. ТРЕБОВАНИЯ К ВРЕМЕННЫМ ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ

Исходные положения:

- событие фиксируется T_k в середине установленной длины, т.е. 50% до и 50% после;
- при этом длина строба определенного прибора должна быть меньше времени T_+ на 5 мкс (чтобы триггер T_p , запустивший процесс, был внутри зафиксированных данных);
- следующий цикл измерений может начинаться только после освобождения буферной памяти приборов, готовности всех приборов;
- длительность сигналов T_p , T_k , $T_{сxxx}$ (xxx – название прибора) должна быть $1,0 \pm 0,2$ мкс;
- линии передачи сигналов T_p , T_k , $T_{сxxx}$ должны быть выполнены на основе LVDS.

Параметры временных ячеек и стробов должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	Варианты временных ячеек и стробов приборов, мс					Периодичность оцифровки/разрядность	Примечание
Прибор РЧА							
Варианты временной ячейки на одно событие, мс	1	4	8	10	20	10 нс/8 бит	2 Мбайт для 20 мс Возможен режим 50 мс
Длина строба РЧА, мс	0,495	1,995	3,995	4,995	9,995		
Прибор РГД							
Варианты временной ячейки на одно событие, мс	4	8	10	20	30	100 нс/ 8 бит	0,2 Мбайт для 20 мс
Длина строба РГД, мс	1,995	3,995	4,995	9,995	14,995		
Прибор ДУФ							
Варианты временной ячейки на одно событие, мс	10	20	40	50		10 мкс/ 8 бит	5 кбайт для 50 мс
Длина строба ДУФ, мс	4,995	9,995	19,995	24,995			

4. РАБОТА С ПСА

С ПСА БНД-Ч связан двумя способами: обычным для всех приборов КНА по магистрали CAN и специально выделенным каналом, который переключается в БНД-Ч на ПРД 2.2, при этом данные транзитом поступают

от ПСА к ПРД 2.2. В этом случае ПСА должен выполнять формирование транспортных кадров самостоятельно. БНД-Ч информацию, проходящую транзитом, запомнить не в состоянии.

Для участия приборов ПСА в рассмотренном выше процессе БНД-Ч используется магистраль CAN.

5. ОТЛАДКА РАБОТЫ КОМПЛЕКСА

Для отладки и испытаний комплекса разработана контрольно-испытательная аппаратура (КИА КНА) с замкнутым контуром проверок.

На рис. 4 приводится блок-схема рабочего места.

Замкнутая проверка должна проводиться по следующему алгоритму:

- КИА КНА задает БНД-Ч режимы работы комплекса по CAN (имитация функции БКУ);
- БНД-Ч задает режимы работы приборов КНА;
- КИА КНА задает выдачей Тсxxx требуемую диаграмму событий;
- имитаторы событий (П) воздействуют на приборы;
- приборы вырабатывают Тп и принимают информацию по Тк;
- приборы записывают информацию о событии в буферную память;
- по заполнении буферов производится перезапись данных в БНД-Ч;
- БНД-Ч передает по каналу «Манчестер-2» данные в виде транспортных кадров в КИА КНА;
- КИА КНА выдает в компьютер информацию для дешифровки и анализа (сравнения исходной информации с принятой БНД-Ч).

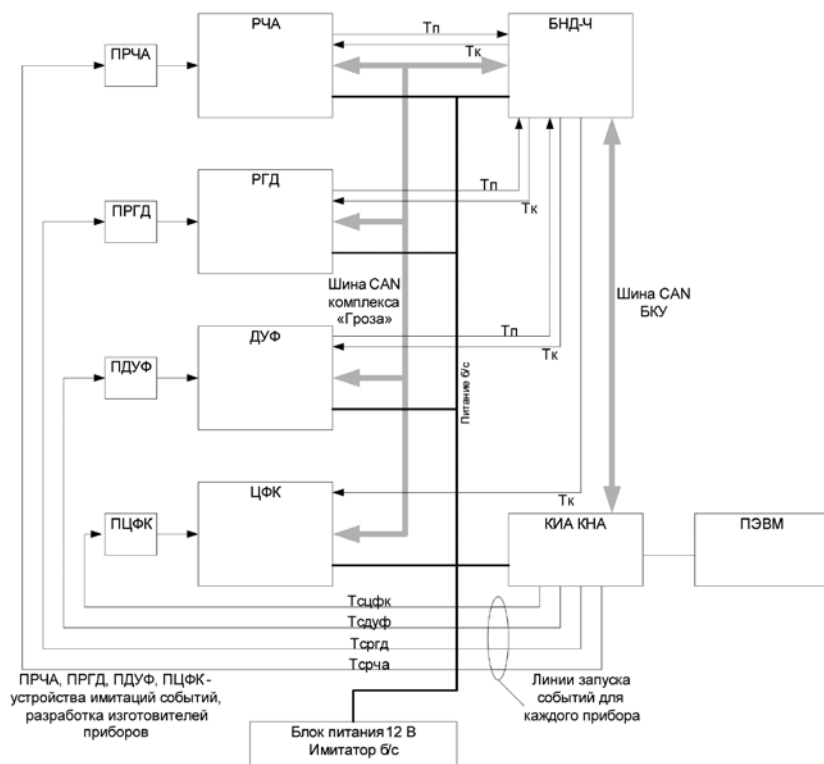


Рис. 4. Блок-схема рабочего места

ВЫВОДЫ

В настоящее время БНД-Ч находится в стадии отладки. Одновременно отлаживаются две платы периферийного модуля для интеграции в приборы РГД и ДУФ.

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

THE BLOCK OF GATHERING OF THE DATA FOR KNA «GROZA»

Angarov Vadim Nikolaevich (Deputy director),

Kozlov Viacheslav Maksimovich (Head of the laboratory),

Novikov Aleksey Aleksandrovich (Engineer),

Naganov Sergey Anatolievich (Engineer),

Shestakov Sergey Aleksandrovich (Engineer)

Special design office of space instrument making of IKI RAN, Tarusa

It is given description of data gathering system of complex scientific (KNA) equipment for microsatellite Chibis-M. It is done the detailed description of a processor part the device architecture, as well as interfaces system for gathering organization, delivery of commands and work protection of devices of a complex in their joint reaction to short-term events. It is done requirements to information and time parameters during the simultaneous registration by different devices of one event.

Keywords: data gathering system, the microsatellite, CAN, FPGA Actel, APA1000.

БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ

А.П.Папков — начальник лаборатории, Научно-исследовательская лаборатория авиакосмической техники (НИЛАКТ), Калуга

Рассматривается бортовой комплекс управления ДОКА-Б252ч для микроспутника (МС) «Чибис-М», предназначенный для командного управления бортовой аппаратурой (БА), телеметрического контроля БА, формирования бортового времени, информационного взаимодействия со служебной аппаратурой, организации, управления и контроля электропитания бортовых средств МС, навигационного обеспечения с помощью систем ГЛОНАСС-GPS.

Ключевые слова: бортовой комплекс управления, телеметрический контроль, информационное взаимодействие, контроль электропитания, навигационное обеспечение.

Бортовой комплекс управления (БКУ) ДОКА-Б252ч создан для микроспутника «Чибис-М». Комплекс обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- командное управление бортовой аппаратурой космического аппарата (КА);
- телеметрический контроль бортовой аппаратуры КА;
- формирование бортового времени;
- информационное взаимодействие с обслуживаемой аппаратурой КА;
- организация, управление и контроль электропитания бортовых средств КА;
- навигационное обеспечение эксплуатации КА с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

Аппаратура БКУ ДОКА-Б252ч может функционировать в условиях негерметичного корпуса микроспутника.

Комплект аппаратуры состоит из трех отдельных блоков:

- бортовой центральный контроллер;
- бортовые радиоканалы;
- навигационная аппаратура пользователя (НАП).

Комплект аппаратуры имеет следующие основные характеристики:

- габариты — 256 × 140(150) × 62 мм;
- масса — 2,7 кг;
- напряжение питания 12+3...2 В;
- энергопотребление 1,6...27 Вт.

Для связи с МС используются диапазоны частот, выделенные международными соглашениями для проведения экспериментальных и радиолобительских радиосвязей, 145 и 435 МГц.

Радиолинии связи организованы в двух диапазонах частот:

- Земля — борт МС - 145 МГц;
- борт МС — Земля - 435 МГц

Диапазоны 145 и 435 МГц имеют компромиссное сочетание уровней шумов и затухания, позволяющих строить служебные линии радиосвязи с МС, обеспечивающие достаточно уверенный обмен радиосигналами при ненаправленном излучении с борта МС, что, в свою очередь, обеспечивает взаимодействие с неориентированными МС или с МС, имеющими нарушения в штатной ориентации.

Доставка информации как с борта МС на Землю, так и с Земли на борт МС:

- обеспечивает максимальные функциональные и адаптивные возможности МС, особенно в условиях длительного функционирования; эффект достигается за счет соблюдения условий для командного управления бортовой аппаратурой;
- позволяет проводить перепланировку работы бортовых систем по результатам анализа информации об их состоянии и результативности;
- обеспечивает условия для обмена через космический аппарат информацией между наземными пунктами, как в реальном времени, так и с переносом во времени и пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

Ангаров В.Н., Васильев С.И., Григорьев Ю.И., Громов С.К., Климов С.И., Папков А.П., Тамкович Г.М. Проект «Колибри-2000» – начало реализации программы научно-образовательных микроспутников // Полёт. 2002. №11.С. 35-40.

Ангаров В.Н.,Высоцкий В.В., Добриян М.Б., Калюжный А.В., Козлов В.М., Григорьев Ю.И., Громов С.К., Климов С.И.,Родин В.Г., Папков А.П., Тамкович Г.М., Васильев С.И., Казанский Ю.А., Грачев Е.А., Григорян О.Р., Радченко В.В.,Курилов В.А. «Колибри-2000» - первый в Программе научно-образовательных микроспутников // III Международная конференция-выставка «Малые спутники.Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке».27-31 мая 2002г., г.Королев, Московской обл., 2002, Книга 2.2002.С.279-286.

Ангаров В.Н., Добриян М.Б., Зеленый Л.М., Назиров Р.Р., Родин В.Г., Марков А.В., Брюханов Н.А., Климов С.И., Корепанов В.Е., Линкин В.М., Лупян Е.А., Кораблев О.И., Готлиб В.М., Эйсмонт Н.А., Лякишев В.Г., Калюжный А.В., Козлов В.М., Летуновский В.В., Папков А.П., Иванов Н. Н., Седых О. Ю., Лизунов А. А., Реш Г.Ф. Проект микроспутника «Чибис» в составе международной космической станции для мониторинга катастрофических явлений //Вопросы миниатюризации в современном космическом приборостроении, Сборник докладов выездного семинара / Под ред.Р.Р.Назирова, Россия,г.Таруса,2-4 июня 2004.М.:ИКИ РАН.2005.с.14-36.

Klimov S.I., Tamkovich G.M., Angarov V.N., Grigoriev Yu.I., Grigoryan O.R., Dobriyan M.B., Nozdrachev M.N., Papkov A.P., Pharnakeev I.V., Radchenko V.V., Vasiliev S.I., Zelenyi L.M. Aerospace education program realization by means of the micro-satellite. Small Satellite for Earth Observation // 4th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA), Berlin, April 7-11, 2003. / Ed. H.P.Roser, R.Sandau, A.Valenzuela. P. 387-390.

THE ONBOARD COMPLEX OF CONTROL

Papkov Alexander Pavlovich (The Head of the Laboratory)

The research laboratory of avia-space techniques, Kaluga

Is examined the onboard complex of control DOCA -B252ch for the micro-satellite (MS) Chibis- M, intended for the command control of onboard equipment (BA), telemetric monitoring of the BA, forming of onboard time, information interaction with the service equipment, organization, control and monitoring of the electric power supply of onboard devices of the MS, navigation guarantee with the aid of the systems GLONASS -GPS.

Keywords: the onboard complex of control, telemetric control, information interaction, the control of electric power supply, navigation guarantee.

РАДИОКАНАЛ ПЕРЕДАЧИ НАУЧНЫХ ДАННЫХ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

В.М.Готлиб – ведущий научный сотрудник, кандидат техн. наук

В.Н.Каредин – ведущий конструктор

В.Н.Скородумов – главный специалист

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

Н.Н.Бруква – начальник отдела, кандидат технических наук

ОКБ Московского энергетического института, Москва

Микроспутник «Чибис–М» разрабатывается с целью изучения с околоземной орбиты активности молниевых разрядов в радио-, гамма- и ультрафиолетовом, а также видимом диапазонах.

Объем научных данных на одно регистрируемое событие, количество регистрируемых событий за виток, средняя продолжительность сеанса связи на низкой орбите определяют требуемую пропускную способность канала связи в 1 Мбит/с. Для обеспечения этих требований на борту космического аппарата (КА) устанавливается радиопередатчик и антенна суммарной массой менее 0,5 кг — ПРД 2,2.

На Земле могут использоваться стандартные станции S-диапазона. Мы предполагаем использовать антенну СМ-175, расположенную в г.Таруса (Россия), доработав ее для работы в S- диапазоне. Измерения показали, что при этом ее характеристики соответствуют однозеркальной антенне диаметром 5 м. При мощности передатчика 2 Вт запас по энергетике для скорости 1 Мбит/с составит около 8 дБ.

Ключевые слова: радиоканал, передатчик, антенна, диаграмма направленности, шумы Солнца, эффективность антенны, энергетика радиоканала.

Микроспутник «Чибис–М» предназначен для изучения с околоземной орбиты активности молниевых разрядов по их излучению в радио-, гамма- и ультрафиолетовом, а также видимом диапазонах.

НЗ (с. 7)

Объем научных данных на одно регистрируемое событие от радиочастотного, гамма-, ультрафиолетового датчика и фотокамеры по оценкам составляет порядка 10 Мбайт.

За один виток количество регистрируемых событий может составлять 1 – 3, что даст порядка 300 Мбит информации. При средней продолжительности сеанса связи на низкой орбите 5...10 мин потребная скорость передачи составит 1 Мбит/с.

Таким образом, исходные требования таковы - радиоканал передачи научных данных должен обеспечить доставку на Землю цифровой информации со скоростью до 1 Мбит/с на дальностях до 2500 км.

Для этого на борту космического аппарата (КА) устанавливаются радиопередатчик S-диапазона и антенна. Антенна передатчика имеет широкую

кую диаграмму направленности в сторону Земли, так как одна из осей КА ориентирована на Землю.

Основанием для выбора S-диапазона для рассматриваемого радиоканала является то, что он на первичной основе предназначен для передачи данных из космоса и позволяет обеспечить необходимую полосу частот и скорость передачи.

Остановимся более подробно на некоторых вопросах реализации радиоканала.

НАЗЕМНАЯ СТАНЦИЯ

НС (с. 107) Для приема информации на Земле предполагается использовать дорабатываемую антенную систему СМ-175, принадлежащую ИКИ РАН и установленную в г. Таруса (рис.1).

Антенна СМ-175 – это полноповоротная антенна с программным управлением, приемная поверхность которой состоит из четырех усеченных параболических зеркал диаметром 6 м. Антенна первоначально была разработана для диапазона 100...1000 МГц и предусматривала сложение сигналов с четырех зеркал.

Для работы в S-диапазоне (2,1...2,3 ГГц) такая схема сложения не эффективна, так как трудно выполнить качественное сложение сигналов, велики потери сигнала в высокочастотных кабелях и недостаточна точность привода антенны.

Поэтому было проработано следующее решение:

- электрически выделить одно из зеркал;
- разработать, изготовить и установить в фокусе зеркала облучатель S-диапазона;
- разработать и изготовить малошумящий усилитель-конвертор S-диапазона;
- провести измерения диаграммы направленности и эффективности антенны в такой конфигурации.

Эффективность антенны совместно с приемным устройством определяется отношением S_3/T_3 — эффективной площади антенны к эффективной шумовой температуре антенны с учетом усилителя.

Измерения эффективности проводились путем сравнения с радиошумами, излучаемыми Солнцем, которые непостоянны, но их уровень весьма велик, что важно для нашего случая.

Для периода спокойного Солнца (измерения проводились в 2008 г.) интенсивность медленно меняющегося излучения Солнца для длины волны 13 см составляет $N_s = (5...6) \cdot 10^{(-21)}$ Вт/м²Гц. Шумовой сигнал от Солнца $P_s = S_3 \cdot N_s$. Собственный шум антенны с усилителем $P_n = T_3 \cdot 1,38 \cdot 10^{(-23)}$ Вт/м²Гц.

При измерениях было получено $P_s/P_n = 12$ дБ.

С учетом этого эффективность $S_3/T_3 = 0,045 \pm 0,005$.



Рис.1. Антенна CM-175

На рис. 2 и 3 приведены диаграммы направленности, снятые при прохождении луча по точечному источнику и по диску Солнца.

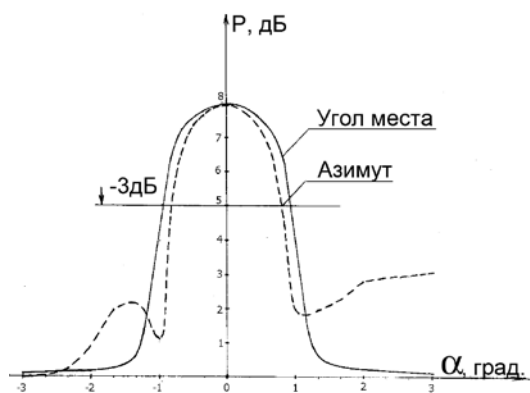


Рис.2. Диаграмма направленности антенны по точечному источнику (α – угол отклонения от центральной оси антенны)

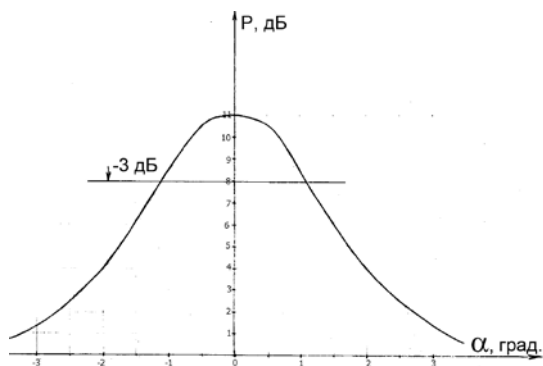


Рис.3. Диаграмма направленности антенны по Солнцу

Приемный тракт наземной станции, кроме антенны и установленных на ней облучателя и маломощного усилителя (МШУ) (LNA) с конвертером (Converter), включает также стандартный спутниковый модем (Satellite modem), компьютер для промежуточного хранения информации (Preliminary processing) с последующей передачей ее в систему обработки (Server) через интернет-соединение с центральным узлом (Internet connection to Main Node) в составе наземной станции имеются также средства программного управления антенной (Antenna pointing Controller) и контроля работы станции (Pointing Software) (рис.4).

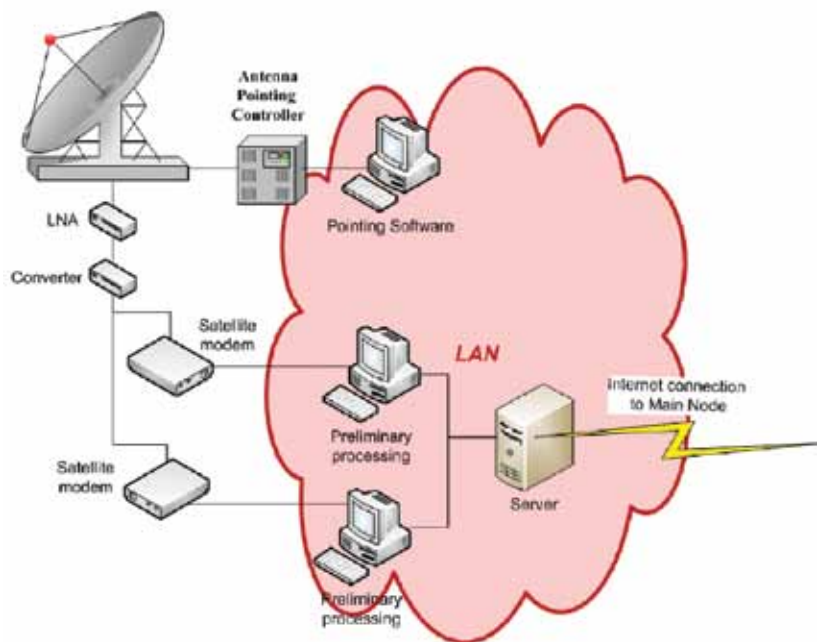


Рис.4. Приемный тракт наземной станции

Спутниковый модем состоит из модулятора и демодулятора, что позволяет осуществить шлейфовый режим проверки работы станции. Модем, например, типа PSM-505S фирмы Datum Systems, обладает достаточными характеристиками для рассматриваемого канала. Он обеспечивает демодуляцию сигналов DPSK, QPSK и др., декодирование как безыбыточного, так и сверточного кода с декодированием по Витерби, скорости передачи до 5 Мбит/с, задание скорости передачи с шагом 1 бит/с, захват сигнала несущей частоты в полосе до 1,25 МГц.

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА

Бортовая аппаратура канала передачи научных данных микроспутника «Чибис-М», как упоминалось выше, состоит из передатчика S-диапазона и антенны.

Основные параметры этой аппаратуры

Выходная мощность.....	более 2 Вт
Несущая частота.....	2270 ± 0,1 МГц
Модуляция.....	КИМ ФМ2, КИМ ФМ4
Скорость передачи.....	64...1024 кбит/с (ФМ2)

Питание.....	12 ±2 В, ~8 Вт
Интерфейс по модуляции.....	LVDS
Состав передатчика.....	Два комплекта (холодный резерв)
Антенна.....	Типа path
Поляризация.....	Круговая, правая
Усиление.....	1,5 дБ в секторе ± 75°
Коэффициент стоячей волны.....	1,5
Масса передатчика / антенны	0,3 / 0,2 кг

На рис. 5 приведен внешний вид бортового комплекта передатчик/антенна для микроспутника «Чибис-М»



Рис.5. Бортовой комплект передатчик/антенна для микроспутника «Чибис-М»

Исходные данные и результаты расчета энергетике радиоканала для микроспутника «Чибис-М» приведены ниже:

Мощность передатчика $P_{прд}$	2 Вт
Эффективность системы антенна/приемник $S/T_{ант}$	0,045
Модуляция.....	КИМ ФМ 2
Коэффициент усиления бортовой антенны $G_{борт}$	1,5 дБ
Дальность.....	$2,5 \cdot 10^6$ м
Потери в атмосфере.....	0,5 дБ
Аппаратные потери	1 дБ
Прочие неучтенные потери.....	1,5 дБ
Порог.....	$E_{бит} / N_o = 9,5$ дБ при $P_{ощ} < 10^{-6}$

Расчет с учетом приведенных исходных данных показывает, что запас энергопотенциала радиолинии составляет > 6 дБ.

ВЫВОДЫ

Приведенные материалы показывают реализуемость создания для микроспутника «Чибис-М» радиоканала передачи научных данных со скоростью 1 Мбит/с. При этом объем передаваемой информации за сеанс составит около 300 Мбит, а за сутки - до 1Гбит.

Имеются значительные технические возможности повышения информативности канала, связанные как с энергетическими запасами радиоканала, так и с введением помехоустойчивого кодирования. Однако здесь препятствием может оказаться ограничение полосы частот, используемой в S-диапазоне.

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

RADIOLINK FOR TRANSMITTING SCIENCE DATA OF CHIBIS-M MICROSATELLITE

Gotlib Vladimir Mikhailovich¹ (Leading scientist, Ph.D.),

Karedin Viktor Nikolaevich¹ (Leading engineer),

Skorodumov Vladislav Nikolaevich¹ (Leading specialist),

Brukva Nikolay Nikolaevich² (Director of the Department)

¹Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

²OKB of Moscow energetic institute, Moscow

In this report we discuss radiolink for transmitting science data of Chibis-M microsatellite. Information data rate which will be used is 1 Mbit/s. Radiotransmitter works in S-band, its output power -2W, mass -0.5 kg including reserve and antenna.

Ground station will be using low band antenna CM -175 (Tarus, Russia) which will be altered for S-band receiving.

The tests with Sun noise shows this antenna will have effectively as 5-m diameter antenna.

Keywords: radiolink, transmitter, antenna, Sun noise, linkbudget.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ОБЛИК НАЗЕМНОГО СЕГМЕНТА ПРОЕКТА «ЧИБИС-М»

В.Н.Назаров — начальник лаборатории

Р.Р.Назирова — заместитель директора института, доктор технических наук

В.М.Готлиб — ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

Основным мотивом разработки концептуального облика наземного сегмента проекта «Чибис-М» является снижение затрат на создание и эксплуатацию бортовых и наземных средств проекта на фоне развитых функциональных возможностей и при надлежащем уровне надежности. Достижение этих целей обеспечивается применением унифицированных средств, а также современных подходов, получивших широкое распространение в различных областях промышленной деятельности и исследовательских работах.

При этом наземный сегмент проекта обеспечивает не только информационную поддержку операций по управлению комплексом бортовой аппаратуры и космическим аппаратом в целом, но и формирует единую информационную инфраструктуру проекта, позволяя упростить процедуры информационного обмена на всех этапах жизненного цикла миссии. Задачи интеграции вычислительных компонент сегмента решаются на основе сервис-ориентированной архитектуры (COA-SOA), современных подходов, например, таких как ESB (Enterprise Service Bus). Организация коллективной работы участников проекта обеспечивается использованием таких технологий как Web 2.0 и Social Networks. Специфические для космических исследований вопросы информационного взаимодействия решаются с применением международных форматов CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems).

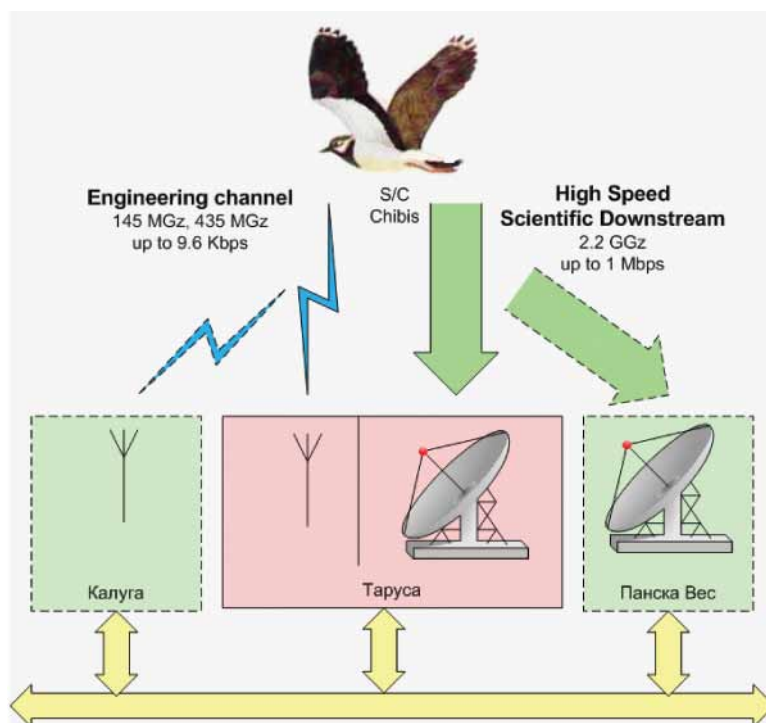
В настоящей работе рассматриваются функциональный и структурный состав наземного сегмента проекта «Чибис-М», принципы его функционирования, а также приводятся предварительные оценки необходимых средств на его создание и эксплуатацию.

Ключевые слова: информационные системы, наземный сегмент, социальные сети, COA, сервисная шина

ВВЕДЕНИЕ

Как и в большинстве космических проектов, наземный сегмент проекта «Чибис-М» [1] обеспечивает информационную поддержку задач управления полетом, а также распределения, обработки и архивации научной телеметрической информации. Однако, в отличие от традиционных систем, рассматриваемый комплекс имеет ряд свойств инновационного характера, позволяющих расширить функциональные характеристики наземного сегмента при снижении затрат на реализацию проекта в целом.

Укрупненная модель миссии «Чибис-М» (с информационной точки зрения) представлена на рис.1.



Ррис. 1. Информационная модель проекта «Чибис-М»

Как видно на рис.1, космический аппарат «Чибис-М» (S/C Chibis) использует два радиоканала:

- ДОКА (с. 98) • один из них (Engineering channel) [2], предназначенный для обмена технологической информацией, осуществляет передачу как телеметрической информации служебной аппаратуры спутника, так и телекомандной информации на борт космического аппарата[2]; этот радиоканал поддерживает скорость передачи данных до 9,6 кбод на частотах 145 и 435 МГц, используемых для радиолобительских спутников;
- ПРД 2,2 (с. 101) • другой радиоканал (High Speed Scientific Downstream) [3], предназначенный для передачи научной телеметрической информации, обеспечивает информационный обмен на частоте 2,2 ГГц со скоростью до 1 Мбод.

Основной наземный пункт, обеспечивающий работу с обоими радиоканалами, планируется расположить в г. Таруса (Россия); резервный пункт для работы со служебной радиосистемой - в г. Калуга (Россия). Пункт приема, расположенный около г. Панска Вес (Чехия), предполагается использовать в качестве резервного для приема научного телеметрического потока. Также часть научной информации планируется регистрировать на средствах Университета им. Л. Этвёша (Венгрия). Следует отметить, что передача научной телеметрической информации будет осуществляться на основе международных стандартов CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems — Консультативный комитет космических информационных систем) [4], это обеспечивает возможность ее приема на различных пунктах космической связи как у нас в стране, так и за рубежом без существенной переделки имеющихся средств. При этом, в случае значительного географического удаления приемных пунктов, суммарный объем передаваемой научной информации может быть увеличен в несколько раз.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

С целью снижения затрат использование дорогостоящих уникальных программно-аппаратных средств в наземном сегменте проекта сведено к минимуму.

Так, все узлы наземного сегмента (рис. 2), такие как пункты радиосвязи с космическим аппаратом 1 (Telemetry Stations), центры обработки 2 (Processing Centers), центры управления 3 (Operation Centers) и рабочие места ведущих по научным приборам 4 (Investigators) и бортовым служебным системам объединены по общедоступной сети Интернет 5 без использования дорогостоящих специализированных каналов связи.

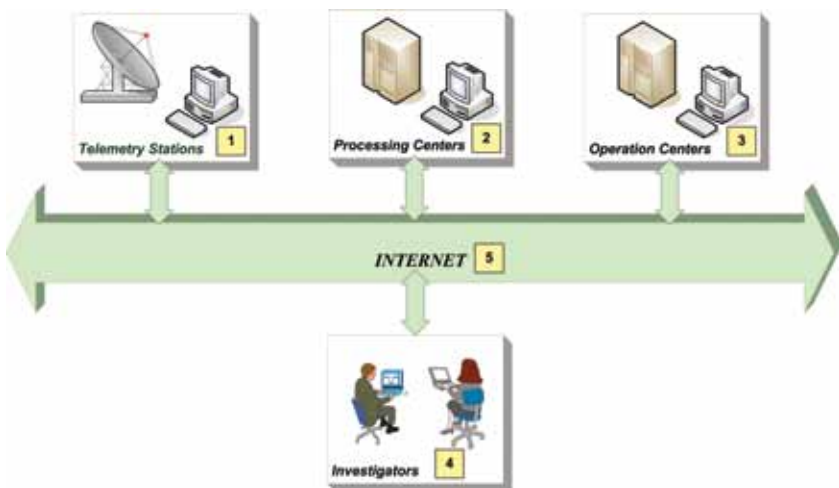


Рис. 2. Организация взаимодействия между узлами системы

Центральный узел системы располагается в ИКИ РАН (рис.3), где размещаются основные средства обработки и архивации информации. В дополнение к этим функциям центральный узел обеспечивает единую информационную среду проекта, с помощью которой реализуется унифицированный механизм доступа к ресурсам системы. Такой пользовательский интерфейс построен на основе Web-технологий в виде основного Web-портала проекта [5].

Web (с. 117)

Различные организации, участвующие в проекте, взаимодействуют между собой через центральный узел (см. рис.3). Следует отметить, что такая архитектура является расширяемой, так как включение в единое информационное поле новых участников не требует дополнительных затрат, поскольку для информационного обмена используются стандартные международные протоколы.

Для реализации управления миссией в рамках проекта создается организационная структура — Центр управления полетом проекта «Чибис-М», — состоящая из следующих групп (рис.4):

- *руководства группы управления*, в обязанности которой входит определение основной стратегии исследований и общий контроль за проведением работ;
- *научной группы*, определяющей режимы работы КНА «Гроза» и бортовых систем в целях оптимального решения поставленных научных задач [1];
- *группы баллистической поддержки*, обеспечивающей баллистический прогноз для планирования работ и оперативного управления,

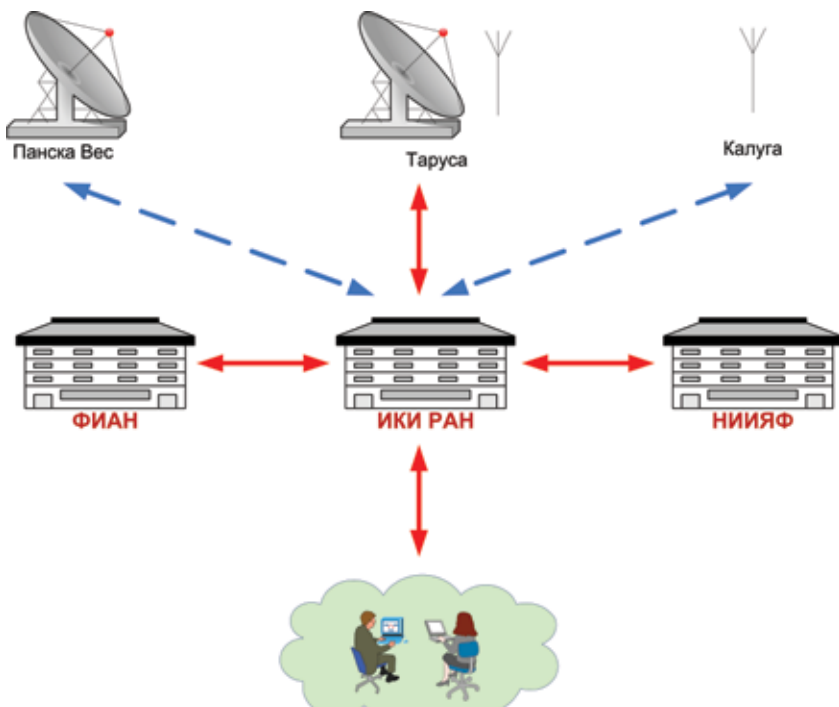


Рис. 3. Схема взаимодействия между организациями, участвующими в проекте: ИКИ РАН — Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН; ФИАН — Учреждение Российской академии наук Физический институт им.П.М.Лебедева РАН; НИИЯФ — Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ им. М.В. Ломоносова; Будапештский университет им. Л.Этвёша; телетриметрическая станция в обсерватории Панска-Вес

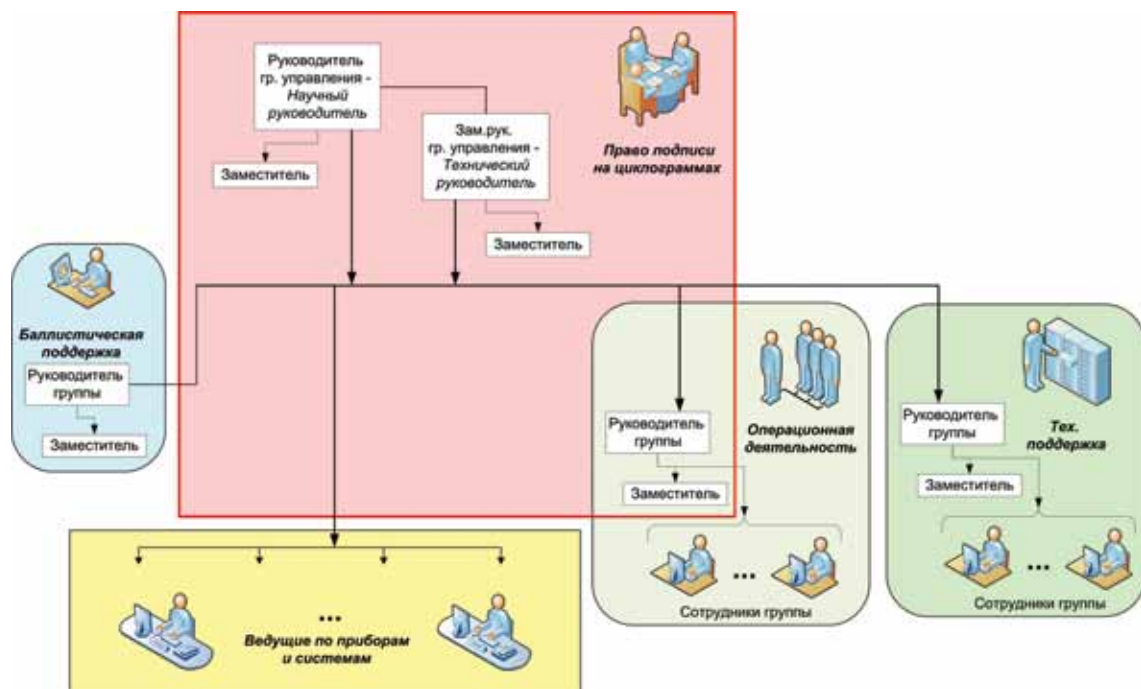


Рис. 4. Организационная структура управления проектом в полете

а также расчет необходимых параметров навигации и ориентации для интерпретации результатов измерений;

- *группы операционной деятельности*, осуществляющей все эксплуатационные процедуры по управлению миссией;
- *группы технической поддержки*, в задачи которой входит сопровождение программно-аппаратных средств системы;
- *группы ведущих по приборам и системам*; члены этой группы курируют работы по отдельным бортовым системам и комплексам.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ

Как указывалось выше, наземный сегмент проекта объединяет в единое информационное поле все ресурсы системы (рис.5), обеспечивающие решение следующих задач:

- обработки;
- управления;
- коммуникаций.

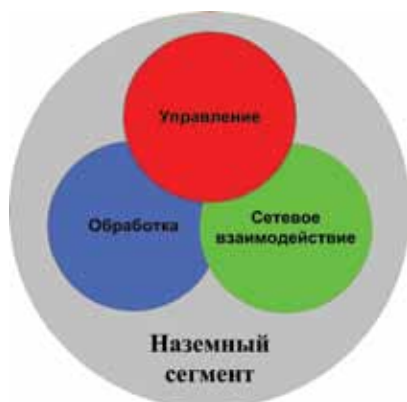


Рис. 5. Функциональная структура наземного сегмента

ИНТЕГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

Следует отметить, что задача интеграции является одной из ключевых в современных информационных системах. В космических информационных системах ее роль достигает 70% от общего объема [5,6]. Поэтому для объединения различных вычислительных ресурсов системы в единую среду используется один из современных подходов, на основе сервис-ориентированной архитектуры (SOA — Service Oriented Architecture), получившей широкое распространение в различных производственных и исследовательских областях, — так называемая Сервисная шина (ESB — Enterprise Service Bus) [7]*.

К основным отличительным особенностям этого подхода следует отнести: возможность интеллектуальной маршрутизации информационных потоков, конфигурирования (в отличие от перепрограммирования) сервисов, а также возможность поэтапного развертывания. Так, с целью оптимизации финансовых ресурсов, а также сокращения сроков создания системы в проекте используется технология интеграции, представленная на рис.6.

* Для удобства изложения термины ESB и наземная сервисная шина (Ground service Bus) будут использоваться в качестве синонимов.

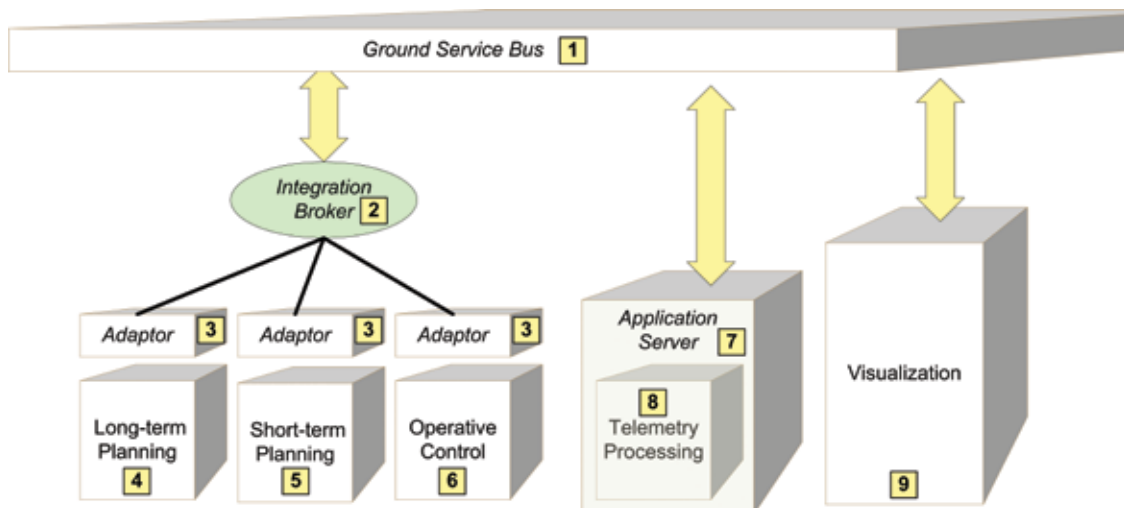


Рис. 6. Использование наземной сервисной шины

Как видно на рис.6, существующие комплексы планирования 4,5 (Long-term Planning, Short-term Planning) и оперативного управления 6 (Operative Control) объединяются с сервисной шиной 1 (Ground Service Bus) с помощью интеграционных брокеров 2 через соответствующие адапторы 3 (Adaptors). Программы обработки телеметрической информации 7 (Telemetry Processing) объединены сервером приложений 8 (Application Server), который, в свою очередь, подключается к сервисной шине 1. Задачи отображения информации 9 (Visualization) и интерфейса с пользователями реализуются в виде набора сервисов, осуществляющих информационный обмен непосредственно в среде сервисной шины.

Следует отметить, что, исходя из требований по надежности функционирования, в систему включены средства кэширования телеметрических потоков (рис.7). При таком подходе телеметрическая информация с пунктов приема (Telemetry Station) не только передается на основной сервер (Central Server) в центральный узел (Main node) по открытому каналу сети Интернет (Public Internet) в темпе поступления, но и сохраняется на региональном сервере (Regional Server) в краткосрочном архиве посредством локальной вычислительной сети (LAN). Аналогичным образом осуществляется передача такой информации как целеуказания, телекоманды и т.п. на пункты космической связи.

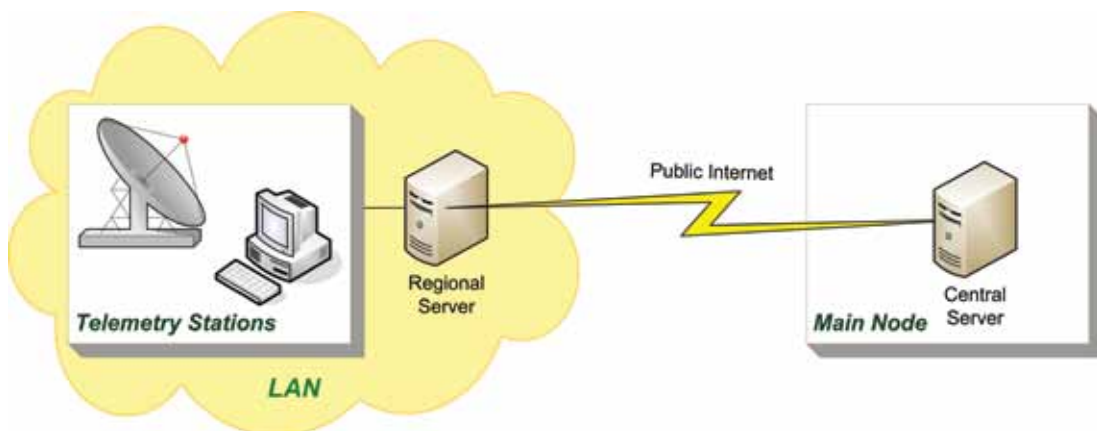


Рис. 7. Схема информационного обмена телеметрической информации

КОММУНИКАЦИОННАЯ СРЕДА

Под организацией коммуникаций в проекте «Чибис-М» понимается широкий круг задач, включающий не только вопросы доступа пользователей к результатам обработки телеметрической информации, но и информационный обмен между пользователями, электронный документооборот, проведение виртуальных совещаний и т.п.

Такой подход, при котором, начиная с самых ранних этапов реализации проекта, включая этапы проектирования и разработки, используется единая унифицированная коммуникационная среда, позволяет снизить риск возникновения ошибок, упростить работу пользователей. Однако следует отметить определенные проблемы, возникающие при его реализации. Так, бессистемное наращивание коммуникационных средств не повышает эффективность коммуникаций, но может, наоборот, привести к развитию коммуникационного хаоса (рис.8).



Рис. 8. Парадокс бессистемного развития коммуникационных средств

Web (с. 117)

Для того чтобы не допустить информационного хаоса, с одной стороны, и не ограничивать общения пользователей, - с другой, коммуникационная среда проекта строится в виде централизованного Web-портала с использованием современных подходов организации сообществ пользователей или социальных сетей (Social networks), получивших общее название Web 2.0 [5]

При этом, наряду с такими свойствами Web 2.0 как поддержка контента, генерируемого пользователем, настройка персональных пользовательских страниц и т.п., система коммуникаций позволяет решать задачи, специфичные для научного космического проекта.

Информационная среда, обеспечивающая взаимодействие пользователей как с системными ресурсами, так и между собой, строится на основе иерархической модели (рис.9).

Унифицированный доступ к ресурсам системы (Unified Access) осуществляют следующие функциональные модули:

- *поддержки сетевого взаимодействия* (Communication), обеспечивающие мультисервисную связь как между различными вычислительными средствами системы, так и ее пользователями;
- *передачи объявлений и новостей* (Announcement & Information), с помощью которых пользователи получают различные информационные сообщения, такие как: об обновлении информации (например, после проведения очередного сеанса связи), необходимости формирования предложений по уточнению научной программы и т.п., - средства этого уровня поддерживают передачу сообщений различными способами: по электронной почте, в виде RSS-каналов, в виде SMS на мобильный телефон пользователя и т.п.;
- *распределения данных* (Data Sharing), которые организуют доступ к результатам обработки научной телеметрической информации различных уровней, таких как технологическая обработка (Technological Processing), научная обработка (Science Processing) и средства архивации (Data Archive);
- *управления знаниями* (Knowledge Management System), обеспечивающие классификацию и формализованный поиск различных фактов, накопленных на всех этапах реализации миссии.

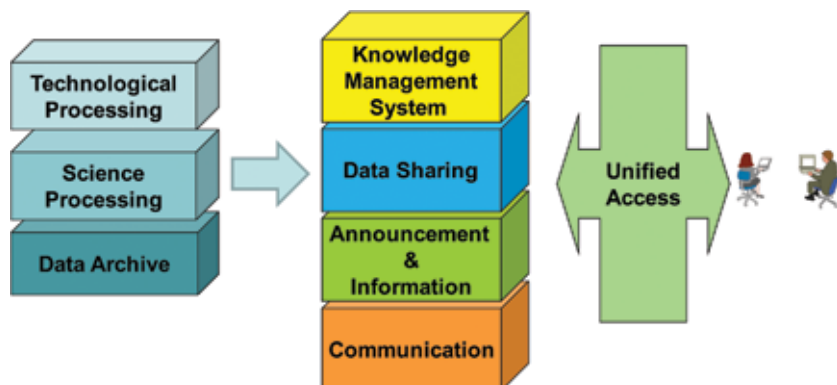


Рис. 9. Функциональная модель наземного сегмента

При создании наземных сегментов к ним, как правило, предъявляются следующие требования (рис.10):

- Наземный сегмент должен обеспечивать расширенные функциональные возможности при высоком уровне надежности.
- Разработка должна проводиться в кратчайшие сроки.
- Бюджет должен быть минимальным.

Для того чтобы наземный сегмент проекта «Чибис-М» удовлетворял этим требованиям, в основу его разработки положены современные подходы и методы, получившие подтверждение эффективности применения не только в области космических исследований, но и в других производственных и исследовательских направлениях.

Задача интеграции компонент системы решается на базе сервисной шины (ESB), вопросы коммуникаций пользователей — с использованием таких подходов как социальные сети и Web 2.0.

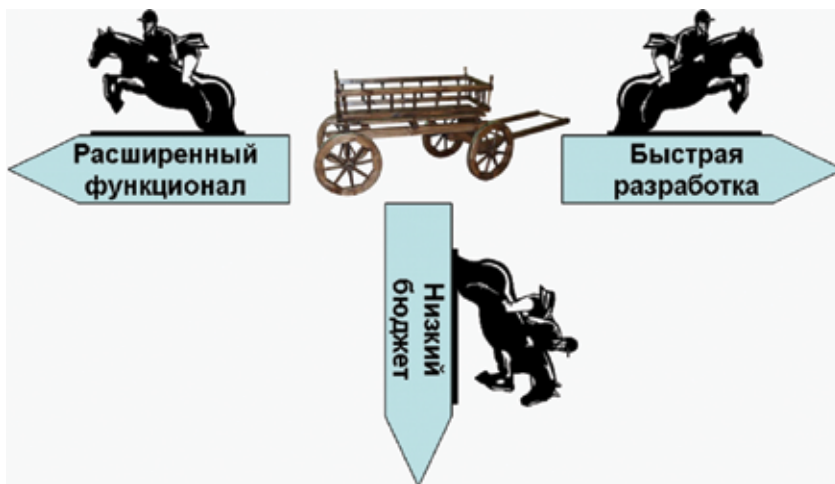


Рис.10. Основные требования к разработке наземного сегмента

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наземный сегмент проекта «Чибис-М», в отличие от традиционных систем, представляющих собой разнородный набор вычислительных и коммуникационных средств, является единой информационной инфраструктурой, обеспечивающей конвергированный набор сервисов.

Материал подготовлен при поддержке гранта РФФИ по целевым ориентированным фундаментальным исследованиям «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (09-05-13587-офиц_ц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич А.В., Зеленый Л.М., Климов С.И. Научные задачи миссии «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 7).
2. Папков А.П. Бортовой комплекс управления. (Статья в настоящем сборнике, с. 98).
3. Готлиб В.М. и др. Радиоканал передачи научных данных микроспутника «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 101).
4. Консультативный комитет по космическим информационным системам- CCSDS (<http://www.ccsds.org>).
5. Батанов О.В., Коротков Ф.В., Назиров Р.Р., Назаров В.Н. Web-портал проекта «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 117).
6. Nazirov R., Nazarov V., Eismont N. Some aspects of ground segment for prospective science space missions // Proceedings of the 7th International Symposium, «Reducing the Costs of Spacecraft Ground Systems and Operations (RCSGSO)» [CD-ROM], ESA, 11-15 June 2007, Moscow, Russian Federation.
7. Chappell D. Enterprise Service Bus. O'REILLY, 2004.
8. O'Reilly T. What is Web 2.0. Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. O'REILLY, 2005.

GROUND SEGMENT FOR MISSION CHIBIS-M. CONCEPT

Nazarov Vladimir Nikolaevich (Head of the Laboratory),

Nazirov Ravil Ravilievich (Deputy Director, Ph.D.),

Gotlib Vladimir Mikhailovich (Leading scientist, Ph.D.)

Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

As in most space missions Ground segment of the Chibis mission provides information support of such tasks as control of flight, processing, distributing and archiving of telemetry information. But in contrast to traditional systems the described complex has a few facilities which allow extending its functional characteristics against the background with reducing the mission cost in whole.

This new concept based on innovative approaches to modern information system design and construction and cost advantaged Open Source software and off-shelf equipment. The state of the art methodology, as SOA (Service Oriented Architecture) and its technical implementation - ESB (Enterprise Service Bus) allows to diverse basic functional facilities and certain implementation. Collaboration and interaction procedures built on Web 2.0 methods allows "virtualising" of such components as Tracking stations, Control centers, Data archives etc.

The article contains description of the functional and structural architecture of the system and general principles of its operations.

Keywords: information system, ground segment, Web2.0, SOA, ESB

WEB-ПОРТАЛ ПРОЕКТА «ЧИБИС-М»

О.В.Батанов — руководитель группы

Ф.В.Коротков — инженер-программист,

Р.Р.Назиров — заместитель директора ИКИ РАН

В.Н.Назаров — начальник лаборатории

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

В настоящее время необходимым условием успешного осуществления космических проектов является обеспечение полноценного доступа к информационным ресурсам миссии на основе Web-технологий. В отличие от традиционных решений, такой подход обладает рядом преимуществ, таких как кроссплатформенность, оперативность принятия решений и др., которые реализуются на фоне широких коммуникационных возможностей в рамках единого информационного поля.

В настоящей работе рассматриваются вопросы организации и принципов работы Web-портала проекта «Чибис-М», освещаются предоставляемые им возможности и предлагаются сценарии действий участников проекта в различные моменты реализации проекта.

Ключевые слова: Web-портал, коммуникации, космический проект, обмен информацией, форум, организация доступа, рассылка SMS, Web 2.0

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при разработке информационных систем различных проектов все больше внимания уделяется предоставлению доступа к данным и программному обеспечению через Web-интерфейс. При этом становится неважным, где в данный момент находится пользователь и какая операционная система установлена на его компьютере.

Доступ ко всей информации он получает через Web-браузер, а данные и программное обеспечение могут располагаться на определенном сервере (или даже на нескольких серверах) и быть доступны пользователю через единый интерфейс Web-портала. Такой подход, используемый в современных информационных космических системах [1-3], приобретает особую актуальность для таких проектов как «Чибис-М» (предназначенный для детального изучения физических механизмов электрических разрядов в атмосфере) [4], поскольку в его реализации принимают участие представители нескольких географически разнесенных организаций [5].

НС (с. 107)

Одной из важнейших частей для успешной реализации любого проекта, и в том числе проекта «Чибис-М», является оперативность в принятии решений, своевременное оповещение участников о тех или иных событиях. Для этого пользователям должны быть предоставлены широкие коммуникационные возможности, реализованные в едином информационном пространстве.

При подготовке и осуществлении космических проектов всегда имеются участники, выполняющие различные функции, — эксперимента-

торы, баллистики, группа управления и др. Очевидно, для каждого из этих типов пользователей наиболее важными будут свои данные и свое программное обеспечение. С точки зрения организации доступа к данным этих участников можно разделить на группы пользователей, причем один и тот же пользователь может принадлежать к различным группам. Более того, желательно каждой из этих групп пользователей предоставить собственный интерфейс, обеспечить наиболее удобный доступ к необходимой для работы информации.

Еще один важный момент — наполнение страниц портала информацией. В отличие от традиционных реализаций, когда все страницы портала являются статическими, предполагается вовлечь участников проекта в процесс наполнения портала содержимым [6]. Для этого им должны быть предоставлены средства для загрузки документов, статей, для их обсуждения и обновления.

При таком подходе и с учетом многообразия информации по космическим проектам портал должен обеспечивать удобные и эффективные средства поиска и выборки информации по различным критериям.

Таким образом, Web-портал проекта «Чибис-М» должен решать следующие задачи:

- Предоставление пользователям доступа к данным проекта
- Доступ к программному обеспечению обработки данных
- Средства коммуникации и обмена информацией
- Средства оперативного оповещения участников проекта
- Возможности поиска и выборки нужной информации
- Средства обмена документацией
- Специальные возможности для различных групп пользователей
- Разграничение доступа к информации
- Гибкая настройка вида страниц портала для различных типов пользователей и различных стадий проекта
- Возможности для пользователей самостоятельного наполнения портала информацией

Следует отметить, что исходя из требований организации наиболее удобной и комфортной работы пользователей все эти задачи должны быть решены на одном портале, в единой информационной среде.

РАЗДЕЛЫ ПОРТАЛА

Доступ к разделам портала организован в соответствии с их функциональным назначением и уровнем доступа пользователей. Есть разделы, содержащие общую информацию по проекту, статьи по предметной области, описание миссии. Такие разделы доступны любому пользователю, зашедшему на страницы портала. В то же время существуют разделы, относящиеся непосредственно к выполнению проекта, — они доступны только участникам проекта в соответствии с их ролью в проекте.

Общая схема организации разделов портала представлена на рис. 1.

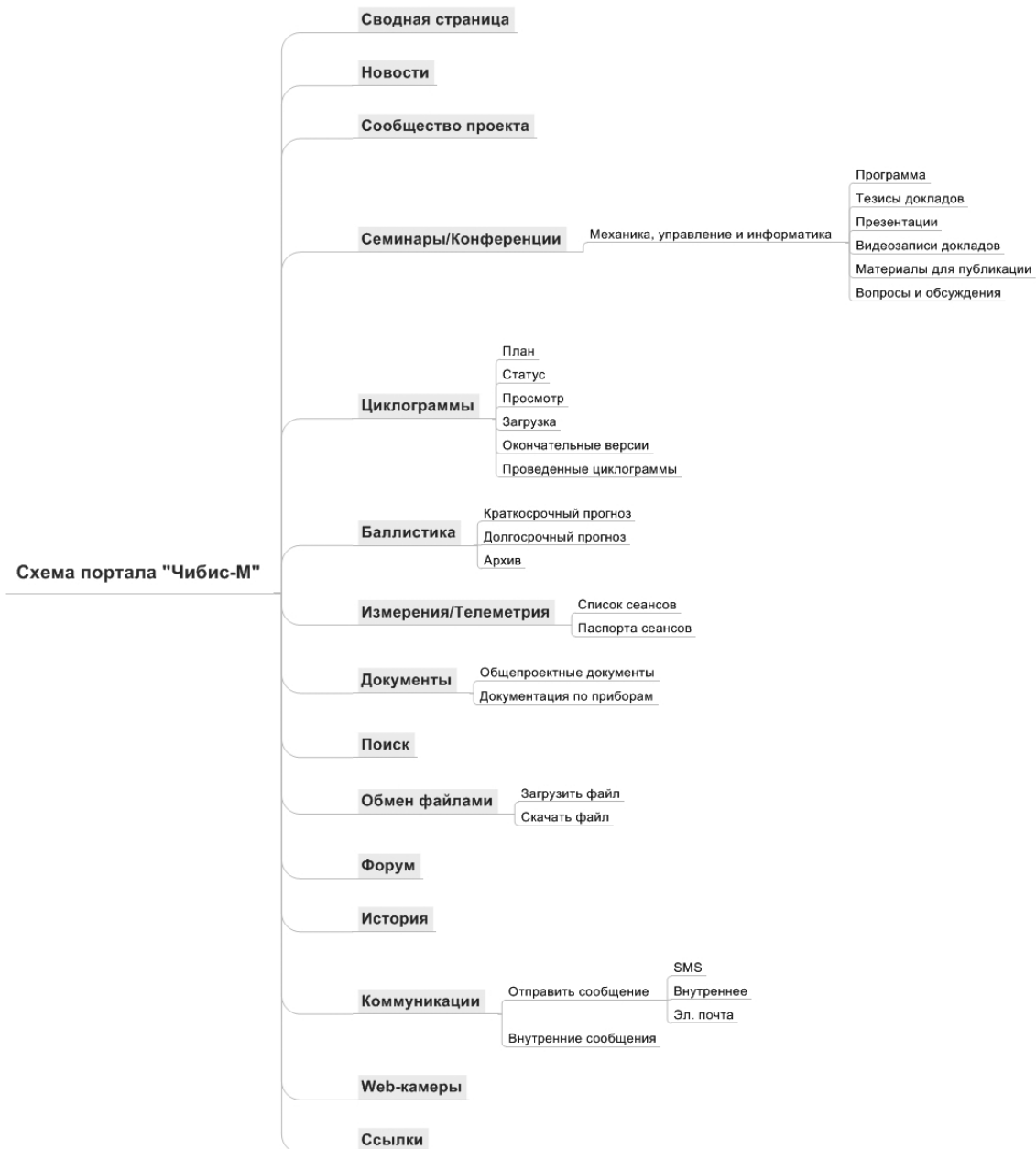


Рис.1. Структурная схема портала «Чибис-М»

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТУПА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПОРТАЛА

Пользователей портала, с точки зрения организации доступа, можно разделить на две категории — незарегистрированных (посетителей) и зарегистрированных (участников проекта). В свою очередь, в категории зарегистрированных пользователей можно выделить несколько групп в зависимости от роли в реализации проекта: научное и техническое руководство, группы управления, баллистики, экспериментаторов и др.

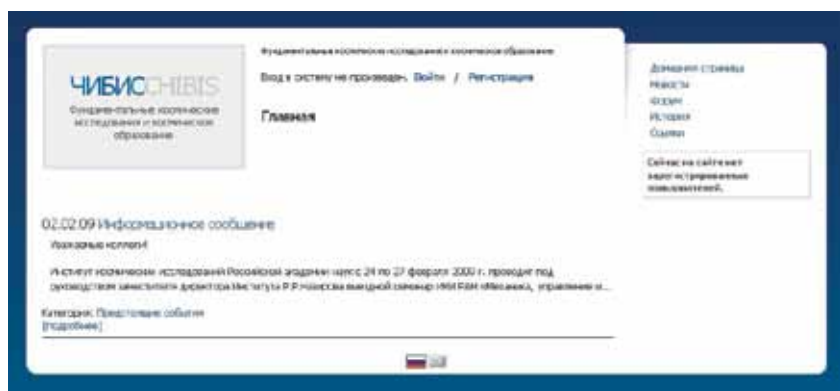


Рис. 2. Вид главной страницы для незарегистрированного пользователя

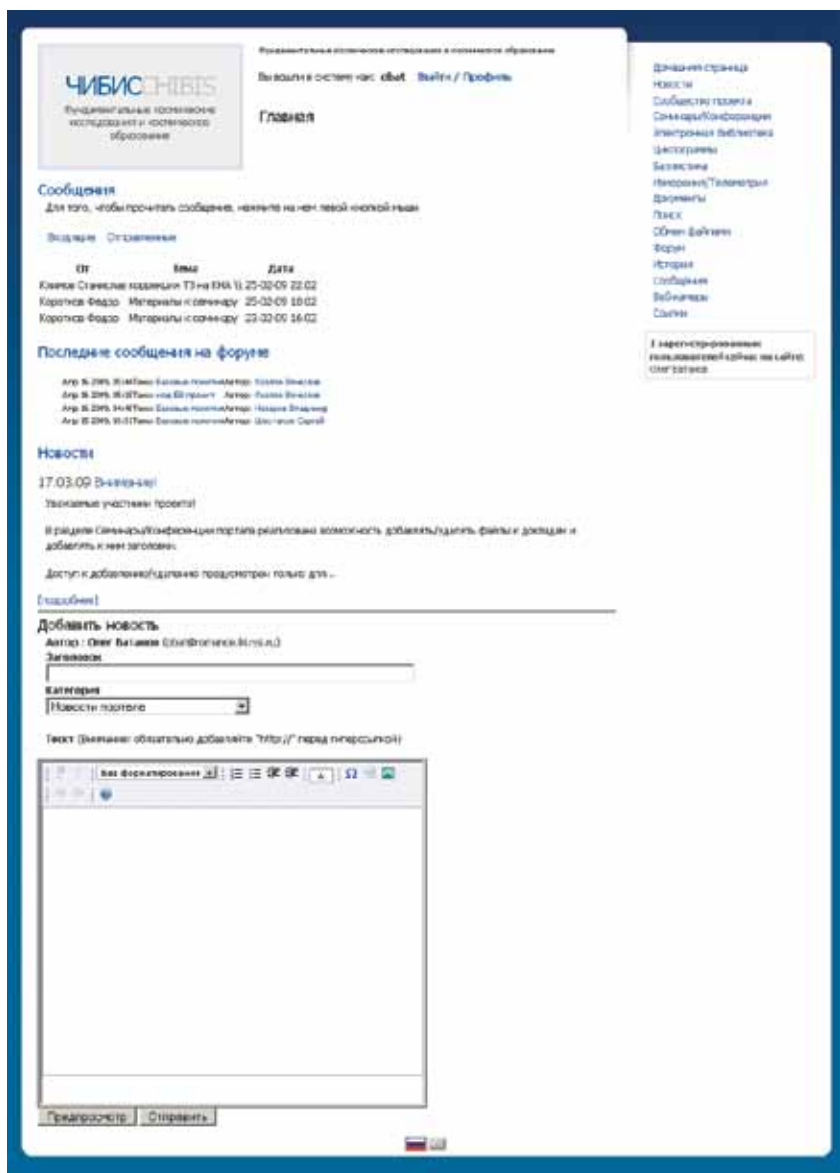


Рис. 3. Вид главной страницы для участника проекта

Посетителям (незарегистрированным пользователям) доступна в основном описательная часть портала. В частности, для них доступны главная страница, описание проекта, новости, некоторые разделы форума, ссылки.

Вид страницы для незарегистрированного пользователя показан на рис.2.

Зарегистрированным пользователям в дополнение к публичной части доступна также информация, связанная с реализацией проекта. Каждый из зарегистрированных пользователей может принадлежать к одной или нескольким группам, получая таким образом доступ к информации, предназначенной для данной группы.

Пример начального вида портала для зарегистрированного пользователя представлен на рис. 3.

Организация доступа к информации подразумевает, что в определенном разделе у различных групп пользователей имеются разные возможности. В качестве примера рассмотрим раздел баллистики. В нем правами на загрузку и обновление информации будут обладать пользо-



Рис. 4. Схема организации доступа к разделам портала

ватели, принадлежащие группе баллистики. В то же время правами на просмотр прогнозов будут обладать все участники проекта.

Поскольку в проекте «Чибис-М» не предусматривается разделение доступа к данным на уровне экспериментов, все экспериментаторы имеют доступ к результатам измерений всех приборов.

Общая схема организации доступа к разделам портала представлена на рис. 4.

Как видно на рисунке, часть разделов являются общедоступными, другая часть доступна только для участников проекта. В то же время есть разделы, которые имеют различный вид для различных категорий пользователей. Например, в разделе «Форум» незарегистрированным пользователям доступна только публичная часть информации, в то время как участники проекта имеют доступ ко всему «Форуму».

ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Как отмечалось выше, в зависимости от роли в проекте, зарегистрированным пользователям предоставляются различные возможности. Особые возможности различных групп представлены в таблице.

Роль в проекте	Возможности
Руководство проекта	Создание объявлений о важнейших событиях
	Оповещение участников о важнейших событиях по всем доступным видам связи (e-mail, SMS, внутренние сообщения)
Группа управления	Загрузка/корректировка планов сеансов
	Оперативный контроль - планирование телекоманд
	Загрузка журналов работы
Группа баллистики	Загрузка краткосрочных и долгосрочных прогнозов
	Корректировка прогнозов
	Загрузка определения орбиты
	Фактическая орбита
Группы экспериментаторов	Загрузка/редактирование документации по приборам
	Доступ к паспортам сеансов и данным измерений
	Загрузка/корректировка требований к циклограммам

СРЕДСТВА КОММУНИКАЦИИ

Портал предоставляет сообществу проекта широкие возможности обмена информацией. Для этого используются:

1. *Лента новостей*. Определенные группы пользователей могут соз-

давать новости и объявления, которые разделены на категории – доступные всем или только участникам проекта.

2. **Форум.** Одним из наиболее удобных средств обсуждения вопросов сообществом пользователей является форум, где все могут высказать свое мнение по различным темам. Следует отметить, что разделы форума, так же как и новости, делятся на проектную и общедоступную части.
3. **Сообщения.** Зарегистрированным участникам проекта доступна возможность отправки различных типов сообщений посредством единого интерфейса: E-mail, внутренние сообщения портала, SMS. Пользователь портала может указать в своем профиле, какого вида сообщения и при каком типе изменений на портале он хочет получать. Так, например, при появлении новых сообщений на форуме или на ленте новостей ему может быть выслано сообщение по E-mail со ссылкой на соответствующую новость или раздел форума, а после проведения очередного сеанса связи с космическим аппаратом ему будут отправлены сообщения как по E-mail, так и в виде SMS. Такой подход позволяет добиться своевременного информирования пользователя о важных событиях.
4. **Служба рассылки SMS-сообщений.** При разработке портала большое внимание было уделено созданию удобных и надежных средств обмена сообщениями. Для оперативного оповещения участников проекта помимо традиционной электронной почты предусмотрены также SMS и внутренние сообщения портала.

CHIBIS CHIBIS
Фундаментальный космический
интерактивный и образовательный
портал

Вы вошли в систему как: **ebat** | [Выход](#) / [Пользователи](#)

Главная » Сообщество проекта » Профиль

Дорогой(Кли) Олег Евгеньевич,
изменить информацию о регистрации: [ebat](#)
Должность: "Геодезист", обязательна для заполнения
→ Нажмите здесь для удаления регистраций

Пароль: * [input type="password"/>] | Подтвердите: * [input type="password"/>]
Полный / половина | половина | половина

Имя: *

Фамилия: *

Дата рождения (ДД/ММ/ГГГГ):

Должность:

Коллган/организация:

Адрес:

Город:

Страна:

Мобильный телефон/номер
для получения SMS с сайта
CHIBIS:

Телефон:

Факс:

Электронная почта: *

Получать сообщения в
формате HTML?

Язык:

Выб-сайт:

Подтвердите обновление профиля!

Должна страница:
Новости
Сообщество проекта
Выход
Пользователи
Профиль

Ссылки/Информация
Электронная библиотека
Центр новостей
Безопасность
Навигация/Телеметрия
Документы
Планет
Обмен сайтами
Форум
Календарь
Сообщения
Веб-камера
Ссылки

И зарегистрированы
вашим именем сайт: [ebat](#)
Олег Евгеньевич

Рассылка новостей
 Получить уведомления
 Использовать HTML-формат письма

Рис. 5. Профиль пользователя

Служба рассылки SMS-сообщений реализована следующим образом.

Пользователь, желающий получать оповещения в виде SMS-сообщений, заполняет в своем профиле на портале соответствующую графу с номером мобильного телефона (рис. 5).

Этот номер не виден для остальных пользователей — таким образом обеспечивается сохранность частной информации. Для того чтобы отправить SMS-сообщение какому-либо пользователю, отправителю нужно только выбрать желаемого адресата из списка пользователей, а система отправит сообщение на введенный адресатом номер телефона (рис. 6).

1. Выберите группу или пользователя, которой(му) вы хотите отправить сообщение (для этого нужно держать нажатой клавишу CTRL и выбрать нужные группы или пользователей)
2. Введите тему сообщения
3. Введите текст сообщения
4. Нажмите "Отправить"

Группа:	Пользователь:
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ	Новиков Алексей
УЧАСТНИКИ ПРОЕКТА	Новиков Денис
РЕДАКТОРЫ НОВОСТЕЙ	Олег Батонев
	Суханов Алназ
	Шестаков Сергей
	Яшин Иван

SMS (1) сообщение(й)
 Внутреннее
 Эл. почта

Одна SMS сообщение - 70 символов.
Уже введено 20 символов

Тема: _____
Тема сообщения

Текст сообщения

Отправить

Рис. 6. Отправка сообщения участнику проекта

СИСТЕМА РАЗРАБОТКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПОРТАЛОМ

Портал разработан и поддерживается с помощью системы управления с открытыми исходными кодами ТуроЗ [7]. Такой выбор был сделан с учетом следующих предоставляемых этой системой возможностей:

- 1) бесплатность;
- 2) полная и актуальная документация;
- 3) открытые коды – возможность доработки под собственные нужды;
- 4) большое количество надстроек, многие из которых позволяют улучшить предоставляемые порталом возможности;
- 5) большое сообщество пользователей, использующих данную систему, — возможность обмена мнениями для более эффективной работы;
- 6) удобный интерфейс администрирования страниц и служб портала;
- 7) большие возможности по расширению и масштабируемости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе удалось реализовать такие типичные задачи информационной поддержки космического проекта как обеспечение доступа к данным измерений, предоставление средств планирования

и ведения проекта в рамках единого информационного поля. Вместе с тем большое внимание было уделено обеспечению коммуникационных возможностей для участников проекта с учетом современных трендов в развитии аналогичных систем.

Благодаря использованию системы управления содержимым, Web-портал постоянно поддерживается в актуальном состоянии, меняются представления страниц в зависимости от текущих потребностей участников и стадий реализации проекта.

Портал проекта «Чибис-М» находится по адресу <http://chibis.cosmos.ru>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров В.Н, Батанов О.В., Веригин М.М., Мельник А.П. и др. Концепция построения базы данных магнитосферных измерений. Препринт.Пр-2056. М.:ИКИ РАН, 2002.14с.
2. Белова И.Э., Петрукович А.А., Батанов О.В. Концепция и опыт построения современного архива данных космического эксперимента. // Proceedings of Third Scientific Conference with International Participation Space, Ecology, Nanotechnology, Safety (SENS 2007),27-29 June 2007, Varna, Bulgaria,Space Research Institute and Bulgarian Astronautical Society, Bulgarian Academy of Sciences, IKI BAS, Sofia, 2008. P.45-47.
3. Nazirov R., Nazarov V., Eismont N. Some aspects of ground segment for prospective science space missions // Proceedings of the 7th International Symposium «Reducing the Costs of Spacecraft Ground Systems and Operations (RCSGSO)» [CD-ROM], 11-15 June 2007, Moscow, Russian Federation. ESA.
4. Гуревич А.В., Зеленый Л.М., Климов С.И. Научные задачи проекта «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 7).
5. Назаров В.Н., Назиров Р.Р., Готлиб В.М. Концептуальный облик наземного сегмента проекта «Чибис-М». (Статья в настоящем сборнике, с. 107).
6. O'Reilly T. What is Web 2.0. Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. O'REILLY, 2005.
7. ТУПО3 Content Management System (<http://typo3.org/> (sited 15.04.2009)).

WEB-PORTAL FOR CHIBIS-M PROJECT

Batanov Oleg Viktirovich (Head of the Group),

Korotkov Fedor Vladimirovich (Engineer-programmer),

Nazirov Ravil Ravilievich (Deputy Director, Ph.D.),

Nazarov Vladimir Nikolaevich (Head of the Laboratory)

Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

Access to the information resources of the missions on the basis of Web-technologies is a necessary condition of successful realizing of space projects at the moment. In contrast to the traditional solutions, this approach brings a number of such advantages as: cross-platform environment, the effectiveness of making decisions etc., which realize wide communication possibilities against the background of the unified information environment. The article describes architectural and functioning principles of the Web-portal for Chibis-M project and demonstrates its features. Also it contains a set of scenarios of the user actions during different stages of the project lifecycle.

Keywords: Web-portal, communications, space mission, information exchange, forum, user access, user-generated content, SMS gateway, Web 2.0

ХТСЕ – СРЕДСТВО ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ МИССИИ

Н.Н. Корнева – инженер

В.Н. Назаров – начальник лаборатории

Р.Р. Назиров – заместитель директора института, доктор технических наук

Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), Москва

Дж.К. Райс – Центр Космических Полётов имени Годдарда НАСА, США

Международным комитетом CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) был разработан набор стандартов под названием ХТСЕ (XML Telemetric and Command Exchange), предназначенный для решения задачи формализованного описания всех информационных элементов космического проекта, а также их функциональных взаимосвязей. Фактически, ХТСЕ представляет собой свод правил для построения XML-документа, содержащего описание телеметрических данных и команд, и, как следствие, подсистем, задействованных в операционном цикле проекта.

Поскольку ХТСЕ реализует иерархическую модель данных, то такая концепция позволяет разбивать информацию на логически обособленные составляющие, обеспечивая наглядность представления информации. ХТСЕ не имеет своего заранее определенного алгоритмического языка, однако спецификация позволяет обращаться к различным внешним алгоритмам. Следует также отметить, что использование ХТСЕ в качестве унифицированного международного формата уменьшает вероятность ошибки, сроки выполнения проекта и необходимый объем финансирования.

В статье рассматриваются основные концепции ХТСЕ, приводятся результаты работ по интеграции форматов ХТСЕ в информационную инфраструктуру проекта микроспутника «Чибис-М».

Ключевые слова: CCSDS; XML; XML-Schema; ХТСЕ; ХТСЕ-Schema; формат обмена; телеметрические метаданные; управляющие метаданные; иерархическая модель данных; алгоритмический язык.

Бурное развитие технологий, обеспечивающих миниатюризацию аппаратуры, предназначенной для космических исследований, позволяет проводить масштабные измерения с помощью небольших космических аппаратов при минимальном бюджете миссии. При этом особую актуальность приобретают вопросы формализованного описания всех информационных элементов космического проекта, а также их функциональных взаимосвязей, с целью максимальной автоматизации процессов управления реализацией целевой задачи миссии.

Международным комитетом CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) был разработан набор стандартов под названием ХТСЕ (XML Telemetric and Command Exchange), предназначенный для решения этой задачи.

Фактически, XTCE — это свод правил для построения XML-документа, содержащего описание телеметрических данных и команд. Спецификация XTCE определяет формат обмена телеметрическими данными и командами между участниками проекта на всех стадиях жизненного цикла космического аппарата, наземного сегмента, экспериментального оборудования (разработка системы, испытание, эксплуатация).

Целью создания XTCE было обеспечение совместимости при передаче структурированных телеметрических данных и команд между различными системами обработки информации космических проектов.

В основу XTCE положена идея реализации иерархической модели данных. Эта концепция позволяет разбивать информацию на логически обособленные составляющие. Например, модель делает возможным создание баз телеметрических данных и команд для каждого измерительного прибора космического аппарата. При необходимости объединения всех баз данных в одну не возникает проблем, сопутствующих интеграции баз данных различных форматов.

Количество уровней иерархической структуры неограниченно, однако космическая система должна содержать по крайней мере один элемент – корень, причем все остальные элементы документа (если они имеются) должны являться его потомками. То есть документ, составленный по правилам XTCE, должен иметь только один корневой элемент. В стандарте он получил название “Space System” (“Космическая система”). Это означает, что текст или другие данные всего документа должны быть расположены между единственным начальным корневым тегом и соответствующим ему конечным тегом.

Иерархическая модель данных дает ряд важных преимуществ по сравнению с плоской моделью:

- меньшее число коллизий, связанных с перекрытием имен элементов (элементы с одинаковыми названиями помещаются в различные подсистемы);
- улучшение механизма управления данными за счет древовидной структуры;
- наиболее полное отражение иерархической структурой естественной структуры космической системы.

На рис.1 представлен схематичный пример реализации иерархической структуры в терминах XTCE для подсистемы комплекса научной аппаратуры (КНА) “Гроза” микроспутника “Чибис-М”. Корневой элемент на рисунке определен под именем «Gроза» и соответствует подсистеме КНА “Гроза”.

В данной постановке XTCE-документы каждой из подсистем могут разрабатываться независимо друг от друга, задача синтеза их в один файл станет только перед конечным пользователем.

Синтаксис XTCE базируется на синтаксисе языка XML и представляет собой XML- Schema - свод правил, регламентирующих порядок взаимного расположения элементов и конструкций в XML-документе, содержащих описание телеметрических данных и команд. В XTCE набор тегов заранее определен, в отличие от XML, где они задаются пользователем. XTCE также (и опять же в отличие от XML) поддерживает строгую типизацию данных. К основным типам данных относят:

- строки, перечисляемый тип (string, enumerated);
- целое, число с плавающей точкой, двоичный тип (integer, float, binary);
- логический (Boolean);
- массивы (arrays);
- абсолютное и относительное время (absolute and relative times).

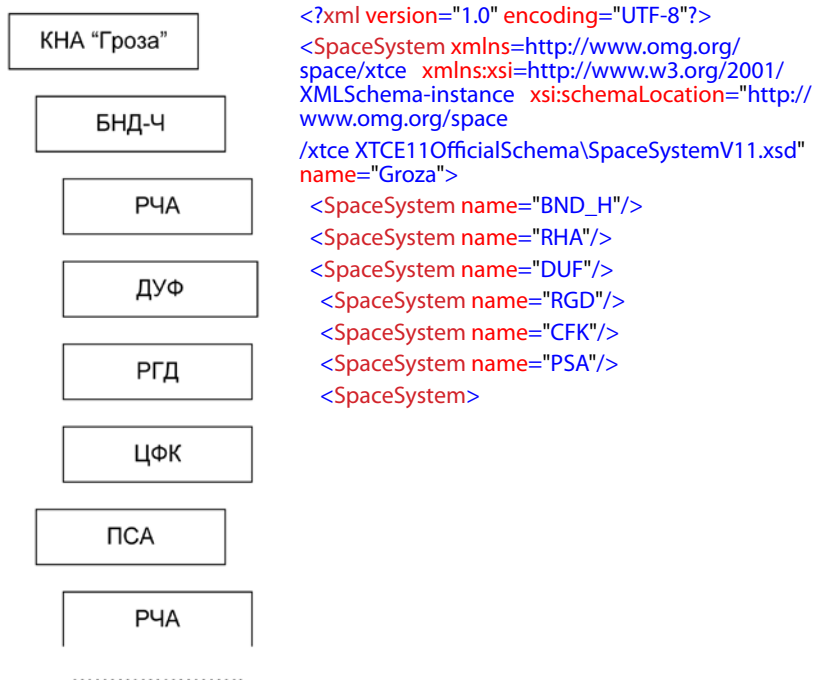


Рис. 1. Иерархическая структура КНА "Гроза":

РГД — рентген-гамма-детектор;
 ДУФ — ультрафиолетовый детектор; РЧА — радиочастотный анализатор;
 ЦФК — камера оптического диапазона; ПСА — процессор спектрального
 анализа данных приборов ИМ (индуктивный магнитометр), KB31 и KB32
 (комбинированный волновой зонд), БЭФМ и ДФМ (феррозондовый
 магнитометр); БНД-Ч — блок накопления данных

В [1] * представлены основные элементы XTCE-Schema (рис.2). Из него видно, что элементы Telemetry Metadata ("Телеметрические метаданные") и Command Metadata ("Управляющие метаданные") подобны, даже несмотря на то, что Command Metadata содержат больше подчиненных элементов, чем Telemetry Metadata. Кроме того, в этих элементах очень схожи определения типов параметров и аргументов.

XTCE-Schema не имеет своего заранее определенного алгоритмического языка, однако спецификация языка позволяет обращаться к внешним алгоритмам. Первоначально элемент, который будет содержать алгоритм, включает только имя алгоритма и список его параметров и констант. Существует также подчиненный элемент, в котором можно задать текст алгоритма, но на его автоматическую интерпретацию надеяться не стоит. CustomAlgorithm – это элемент типа InputAlgorithmType, относящийся к множеству AlgorithmSet. Структура InputAlgorithmType-элемента отображена на рис. 3.

Рассмотрим пример описания формата транспортного кадра прибора БНД-Ч КНА "Гроза" средствами XTCE (рис. 4).

БНД-Ч (с. 90)

* XML Telemetric and command exchange (XTCE). Recommendation for Space Data Systems Standards. Recommended Standard CCSDS 660.0-B-1, Blue Book, October 2007. CCSDS The Consultative Committee for Space Data Systems. C.85. Рис. 3. XTCE: CustomAlgorithm

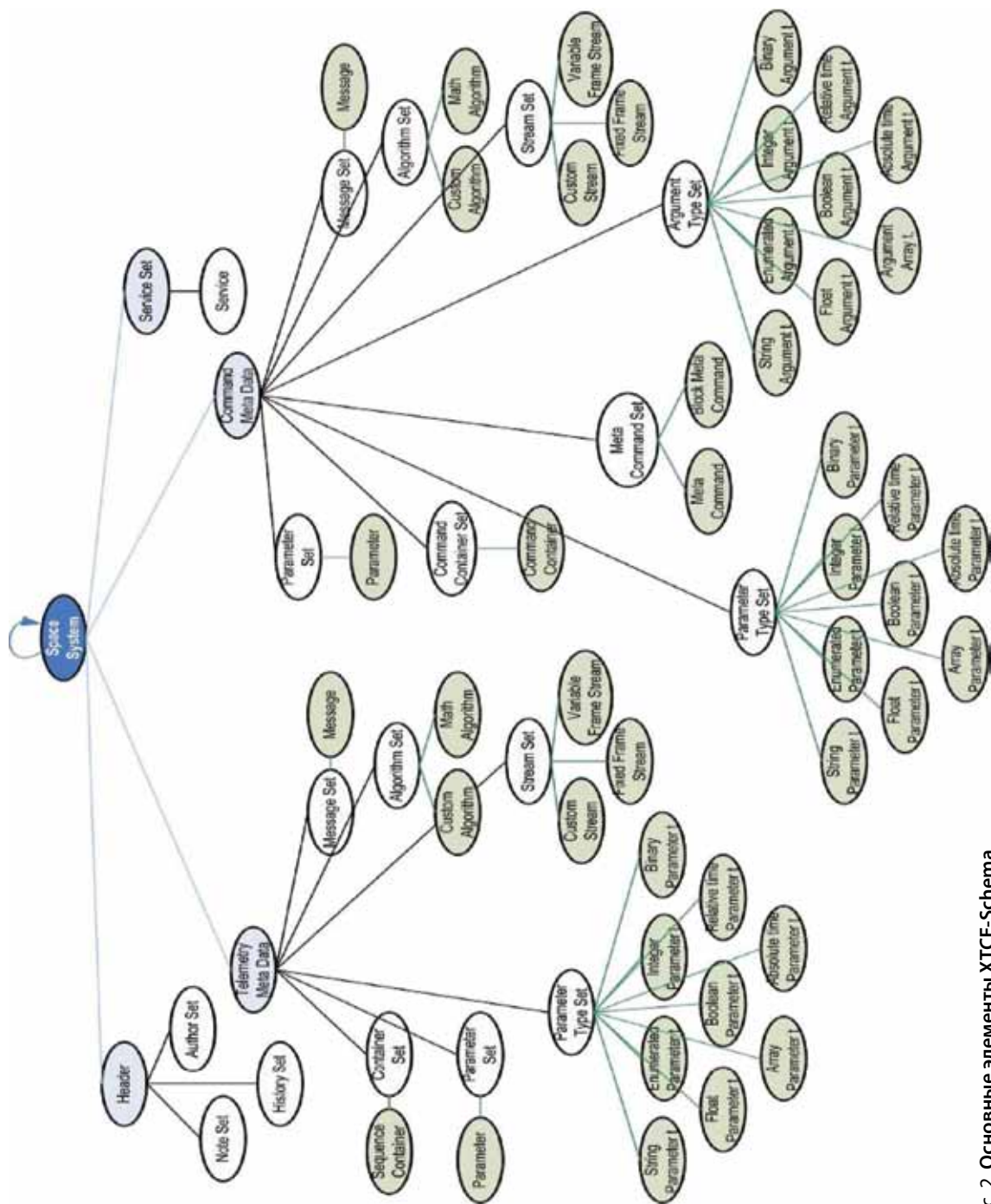


Рис. 2. Основные элементы XTCF-Schema

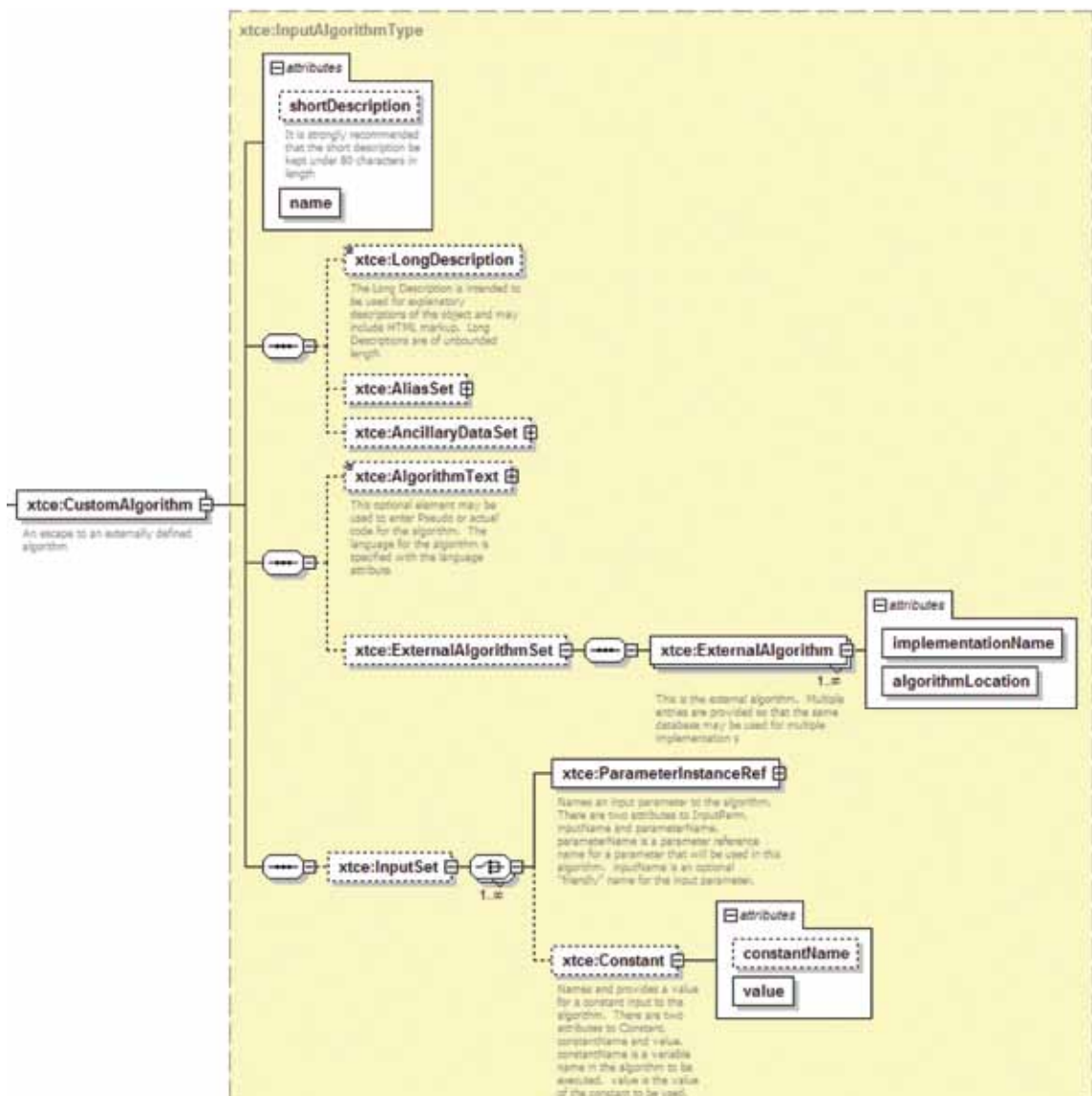


Рис. 3. XTCE: CustomAlgorithm

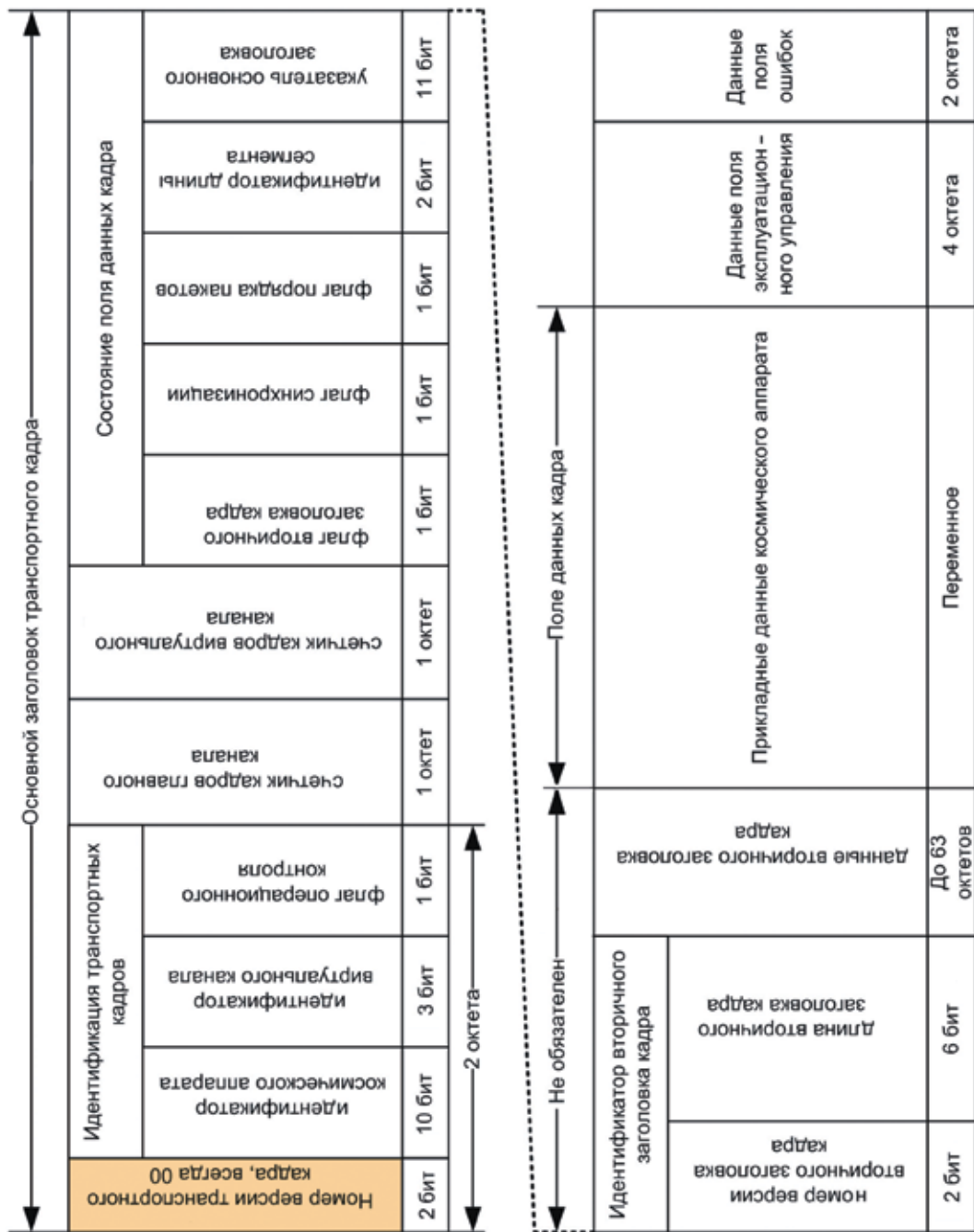


Рис. 4. Формат телеметрического кадра

Для этого создадим XML-файл с единственным корневым элементом BND_H. Телеметрия подсистемы БНД-Ч описывается в секции TelemetryMetaData и может содержать секции описания параметров, их типов, информационных потоков, а также способов упаковки телеметрических данных. В данном примере к параметрам относятся все поля транспортного кадра (кроме поля «Прикладные данные космического аппарата»). Их типы определяются в секции ParameterTypeSet, а имена – в секции ParameterSet. Так, например, типы параметров VirtualChannelID (поле «Идентификатор виртуального канала»), SecHeaderFlg (поле «Флаг вторичного заголовка кадра») определены как перечисляемые, а параметра FirstHeaderPtr (поле «Указатель основного заголовка») – как отрицательное целое размером 11 бит. Помимо этого параметр может иметь некое начальное значение. Для данного примера такое свойство имеют параметры VerNumber, ContrlFieldFlg и другие. Способы упаковки телеметрии системы приводятся в секции ContainerSet. Так как все транспортные кадры имеют одинаковый формат и отличаются только значением поля «Идентификатор виртуального канала», то все кадры объявляются наследником некоторого абстрактного кадра, который также определяется в данной секции. Необязательное наличие вторичного заголовка кадра определяется в коде следующей конструкцией:

```
<SequenceContainer name="Header">
  <EntryList>
    <!--Вторичный заголовок включается в кадр, если значение параметра
SecHeaderFlg
(поле Флаг вторичного заголовка кадра) равно 1-->
    <ContainerRefEntry containerRef="SecondaryHeader">
      <IncludeCondition>
        <Comparison parameterRef="SecHeaderFlg" value="1"/>
      </IncludeCondition>
    </ContainerRefEntry>
    .....
  </EntryList>
</SequenceContainer>
```

Длина поля «Данные вторичного заголовка кадра» (SecHeaderData), определяемая значением поля «Длина вторичного заголовка кадра» (в октетах), задается следующим образом:

```
<!--Описание формата поля Данные вторичного заголовка кадра-->
<SequenceContainer name="SecHeaderData">
  <BinaryEncoding>
    <SizeInBits>
      <DynamicValue>
        <ParameterInstanceRef parameterRef="SecHeaderLen"/>
        <LinearAdjustment slope="8"/>
      </DynamicValue>
    </SizeInBits>
  </BinaryEncoding>
  <EntryList/>
</SequenceContainer>
```

Приведенный ниже код описывает формат транспортного кадра в различных режимах.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SpaceSystem xmlns="http://www.omg.org/space/xtce"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.omg.org/space/xtce XTCE11OfficialSchema\
SpaceSystemV11.xsd"
  name="BND_H">
```

```

<TelemetryMetaData>
<!--Секция описания типов параметров-->
<ParameterTypeSet>
  <IntegerParameterType name="1BitInteger" sizeInBits="1" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>
  <IntegerParameterType name="2BitInteger" sizeInBits="2" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>
  <IntegerParameterType name="6BitInteger" sizeInBits="6" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>
  <IntegerParameterType name="10BitInteger" sizeInBits="10" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>
  <IntegerParameterType name="11BitInteger" sizeInBits="11" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>
  <IntegerParameterType name="1ByteInteger" sizeInBits="8" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>
  <IntegerParameterType name="2ByteInteger" sizeInBits="16" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>
  <IntegerParameterType name="4ByteInteger" sizeInBits="32" signed="false">
    <UnitSet/>
  </IntegerParameterType>

  <EnumeratedParameterType name="TransferMode">
    <UnitSet/>
    <IntegerDataEncoding sizeInBits="3"/>
    <EnumerationList>
      <Enumeration value="1" label="NP"/>
      <Enumeration value="2" label="VP"/>
    </EnumerationList>
  </EnumeratedParameterType>
  <EnumeratedParameterType name="Flag">
    <UnitSet/>
    <IntegerDataEncoding sizeInBits="1"/>
    <EnumerationList>
      <Enumeration value="0" label="SecHeaderAbsent"/>
      <Enumeration value="1" label="SecHeaderPresent"/>
    </EnumerationList>
  </EnumeratedParameterType>
</ParameterTypeSet>

<!--Секция описания параметров-->
<ParameterSet>
  <Parameter name="VerNumber" parameterTypeRef="2BitInteger" initialValue="0"
    shortDescription="Номер версии транспортного кадра"/>
    <Parameter name="SpacecraftID" parameterTypeRef="10BitInteger"
initialValue="207"
    shortDescription="Идентификатор космического аппарата"/>
    <Parameter name="VirtualChannelID" parameterTypeRef="TransferMode"
    shortDescription="Идентификатор виртуального канала"/>
    <Parameter name="ContrlFieldFlg" parameterTypeRef="1BitInteger"
initialValue="0"
    shortDescription="Флаг операционного контроля"/>
    <Parameter name="MasterChannelFrameCount" parameterTypeRef="1ByteInteger"

```

```

    shortDescription="Счетчик кадров главного канала"/>
<Parameter name="VirtualChannelFrameCount" parameterTypeRef="1ByteInteger"
    shortDescription="Счетчик кадров виртуального канала"/>
<Parameter name="SecHeaderFlg" parameterTypeRef="Flag"
    shortDescription="Флаг вторичного заголовка кадра"/>
<Parameter name="SyncFlg" parameterTypeRef="1BitInteger" initialValue="0"
    shortDescription="Флаг синхронизации"/>
<Parameter name="PckOrderFlg" parameterTypeRef="1BitInteger" initialValue="0"
    shortDescription="Флаг порядка пакетов"/>
<Parameter name="SegmLenID" parameterTypeRef="2BitInteger" initialValue="3"
    shortDescription="Идентификатор длины сегмента"/>
<Parameter name="FirstHeaderPtr" parameterTypeRef="11BitInteger"
    shortDescription="Указатель основного заголовка"/>
<Parameter name="SecHeaderVerNumber" parameterTypeRef="2BitInteger"
    shortDescription="Номер версии вторичного заголовка кадра"/>
<Parameter name="SecHeaderLen" parameterTypeRef="6BitInteger"
    shortDescription="Длина вторичного заголовка кадра"/>
<Parameter name="OPT" parameterTypeRef="4ByteInteger"
    shortDescription="Данные поля эксплуатационного управления"/>
<Parameter name="FECF" parameterTypeRef="2ByteInteger"
    shortDescription="Данные поля ошибок"/>
</ParameterSet>

<ContainerSet>
<!--Описание абстрактного кадра (родитель)-->
<SequenceContainer name="Frame" abstract="true">
    <EntryList>
        <ContainerRefEntry containerRef="Header"/>
        <ContainerRefEntry containerRef="Data"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="OPT"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="FECF"/>
    </EntryList>
</SequenceContainer>

<!--Описание формата заголовков-->
<SequenceContainer name="Header">
    <EntryList>
        <ParameterRefEntry parameterRef="VerNumber"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="SpacecraftID"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="VirtualChannelID"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="ContrlFieldFlg"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="MasterChannelFrameCount"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="VirtualChannelFrameCount"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="SecHeaderFlg"/>
        <!--Вторичный заголовок включается в кадр, если значение параметра
SecHeaderFlg (поле Флаг вторичного заголовка кадра) равно 1-->
        <ContainerRefEntry containerRef="SecondaryHeader">
            <IncludeCondition>
                <Comparison parameterRef="SecHeaderFlg" value="1"/>
            </IncludeCondition>
        </ContainerRefEntry>
        <ParameterRefEntry parameterRef="SyncFlg"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="PckOrderFlg"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="SegmLenID"/>
        <ParameterRefEntry parameterRef="FirstHeaderPtr"/>
    </EntryList>
</SequenceContainer>

<!--Описание формата вторичного заголовка-->

```



```

<SequenceContainer name="SecondaryHeader">
  <EntryList>
    <ParameterRefEntry parameterRef="SecHeaderVerNumber"/>
    <ParameterRefEntry parameterRef="SecHeaderLen"/>
    <ContainerRefEntry containerRef="SecHeaderData"/>
  </EntryList>
</SequenceContainer>

<!--Описание формата поля Данные вторичного заголовка кадра-->
<SequenceContainer name="SecHeaderData">
  <BinaryEncoding>
    <SizeInBits>
      <DynamicValue>
        <ParameterInstanceRef parameterRef="SecHeaderLen"/>
        <LinearAdjustment slope="8"/>
      </DynamicValue>
    </SizeInBits>
  </BinaryEncoding>
</EntryList/>
</SequenceContainer>

<!--Описание формата поля Прикладные данные космического аппарата-->
<SequenceContainer name="Data">
  <BinaryEncoding>
    <SizeInBits>
      <FixedValue>1672</FixedValue>
    </SizeInBits>
  </BinaryEncoding>
</EntryList/>
</SequenceContainer>

  <!--Описание формата телеметрического кадра (режим непосредственной
передачи)-->
  <SequenceContainer name="FrameNP">
    <EntryList/>
    <BaseContainer containerRef="Frame">
      <RestrictionCriteria>
        <Comparison parameterRef="VirtualChannelID" value="1"/>
      </RestrictionCriteria>
    </BaseContainer>
  </SequenceContainer>

  <!--Описание формата телеметрического кадра (режим воспроизведения)-->
  <SequenceContainer name="FrameVP">
    <EntryList/>
    <BaseContainer containerRef="Frame">
      <RestrictionCriteria>
        <Comparison parameterRef="VirtualChannelID" value="2"/>
      </RestrictionCriteria>
    </BaseContainer>
  </SequenceContainer>
</ContainerSet>
</TelemetryMetaData>
</SpaceSystem>

```

На основе изложенного выше можно выделить следующие преимущества и недостатки использования XTCE в качестве средства формализации миссии:

Преимущества XTCE:

- 1) XTCE — формат, основанный на международных стандартах;

- 2) XTCE — язык разметки, позволяющий отобразить описания телеметрических данных и команд в текст, читаемый пользователем и анализируемый компьютером;
- 3) иерархическая модель XTCE близка к реальной структуре космической системы;
- 4) XTCE имеет строго определённый синтаксис и требования к анализу, что позволяет ему оставаться простым, эффективным и непротиворечивым; при этом разные разработчики не ограничены в выборе экспрессивных методов; например, можно моделировать данные, помещая значения в параметры тегов или в тело тегов, можно использовать различные языки и нотации для именования тегов и т. д.;
- 5) XTCE представляет собой простой текст, свободный от лицензирования и каких-либо ограничений;
- 6) XTCE не зависит от платформы;
- 7) в отличие от бинарных форматов, XTCE содержит метаданные об именах, типах и классах описываемых объектов, по которым приложение может обработать документ неизвестной структуры;
- 8) XTCE базируется на XML, а он, в свою очередь, имеет реализации парсеров для всех современных языков программирования, а также поддерживается на низком аппаратном, микропрограммном и программном уровнях в современных аппаратных решениях;
- 9) на сегодняшний день на рынке представлено большое количество открытых и коммерческих программ для работы с XML-файлами, таким образом, использование XTCE не повлечет за собой обязательного перехода на коммерческие программы.

Недостатки XTCE:

- 1) размер XTCE-документа существенно больше, чем документа в форматах данных, оптимизированных для конкретного случая использования;
- 2) отсутствует общепринятая методология для моделирования данных в XTCE, в то время как для реляционной и объектно-ориентированной моделей такие средства разработаны и базируются на реляционной алгебре, системном подходе и системном анализе;
- 3) вполне возможна ситуация, когда разработчик XTCE-документа выберет опции, совместимые со спецификацией, но не допустимые с точки зрения других разработчиков, что, естественно, может вызвать проблемы при обмене данными.

Однако следует отметить, что в итоге использование XTCE приведет к значительному уменьшению проектных расходов по нескольким причинам:

1. XTCE дает возможность пользователю определить один единственный уникальный формат для описания телеметрических данных и команд, что полезно при формализации требований к проекту.
2. Формализация требований к проекту средствами XTCE позволит автоматизировать процесс разработки программного обеспечения (например, алгоритм, записанный на XTCE, может быть соответствующим образом интерпретирован обрабатывающей программой).
3. При использовании XTCE не требуется создания специальных средств для конвертирования и редактирования базы данных. Эти простые, но чреватые ошибками, действия можно исключить, так же как и проверку корректности данных при их конвертировании.
4. Морально устаревшие базы данных с телеметрическими данными и командами легко могут быть конвертированы в формат XTCE, что позволит в дальнейшем применять технологии XML. К тому же использование стандарта на формат обмена данными с первых этапов конструирования космического аппарата и на протяжении всего проекта уменьшит стоимость жизненного цикла системы.

XTCE – THE INSTRUMENT FOR THE MISSION FORMAL DESCRIPTION

Korneva Natalya Nikolayevna¹ (Engineer),

Nazarov Vladimir Nikolaevich¹(Head of the Laboratory),

Nazirov Ravil Ravilievich¹ (Deputy Director, Ph.D.),

Rice James Kevin²

¹Institution of Russian Academy of Sciences Space Research Institute RAN (IKI RAN), Moscow

²NASA Goddard Space Flight Center (GSFC),USA

The set of standards called XTCE (XML Telemetric and Command Exchange) were developed by the Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) to solve the task of formal description of all data entries of a space project and their functional relations. In fact, XTCE is the set of rules for building XML-documents which include the descriptions of telemetric metadata and commands and, as a consequence, the descriptions of the project operational subsystems.

The hierarchical data model which is introduced in XTCE allows for the division of the information into logically separate parties that provides a robust representation of information. XTCE hasn't got its own dedicated algorithm language, but the specification allows to reference externally defined algorithms. The usage of XTCE as the unified international format reduces the error probability, execution period and finding gap.

The basic concepts of XTCE, the results of integration the XTCE format into information infrastructure of the mission Chibis-M are presented in the article.

Keywords: CCSDS; XML; XML-Schema; XTCE; XTCE-Schema; Data Exchange; Telemetry metadata; Command metadata; Hierarchical data model; Algorithm language.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Научные задачи миссии «Чибис-М» <i>А.В.Гуревич, Л.М.Зеленый, С.И. Климов</i>	7
Специфика создания базовой конструкции и компоновки бортового комплекса аппаратуры МС «Чибис-М» для исследования грозовых разрядов <i>В.Н.Ангаров, С.И.Климов, В.Г.Родин, А.В.Калюжный, В.В.Летуновский, В.М.Козлов</i>	26
Задачи баллистического обеспечения проекта «Чибис-М» <i>Н.А.Эйсмонт, Р.Р. Назиров</i>	43
Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором РГД <i>Г.К.Гарипов, С.И.Свертилов, И.В.Яшин</i>	49
Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором ДУФ <i>Г.К.Гарипов, С.И.Свертилов, И.В.Яшин</i>	58
Цифровая фотокамера для регистрации атмосферных грозовых разрядов <i>А.В.Бондаренко, И.В. Докучаев, В.А. Котцов</i>	63
Радиочастотный анализатор–регистратор молниевой активности для микроспутника «Чибис-М» <i>В.М.Готлиб, В.Н.Каредин, А.К.Тоньшев, В.Ю.Гаретов</i>	72
Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды <i>Д.И.Новиков, С.И. Климов, В.Е.Корепанов, А.А. Марусенков, Ч.Ференц, Я.Лихтенбергер, Л.Боднар</i>	78
Блок накопления данных для КНА «Гроза» <i>В.Н.Ангаров, В.М.Козлов, А.А.Новиков, С.А.Наганов, С.А.Шестаков</i>	90
Бортовой комплекс управления <i>А.П.Папков</i>	98
Радиоканал передачи научных данных микроспутника «Чибис-М» <i>В.М.Готлиб, В.Н.Каредин, В.Н.Скородумов, Н.Н.Бруква</i>	101
Концептуальный облик наземного сегмента проекта «Чибис-М» <i>В.Н.Назаров, Р.Р.Назиров, В.М.Готлиб</i>	107
Web-портал проекта «Чибис-М» <i>О.В.Батанов, Ф.В.Коротков, Р.Р.Назиров, В.Н.Назаров</i>	117
ХТСЕ – средство формального описания миссии. <i>Н.Н.Корнева, В.Н.Назаров, Р.Р.Назиров, Дж.К.Райс</i>	127