

**Космический эксперимент «Микроспутник» на Российском сегменте МКС.  
ОКР «Разработка микроспутника для исследования грозовых разрядов «Чибис-М».**

**Исследования новых физических механизмов электрических  
разрядов в атмосфере**

***Аннотация***

С 2004 года в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН) проводятся работы по теме «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**».

Впервые разрабатывается комплекс измерительной аппаратуры, ориентированный на изучение грозовых разрядов, который перекрывающий практически весь спектр электромагнитных излучений и именно под эту задачу создается проект небольшого космического аппарата, его систем сбора информации и служебных систем.

В ходе проведения работ по подготовке эксперимента по ионосферным исследованиям физических механизмов электрических разрядов в атмосфере:

1. Завершен физический анализ динамических характеристик импульсов радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения, генерируемых в процессе высотного атмосферного разряда. Анализ показал необходимость одновременного измерения радио- и гамма- излучений в субмикросекундном временном диапазоне.

2. Создана лабораторная аппаратура для отработки алгоритмической модели системы сбора измерительной информации детекторов радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения, обеспечивающей субмикросекундное временное разрешение. Аппаратура использована для отработки модели, что позволило выработать технические и измерительно-информационные требования к комплексу научной аппаратуры физического ионосферного космического эксперимента (КЭ), уникального по ширине охвата энергетического диапазона и временного разрешения при ограниченном весе приборов, размещаемых на микроспутнике (МС).

3. Проведен расчёт траекторно-баллистических параметров орбиты МС, максимально обеспечивающей проведение на нём фундаментального КЭ. Основное внимание было уделено проблемам, влияющим на проектный облик МС: возможности командной и телеметрической линий радиосвязи; ограничения по мощности солнечных батарей в силу выбранных параметров орбиты; требования по тепловому режиму, диктуемые геометрией и эволюцией орбиты; время баллистического существования МС; достижимые точности определения параметров орбиты и средства реализации этих точностей и пр.

4. Разработана научно-методическая программа реализации ионосферного фундаментального КЭ. Для разработки комплексного КЭ привлечён новый физический процесс – пробой на убегающих электронах (ПУЭ), имеющий низкий порог возбуждения, соответствующий наблюдаемым в грозовой атмосфере электрическим полям. Проведена научно-методическая разработка комплекса аппаратуры - КНА «Гроза» (рис. 1), включающего в себя приборы, как «ведущие»: РГД (рентген-гамма детектора), ДУФ (датчика ультрафиолета), РЧА (радиочастотный анализатор-регистратор), БНД-Ч (блок накопления данных), так и приборы для получения сопутствующих данных: цифровая фотокамера – ЦФК; магнитно-волновой комплекс (ДФМ, ИМ, КВЗ, ПСА); передатчик

научных данных – ПРД2,2. Комплексность обусловлена тем, что фактом регистрации высотного разряда («события») служит выработка прибором БНД-Ч единого «триггера события» на основе совпадения триггеров приборов: РГД, РЧА, ДУФ.

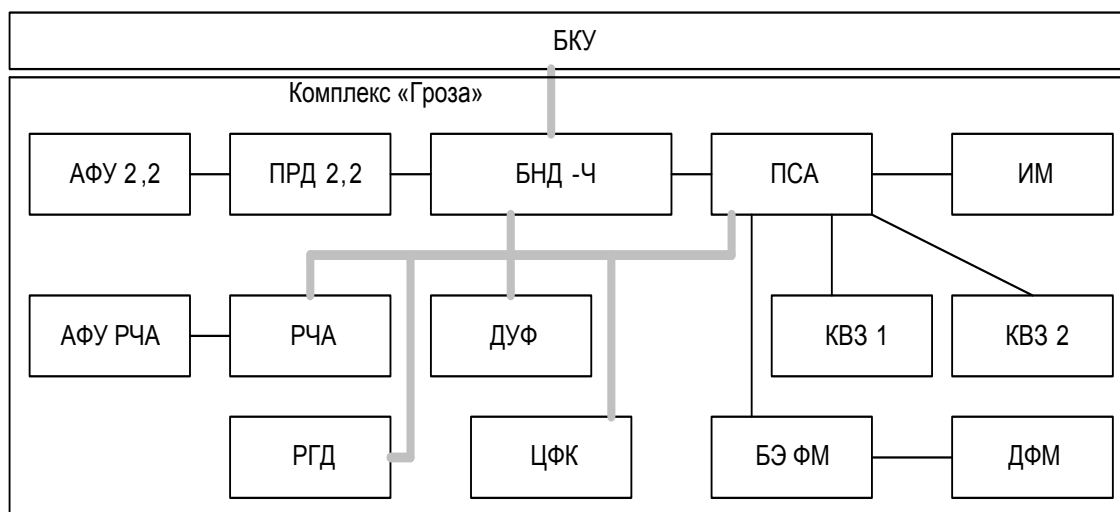


Рисунок 1. Структурная схема КНА «Гроза»: БКУ — бортовой комплекс управления; РГД — рентген-гамма-детектор; ДУФ — ультрафиолетовый детектор; РЧА – радиочастотный анализатор - регистратор; ЦФК — цифровая фото-камера оптического диапазона; БНД-Ч — блок накопления данных; ПРД 2,2 — передатчик научной информации 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.

5. Разработана конструкторская документация, изготовлен и проведены испытания МС «Чибис-М» с КНА «Гроза» (общий вес 40 кг.) с контрольно-испытательной аппаратурой (КИА КНА) с замкнутым контуром проверок. Вывод МС на орбиту будет осуществлён с использованием инфраструктуры Российского сегмента МКС.

6. Вышел из печати сборник «Миссия «Чибис-М» [10]. Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р.Назирова. М., ИКИ РАН, 2009.139 с.: табл., ил., цв. ил.».

7. Создан сайт <http://chibis.cosmos.ru>, где представлены более подробные данные о научных задачах и технико-информационных параметрах миссии «Чибис-М».

Вышеперечисленные работы выполнены при частичной поддержке проектов РФФИ:

- 06-02-08076-офи «Новые физические механизмы электрических разрядов в атмосфере»
- 09-05-13587-офи\_ц «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере»
- 10-05-93107-НЦНИЛ\_а «Новые физические явления при атмосферных грозовых разрядах: наблюдения с микро-спутников и земной поверхности»

---

During preparation for experiment on ionospheric studies of the physical mechanisms of the electrical discharges in the atmosphere, the following was achieved:

1. Physical analysis of the dynamic characteristics of the pulses of radio-, ultraviolet- and gamma-radiation, generated in the process of high-altitude atmospheric discharge, was completed. Analysis showed the need for the simultaneous measurement of radio- and gamma-emissions in the sub-microsecond temporary range.

2. Laboratory equipment for verification of algorithmic model of the system collecting measurement data from detectors of radio-, ultraviolet and gamma-radiation, that ensures sub-microsecond time resolution, was created. Equipment was used for model verification, which made it possible to define technical and measuring-information requirements for the complex of scientific instruments for the physical ionospheric space experiment (SE), with unique scope of energy range and time resolution, with the limited weight of the instruments, placed on the micro-satellite (MS). Complexity was caused by the fact that registration of high-altitude discharge (“event”) occurs when data accumulation unit (BND-Ch) generates united “trigger of event”, on the basis of coincidence of the triggers of the instruments: roentgen-gamma- detector (RGD), radio-frequency analyzer (RChA), sensor of ultraviolet (DUF).

3. Calculation of the trajectory-ballistic parameters of the MS orbit, which maximally ensures conducting on it fundamental SE, was carried out. Primary attention was given to the problems influencing configuration of MS: the possibility of command and telemetric radio communication links; power limitation of solar batteries caused by selected orbital parameters; the requirements on the thermal condition, dictated by geometry and evolution of orbit; the time of the MS ballistic existence; accuracy of determined orbit parameters, and so forth.

4. Scientific-methodical program of ionospheric fundamental SE realization was developed. New physical process for the development of complex SE was used - breakdown on the running away electrons (PUE), which has the low threshold of excitation, corresponding to electric fields, observed in the thunderstorm atmosphere. Scientific-methodical development of the complex of equipment was performed - KNA “Groza”, which includes the instruments RGD, DUF, RChA, BND- Ch and instruments for obtaining associated data: digital photo camera - TsFK; magnetic-wave complex (DFM, IM, KWZ, PSA); the transmitter of scientific data - PRD2,2.

5. Developed Design documentation; MS “Chibis-M” and KNA “Groza” (total weight 40 kg.), with the quality-control and testing equipment (KIA KNA) that has locked verification circuit, was developed and tested. MS delivery to the orbit there will be performed with the use of Russian segment ISS infrastructure.

6. Have published proceeding (grant participants Angarov V.N., Klimov S.I. - members of the editorial board of the proceeding) “Mission “Chibis-M”. Proceeding of the works of visiting seminar, serial “Mechanics, Control and Information Theory”/edited by R.R. Nazirov. M., IKI RAS, 2009, p.139: table, illus., col. illus.”.

7. Created the site [http//chibis.cosmos.ru](http://chibis.cosmos.ru), which contains detailed information about the project “Chibis-M.

Вышеперечисленные работы выполнены при частичной поддержке проектов РФФИ:

- 06-02-08076-офи «Новые физические механизмы электрических разрядов в атмосфере»
- 09-05-13587-офи\_ц «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере»
- 10-05-93107-НЦНИЛ\_а «Новые физические явления при атмосферных грозовых разрядах: наблюдения с микро-спутников и земной поверхности»

---

### **Физические предпосылки миссии «Чибис-М».**

Исследования атмосферных грозных разрядов интенсивно развиваются в последние годы. Обнаружены новые виды разрядов между атмосферой и ионосферой [38]: спрайты, эльфы, голубые джеты [14]. Зарегистрированы мощные вспышки гамма-излучения (TGF) [15]. Подробно изучены высотные разряды, генерирующие сверхмощные импульсы радиоизлучения (NBE – Narrow Bipolar Event) [16].

Результаты новых измерений порождают и новые вопросы. В частности, последние исследования показали, что можно считать надёжно установленным экспериментальным фактором то, что электрическое поле в облаках значительно ниже порога электрического пробоя [17]. Как же тогда инициируются молнии? Как возникают в активный период грозы многочисленные разряды, генерирующие вспышки радиоизлучения. Для разработки в рамках данного проекта комплексного эксперимента был привлечён новый физический процесс – пробой на убегающих электронах (ПУЭ) [18], который имеет низкий порог возбуждения, соответствующий наблюдаемым в грозовой атмосфере электрическим полям. Для осуществления ПУЭ необходимо наличие затравочных быстрых электронов с энергией, превосходящей критическую энергию убегания. Такие электроны в атмосфере всегда присутствуют – они эффективно генерируются космическими лучами. Благодаря этому ПУЭ может реализоваться в грозовой атмосфере и оказать существенное влияние на развитие атмосферных электрических разрядов в активный грозовой период.

Обнаружение интенсивных длительных (10-100 мс) всплесков гамма-излучения и его корреляции с радиоизлучением может служить первым экспериментальным свидетельством того, что собирание и перенос заряда от облаков к лидеру молнии в активной период происходит при определённой роли ПУЭ. Доказать это можно с помощью прямых наблюдений непосредственно в грозовых облаках. Типичная высота образования молний «облако-земля» составляет 4 – 6 км, что соответствует характерной высоте максимума числа частиц в широких атмосферных ливнях (ШАЛ), образуемых космическими лучами с энергией более 10<sup>15</sup> эВ. Поэтому создание на таких высотах установки является крайне актуальной задачей. В результате исследований, проведенных на Тянь-Шаньской высокогорной (3340 – 4000 м над уровнем моря) научной станции космических лучей ФИАН (ТШВНС), показано [17], что развитие активной фазы грозового разряда – предварительный пробой, инициация лидера, движение лидера вплоть до момента возвратного удара – полностью диктуется процессом собирания электрического заряда с облаков. В исследованиях обнаружено, что этот процесс сопровождается мощными коррелированными потоками гамма- и радиоизлучения, создаваемых ПУЭ.

Развитие ШАЛ 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 ПУЭ приходит из наблюдения гамма-излучения, создаваемого потоками быстрых электронов в тормозном процессе. Вместе с тем, ни гамма-излучения, 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.

Исходя из вышеприведённых предпосылок, была проведена научно-методическая разработка комплекса аппаратуры КНА «Гроза», включающего в себя приборы для измерения гамма-излучения – РГД и радиоизлучения – РЧА. Особо следует подчеркнуть, что измерительные параметры приборов КНА «Гроза» формировались с учётом проведения совместных скоординированных измерений во время проведения эксперимента на микроспутнике «Чибиc-М» и ТШВНС [17].

КНА «Гроза» ориентирован на проведение исследований физических процессов при высотных атмосферных грозовых разрядах на орбите микроспутника «Чибиc-М» (круговая орбита высотой ~ 500 км) и должен решать следующие научные задачи:

- а) по изучению 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.

Как отмечалось, для изучения ступенчатого лидера высотных молний в КНА «Гроза» используются: РГД — рентген-гамма-детектор; ДУФ — ультрафиолетовый детектор; РЧА — радиочастотный анализатор - регистратор; ЦФК — цифровая фото-камера оптического диапазона [19]; БНД-Ч — блок накопления данных.

На первом этапе космического эксперимента каждый из приборов проводит непрерывные измерения, особенно в приэкваториальной области, где статистически грозы наблюдаются наиболее часто и в ночных условиях в целях наиболее эффективной работы ДУФ и ЦФК. В ходе этих измерений проводится отработка алгоритма выработки признака события каждого прибора (Тпрча, Тпргд, Тпдуф) с одновременной записью измерений в кольцевую память каждого из приборов. Циклограммы этой отработки аналогичны приведённым в Приложениях 1-3, только с увеличенными временными интервалами.

Важной характеристикой КНА «Гроза» является способность выработки признака события комплекса Тк. Это обусловлено тем, что из-за необходимого микросекундного временного разрешения объём телеметрической (ТМ) информации, регистрируемой приборами, может составлять сотни Гбайт, что значительно превышает возможности телеметрической линии борт «Чибиc-М» - Земля. Поэтому, в основном, предполагается передавать научную телеметрическую информацию только в том случае, когда все три прибора выработали признаки события Тпрча, Тпргд, Тпдуф. В этом случае БНД-Ч должен решать методическую проблему – временное совпадение Тпрча, Тпргд, Тпдуф. Эта проблема связана с тем, что в настоящее время нет надёжных ни теоретических, ни экспериментальных данных о временном распределении событий и соответственно Тпрча, Тпргд, Тпдуф, т.е. в реальном эксперименте какой из приборов РЧА, РГД, ДУФ регистрирует событие первым или признаки вырабатываются одновременно с миллисекундной точностью, или с какой-то другой последовательностью.

Для понимания, в частности, проблемы происхождения TGF очень важно получить данные о высотном грозовом разряде, его радио-, видимом и ультрафиолетовом излучении. Важно, чтобы наблюдения этих излучений имели высокую субмикросекундную синхронизацию по времени. Выходной сигнал детекторов РГД, 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 должно происходить перезаписывание 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 4-х детекторов должна 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. Превышение количества отсчетов, суммируемых за 3 мс, уровня фона на определенное число «сигма» в заданном числе детекторов (этот уровень и количество сработавших не менее, детекторов устанавливаются по команде с Земли, исходное значение – 3 чем двух детекторах) является признаком события. Началом события будем считать момент начала 3 миллисекундного интервала, в котором было зарегистрировано превышение числа отсчетов. При этом содержимое кольцевой памяти в интервале от 5 мс до начала события и в течение 15 мс после начала события переписывается в буферную память прибора. События считаются независимыми, т.е. соответствующие показания записываются из кольцевой памяти в буферную как независимые последовательности, если интервал между их началом больше 10 мс. В противном случае они записываются как одно событие. 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.

Режимы суперпозиции Тпрча, Тпргд, Тпдуф должны устанавливаться по команде с Земли.

Следует так же отметить, что в КНА «Гроза» (рис. 1) входит магнитно-волновой комплекс (МВК), включающий: ПСА — процессор спектрального анализа, ИМ — индукционный магнитометр, КВЗ — комбинированный волновой зонд (2 шт), БЭ ФМ — блок электроники и ДФМ — датчик феррозондового магнитометра. МВК осуществляет измерение электромагнитных излучений ОНЧ диапазона. В это диапазон входят и свистящие атмосферники, излучения связанные с грозовыми разрядами и широко исследуемые наземными обсерваториями. МВК не вырабатывает признаков события, но принимает от БНД-Ч признак Тк и таким образом участвует в исследованиях процессов, связанных с ПУЭ. МВК также выполняет самостоятельную роль по изучению электромагнитных параметров космической погоды [20 - 26].

Формирование программы реализации фундаментального космического эксперимента в значительной степени определяется условиями эксплуатации микроспутника на орбите [27]. В орбитальном полете должно быть реализовано два основных режима ориентации МС:

- орбитальная трехосная ориентация (ось X по вектору скорости; ось Y- перпендикулярна плоскости орбиты; ось Z- в плоскости орбиты перпендикулярна поверхности Земли в подспутниковой точке.) необходима для проведения всех научных экспериментов и сброса ТМ информации и приема управляющих команд. Длительность ориентации 24 часа и более в зависимости от программы научных экспериментов.
- инерциальная трехосная ориентация осью Z в направлении на Солнце необходима для подзарядки химической буферной батареи. Длительность ориентации (Z на Солнце) от 2-х до 12 часов в зависимости от степени разряженности химической буферной батареи.

Программа реализации фундаментального космического эксперимента зависит также и от режима тепловыделения аппаратуры МС «Чибис-М». Предполагаются циклограммы энергопотребления в трех вариантах:

- минимальное в режиме инерциальной ориентации и режиме орбитальной ориентации (режим энергосбережения).
- среднее в режиме орбитальной ориентации включая теневые участки орбиты для проведения грозовых экспериментов.
- максимальное в режиме орбитальной ориентации при работе приемо-передатчиков командной радиолинии и передатчика научной ТМ информации при пролёте над наземными измерительными пунктами (3-4 сеанса радиосвязи по 10-15 минут в сутки на каждом пункте).

### **Состояние работ по проекту «Чибис-М».**

Физический анализ динамических характеристик импульсов радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения, генерируемых в процессе высотного атмосферного разряда осуществлялся на базе теоретических предпосылок, сформулированных в работе [1]. Основным требованием является одновременное измерение радио и гамма излучений в субмикросекундном временном диапазоне.

При рассмотрении всего комплекса ионосферных исследований физических механизмов электрических разрядов в атмосфере [2] в ходе выполнения проекта осуществлялся комплексный подход к решению поставленных задач [3 ... 5]

На основе проведённого на предыдущем этапе научно-методического анализа физических механизмов и параметров электрических разрядов в атмосфере подтверждена необходимость создания комплекса научной аппаратуры КНА «Гроза» (рис. 1) являющегося уникальным по ширине охвата энергетического диапазона и временному разрешению при ограниченном весе приборов.

Завершённые лабораторные исследования физических характеристик детекторов радио- (АФУ РЧА), ультрафиолетового- (ДУФ) и гамма- (РГД) излучения позволили перейти к созданию и изучению данных детекторов.

### Радиочастотный анализатор-регистратор - РЧА [6].

РЧА разработан, исходя из следующих исходных данных:

- входной частотный диапазон 26...48 МГц;
- минимальная длительность регистрируемых сигналов < 1 мкс;
- точность привязки к бортовому времени 1мкс;
- различение полезного сигнала на фоне помех.

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, определено, что приведенная к входу РЧА эффективная температура галактических шумов в рабочем диапазоне частот 26...48 МГц (полоса 22 МГц) составит ~ (0,5 ... 2,0) 10<sup>4</sup> К или 10 мкВ. Околоземные шумы определяются подспутниковым районом и могут быть на 1...2 порядка больше. Оценка уровня надёжно регистрируемого сигнала – более 20 мкВ.

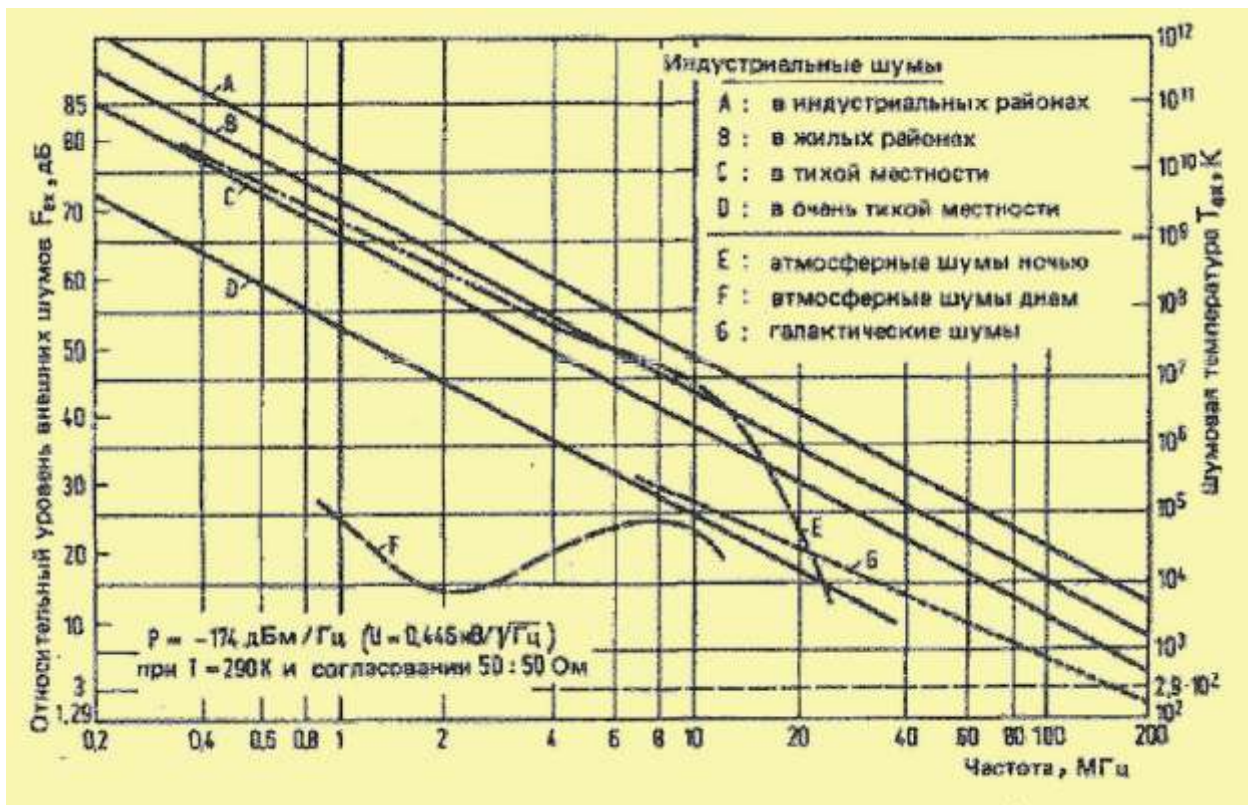


Рисунок 2. Спектральная плотность мощности шумовых помех (в относительных единицах) как функция частоты в спектральном интервале 0,2...200 МГц. Коэффициент шума приемника в общем случае должен соответствовать (при каждом значении частоты) уровню шумов для условий, обозначенных параметром С; для космической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

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.



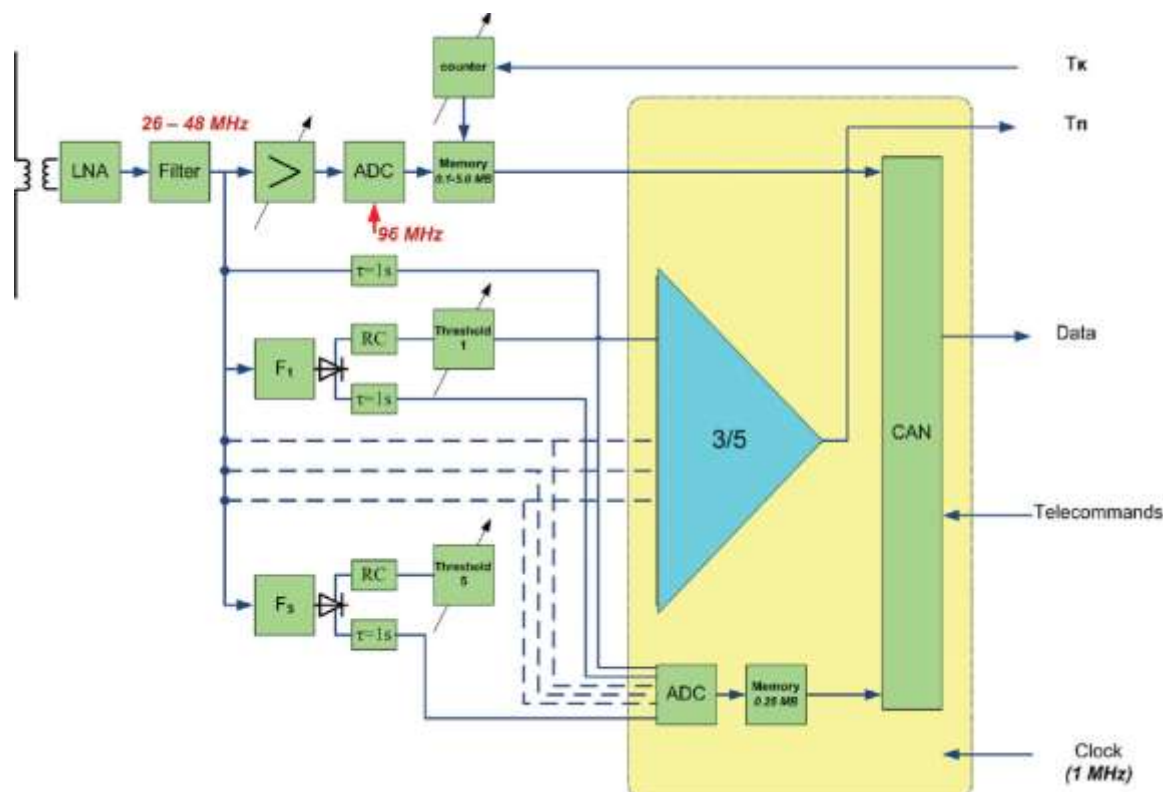


Рисунок 3. Блок-схема радиочастотного детектора-анализатора РЧА.

Положительные результаты лабораторного макетирования позволили перейти в 2010 г. к разработке радиочастотного детектора-анализатора – РЧА, блок-схема которого приведена на рис. 3, отражающем его 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-Ч;
- узел анализа, обеспечивающий принятие решения о необходимости фиксации события ( $F_1 \dots F_5$ , RC, Treshold).

Как было указано ранее, диапазон частот аналоговой части прибора до АЦП составляет 26...48 МГц, динамический диапазон - 60 дБ, внутренние шумы прибора должны составлять  $\sim 2$  мкВ при нагрузке 75 Ом. Аналого-цифровой преобразователь цифрового узла работает на частоте 96 МГц, что соответствует двойной частоте среза основного фильтра. Объем памяти позволяет записывать процесс длительностью от 1мс до 50 мс. После заполнения памяти прибор передает информацию в БНД-Ч. 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  $\sim 10$  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  $\sim 1$  с. Эти данные также оцифровываются 8-разрядным кодом и хранятся в памяти контроллера.

Чтобы избежать срабатывания прибора из-за внеполосных помех, необходимо обеспечить хорошую избирательность прибора по соседнему каналу. Для этого разработан специализированный твердотельный фильтр, обладающий высокой избирательностью, вне рабочей полосы частот избирательность фильтра лучше:  $-40$  дБ (рис. 4).

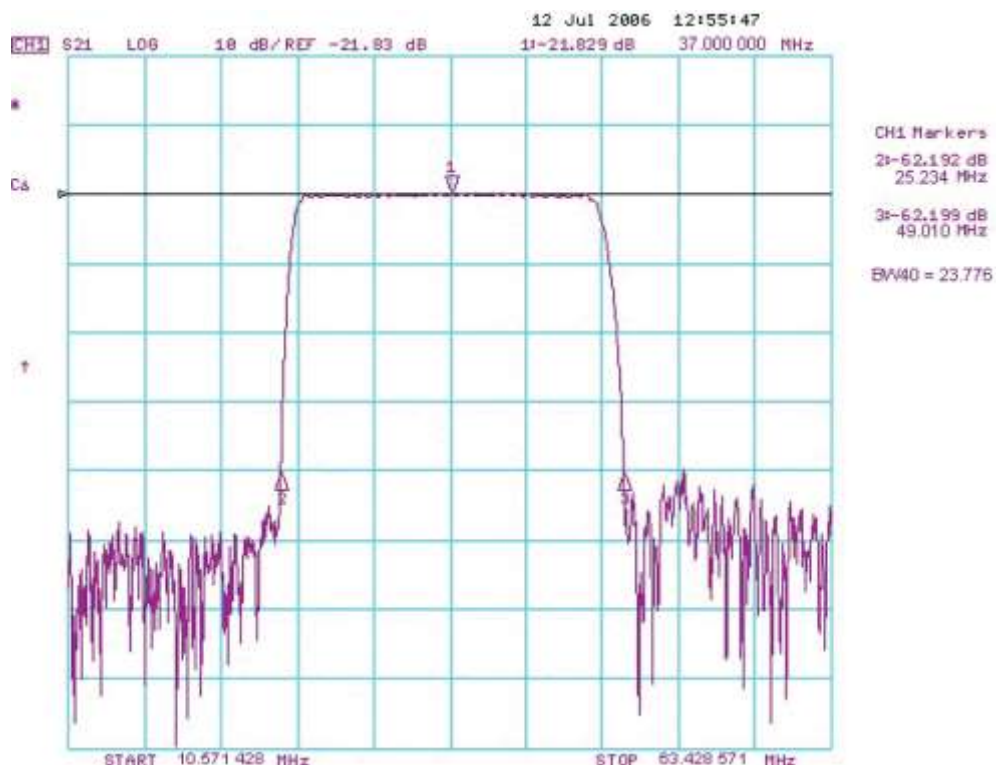


Рисунок 4. Диапазон частот аналоговой части прибора

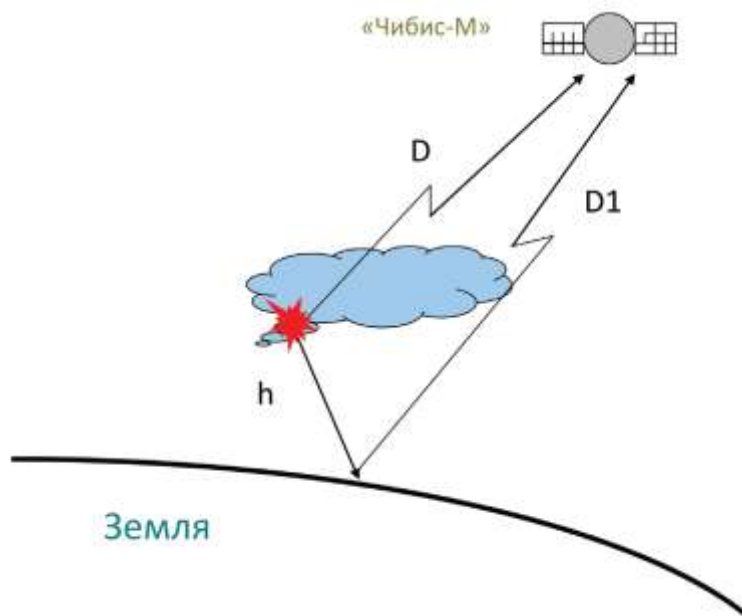


Рисунок 5. Радиоизлучение высотного разряда молнии.

Важной научной задачей, которую должен решать прибор РЧА, является определение высоты разряда. На рис. 5 изображена условная схема приема радиоизлучения молнии на борту микроспутника; показаны прямой **D** и отраженный **D1** лучи, попадающие на вход РЧА. Из схемы видно, что прием на борту отраженного сигнала позволяет оценить высоту **h** разрядов по его запаздыванию относительно прямого сигнала. При этом предполагается, что отраженный сигнал содержит значительную часть зеркальной компоненты, так как длина волны принимаемого излучения достаточно велика (6...12 м).

#### Детектора ультрафиолетового излучения – ДУФ.

Положительные результаты лабораторного макетирования позволили перейти к разработке прибора ДУФ [7], блок-схема которого приведена на рис. 6, отражающем его основные узлы:

- 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).

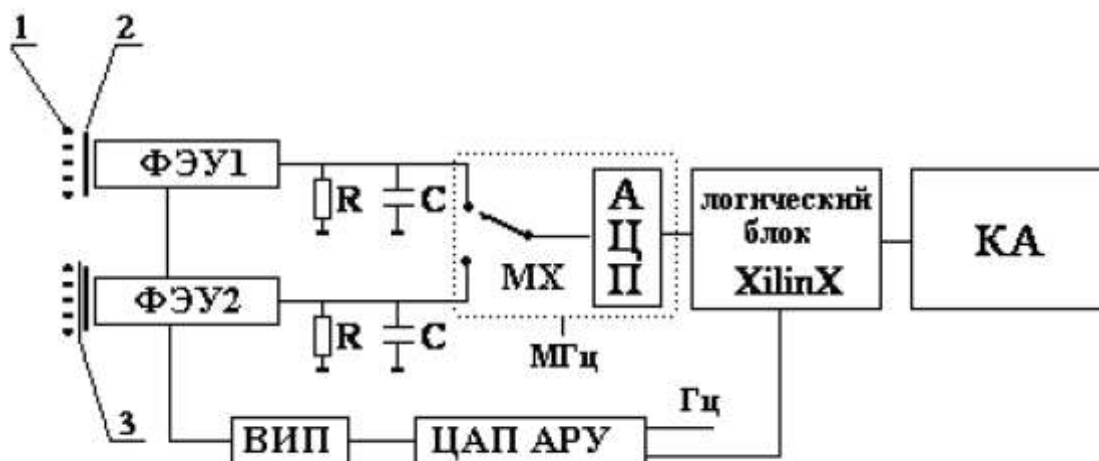


Рисунок 6. Схема ДУФ: 1- коллиматор; 2 - светофильтр УФС-1; 3 – светофильтр КС-3; ФЭУ-1 и ФЭУ-2 – фотоумножители; ВИП- плата питания ФЭУ; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ЦАП АРУ–цифро-аналоговый преобразователь системы автоматической регулировки усиления; КА – бортовые системы микроспутника

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 (180 ... 400 нм) и КС-3 в красном диапазоне (650 ... 800 нм), установленными на фотокатод ФЭУ. Область обзора ФЭУ ограничена мультиапертурным коллиматором  $\pm 10^0$ . 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  $\pm 10^0$  от оси блока.

Важной особенностью детектора является наличие системы автоматической регулировки усиления (АРУ), позволяющей регистрировать сигналы на дневной и ночной стороне Земли в широком диапазоне освещенности атмосферы. В буферную память ДУФ осуществляется непрерывная запись числа отсчетов от каждого детектор за 1с 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.

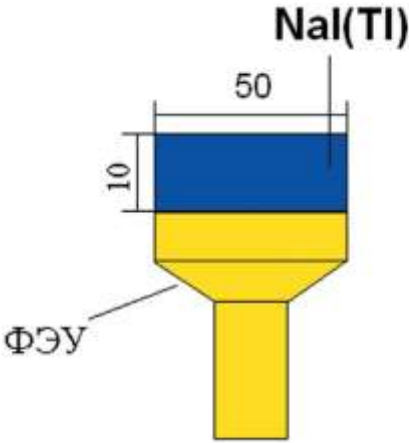
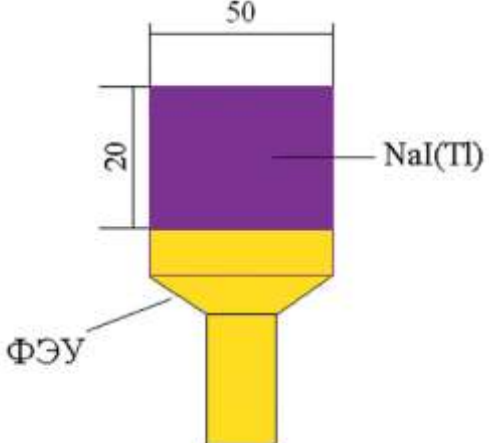
Детектор рентгеновского и гамма-излучения – РГД.

РГД предназначен для регистрации спорадических возрастаний (всплесков) (диапазон энергий фотонов 0,02...1,0 МэВ), которые могут генерироваться во время высотных атмосферных разрядов [8].

РГД содержит основные узлы:

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

Детектор состоит из четырех сцинтилляционных детекторов NaI(Tl) диаметром 5 см, при этом три из них имеют толщину 1 см, а один – 2 см (рис. 7). Как известно, кристалл NaI (Tl) обладает среди плотных неорганических сцинтилляторов максимальной конверсионной эффективностью и, соответственно, наилучшим световыходом при заданной конфигурации. Каждый из детекторов «просматривается» отдельным фотоумножителем (ФЭУ) типа «Хамамацу R1306». Суммарная эффективная площадь детекторов ~80 см<sup>2</sup> обеспечивает чувствительность к регистрации всплесков на уровне ~5·10<sup>-2</sup> фот/см<sup>2</sup>. 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 ( $\sigma$ ) при условии независимого превышения фонового уровня  $>2,5\sigma$  не менее чем в двух детекторах.

	
<p>Рисунок 7а. Схема детектора жесткого рентгеновского и гамма-излучения</p>	<p>Рисунок 7б. Схема детекторного узла гамма-спектрометра</p>

Поскольку в рассматриваемом диапазоне энергий (0,05... 0,5 МэВ) вклад фотопоглощения является определяющим, при расчете эффективной площади детектора использовались значения полного коэффициента поглощения, 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 ожидаемого уровня фонового счета в рабочем диапазоне детектора (0,1...0,5 МэВ) использовалась модель фона гамма-квантов, построенная на основе данных измерений на орбитальной станции «*Mir*». 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, соответствующей жесткости геомагнитного обрезания  $R = 2,5 \text{ ГВ}$ . Согласно модели, спектры локального гамма-излучения и гамма-излучения атмосферы Земли можно аппроксимировать степенной функцией, а наведенного излучения - экспоненциальной. Из этого может быть получена оценка интенсивности  $I - 5 \text{ отсч/см}^2\text{с}$ . Ожидается, что интенсивность всплесков гамма-излучения от высотных разрядов составляет в диапазоне 0,1...0,5 МэВ  $\sim 100 \text{ фот/см}^2\text{с}$ . Поскольку длительность таких всплесков  $\sim 2...5 \text{ мс}$ , ожидаемое количество отсчетов за всплеск должно составить  $\sim 0,5 \text{ фот/см}^2$ . Полагая время накопления отсчетов равным ожидаемой длительности всплеска (например, 5 мс), можно получить, что с учетом сделанных оценок величины фонового счета в рабочем диапазоне энергий всплески гамма-излучения могут быть зарегистрированы на уровне статистической достоверности  $\sim 5$  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 регистрации по крайней мере 10 фотонов за всплеск при длительности события порядка 5 мс детектор должен обладать площадью не менее  $20 \text{ см}^2$ .

Для выбранных размеров кристаллов NaI(Tl) и с учетом того, что толщина слоя защиты не превышает 0,03 см (в эквиваленте алюминия), могут быть получены следующие оценки эффективной площади детектора при различных энергиях  $E_\gamma$  (для гамма-квантов, падающих перпендикулярно поверхности детектора):

$$\begin{aligned} E_\gamma = 50 \text{ кэВ}, S &\sim 15 \text{ см}^2; \\ E_\gamma = 100 \text{ кэВ}, S &\sim 20 \text{ см}^2; \\ E_\gamma = 200 \text{ кэВ}, S &\sim 20 \text{ см}^2; \\ E_\gamma = 500 \text{ кэВ}, S &\sim 15 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Для оценки чувствительности к регистрации гамма-всплесков введена величина  $I_{\min}$ , равная минимальному регистрируемому количеству отсчетов за всплеск.

$$I_{\min} = n (I \Delta T S - 1)^{1/2}$$

где  $I$  — фоновый поток гамма-квантов;  $\Delta T$  — время накопления отсчетов;  $S$  — эффективная площадь детектор;  $n$  — выбранное количество стандартных отклонений.

Как видно, чувствительность в значительной степени определяется уровнем фона. Полагая время накопления отсчетов равным ожидаемой длительности всплеска (например, 5 мс), можно получить, что с учетом сделанных оценок величины фонового счета в рабочем диапазоне энергий всплески гамма-излучения могут быть зарегистрированы на уровне статистической достоверности  $\sim 5$  стандартных отклонений. Таким образом, РГД обеспечивает надежную регистрацию гамма-излучения от высотных разрядов в атмосфере.

Для надежного исключения имитации гамма-всплесков сильно ионизирующими частицами использовано три 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.

РГД может записывать энергетические спектры гамма-всплесков с разрешением, определяемым собственным энергетическим разрешением кристалла NaI(Tl) - ~10% на линии электрон-позитронной аннигиляции 511 кэВ. Таким образом, в РГД обеспечивается принципиальная возможность регистрации аннигиляционной линии, что позволяет получить информацию о рождении электрон-позитронных пар в процессе разряда.

Система сбора измерительной информации радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения детекторов, обеспечивающая субмикросекундное временное разрешение.

В систему сбора измерительной информации, кроме РЧА, РГД и ДУФ включен блок накопления данных БНД-Ч [9] и передатчик диапазона 2,2 ГГц (ПРД 2,2). Такая комплексность обусловлена тем, что фактом регистрации высотного разряда («события») служит выработка БНД-Ч единого «триггера события» на основе совпадения триггеров приборов: РГД, РЧА, ДУФ. Алгоритмы выработки этих триггеров изложены в статьях сборника [10]. Вся телеметрируемая научная информация, накапливаемая в БНД-Ч, передается с помощью ПРД2,2 [11] на создаваемый в ИКИ РАН наземный приёмный пункт, информационно-технические данные которого представлены в [11].

Приборы БНД-Ч, РГД, РЧА, ДУФ, ЦФК выделены в группу, выполняющую параллельную запись событий атмосферных разрядов. ПСА с комплексом различных датчиков (Рис. 1, ИМ — индукционный магнитометр, КВЗ — комбинированный волновой зонд (2 шт), БЭ ФМ — блок электроники и ДФМ — датчик феррозондового магнитометра) пассивно участвуя в исследованиях атмосферных разрядов, решает самостоятельную задачу исследования «космической погоды».

Прибор БНД-Ч.

Основным элементом БНД-Ч 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*).

Таблица 1.

№ п/п	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	ДА от РГД	ДА от РЧА	ДА от РЧА	Да, так же, как в «1а»	Один из приборов

	ведущего прибора	или ДУФ	или ДУФ	или РГД		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

Накопительная память состоит из двух блоков по 256 Мбайт. 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.

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.

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

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

БНД-Ч выдает 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) приборы сообщают БНД-Ч по информационно-командной шине о своей готовности к следующему циклу. Комплекс БНД-Ч выдает команду о начале следующего цикла.

Приборы комплекса сообщают БНД-Ч о заполнении буферов памяти.

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

Важным этапом отработки алгоритмической модели БНД-Ч является разработка программно-математического обеспечения программируемой матрицы Actel APA1000, содержащей 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).

На основе положительных результатов проведенных испытаний лабораторного макета БНД-Ч было разработано техническое задание на разработку прибора БНД-Ч, с помощью которого проведены отработочные испытания как БНД-Ч, так и всего КНА «Гроза», включающие отработку:

- алгоритмов регистрации событий каждым из приборов КНА «Гроза» и выработки ими Тп;
- алгоритмов выработки Тк в БНД-Ч и передачи его в приборы КНА «Гроза» при получении Тп от одного, двух или трёх приборов;
- бортовых телекоманд и управляющих кодовых массивов (УКМ), управляющих режимами работы, как отдельных приборов, так и всего КНА «Гроза»;
- формирования телеметрических массивов научной информации.

Режимы работы КНА «Гроза» в целом и каждого из приборов отрабатывались при испытаниях технологических и лётных комплектов приборов, в том числе и БНД-Ч, как автономно, с использованием контрольно-испытательной аппаратуры (КИА) КНА «Гроза», так и в составе технологического и лётного образцов микроспутника «Чибис-М».

Циклограммы и команды, реализующие алгоритмическую модель системы сбора измерительной информации (Приложение 4), отрабатывались на технологических и лётных образцах приборов РЧА, ДУФ и РГД, выдающих признак события Тпххх в БНД-Ч для выработки Тк.

Циклограмма автономных проверочных включений РЧА, реализующая его алгоритмическую модель, приведена в Приложении 1. Циклограмма реализуется с помощью УКМ, поступающих от БНД-Ч и от КИА БНД-Ч.

#### Назначения УКМ прибора РЧА:

- УКМ 00 - установка исходного состояния РЧА.
- УКМ 01 - проверка состояния флэш-памяти.
- УКМ 02 - установка новых состояний.
- УКМ 03 - проверка статуса памяти. Фактически эта команда проверяет состояние памяти, сколько занято и сколько свободно, и эти данные вставляет в телеметрию.
- УКМ 04 - проверка порогов срабатывания компараторов при различных значениях усиления.
- УКМ 06 - формирование флэш-памяти, т.е. фактически очистка данных во флэш-памяти. Эта команда нужна иногда для того, чтобы очистить память от ненужной информации, которая могла остаться от предыдущего сеанса работы.
- УКМ 07 – включение – выключение электропитания РЧА.

В ходе проверок устанавливались:

“Amplifier level (RG1), mv”, уровень усиления прибора - значение задается в милливольтмах - 1200 mV (УКМ 00); 1300 mV (УКМ 02);

“Threshold level (RG2), mv”, уровень порога компараторов - значение задается в милливольтмах - 2000 (УКМ 00); 2200 (УКМ 02);

“Input ADC (ON1)” - переключение входов АЦП прибора. Возможные значения: “HF” – высокочастотный (УКМ 00), “quadrature” – квадратурный.



“Adjustment (ON2)”, выбор АРУ прибора. Возможные значения: “simply” – без АРУ (УКМ 00), “AGC ” – с АРУ;

“Threshold adjust (ON3)”, регулировка порогов компараторов прибора. Возможные значения: “simply” – без АРУ (УКМ 00), “AGC ” – с АРУ;

“Standby (ON/OFF)”, перевод прибора в режим энергосбережения. Возможные значения: “ON” – энергосберегающий режим (УКМ 00), “OFF” – штатный режим работы (УКМ 07);

“ADC clock (96/48), MHz”, выбор частоты преобразования АЦП прибора. Возможные значения: “48 MHz” – 48 мегагерц, “96 MHz ” – 96 мегагерц (УКМ 00);

“Event time, ms”, временной интервал события. Значение задается в миллисекундах. При значении ”0” РЧА на события не реагирует, ”1” (УКМ 00), ”5” (УКМ 02);

“Number of criteria”, выбор количества критериев по которым будет фиксироваться событие. Максимальное число критериев 5. При значении ”0” РЧА реагирует только на событие от БНД-Ч, ”3” (УКМ 00);

“AD7920 period, ms”, период оцифровки АЦП AD7920. Значение задается в миллисекундах. При значении “0” - АЦП отключается (УКМ 00), ”500” (УКМ 02).. При работе через СОМ порт период не должен быть ниже 1000мс.

В результате проведенных отработочных испытаний на лабораторных моделях, технологических и лётных образцах РЧА, определены основные физические параметры радиоизлучений, которые планируется зарегистрировать в ходе проведения на МС «Чибис-М» ионосферных исследований физических механизмов электрических разрядов в атмосфере.

В частности, определен уровень эфирных электромагнитных шумов в лабораторных условиях. Этот уровень соответствует уровню промышленных шумов в диапазоне 20-50 МГц. Для определения собственного уровня шумов РЧА участники проекта планируют провести в 2011 тарировку РЧА в специализированной электромагнитной камере ИКИ РАН.

Тарировка измеряемых физических параметров РЧА осуществлялась с помощью специально разработанной участниками проекта контрольно-испытательной аппаратуры (КИА РЧА), имитирующей сигналы (события) на входе прибора. Проведенные тарировки свидетельствует, что временное разрешение  $\sim 10$ нс соответствует требованиям, поставленным в космическом эксперименте по ионосферным исследованиям физических механизмов электрических разрядов в атмосфере.

В частности, определен уровень эфирных электромагнитных шумов в лабораторных условиях (рис. 8). Этот уровень соответствует уровню промышленных шумов в диапазоне 20-50 МГц (см. рис. 2). Для определения собственного уровня шумов РЧА участники проекта планируют провести в 2011 тарировку РЧА в специализированной электромагнитной камере ИКИ РАН.

Тарировка измеряемых физических параметров РЧА осуществлялась с помощью специально разработанной участниками проекта контрольно-испытательной аппаратуры (КИА РЧА), имитирующей сигналы (события) на входе прибора (входной усилитель LNA Рис. 3). Приведенный на Рис. 9 график зависимости напряжения на входе быстрого АЦП РЧА при имитации события (от КИА РЧА) свидетельствует, что временное разрешение  $\sim 10$  нс соответствует требованиям, поставленным в космическом эксперименте по ионосферным исследованиям физических механизмов электрических разрядов в атмосфере. Отсчет времени на Рис. 9 (общее время регистрации  $\sim 100$  мкс) идет в обратном порядке (так как считывается из кольцевой памяти РЧА) т.е. сначала был

собственный шум, затем по приходу имитации события сигнал дал резкий рост амплитуды.

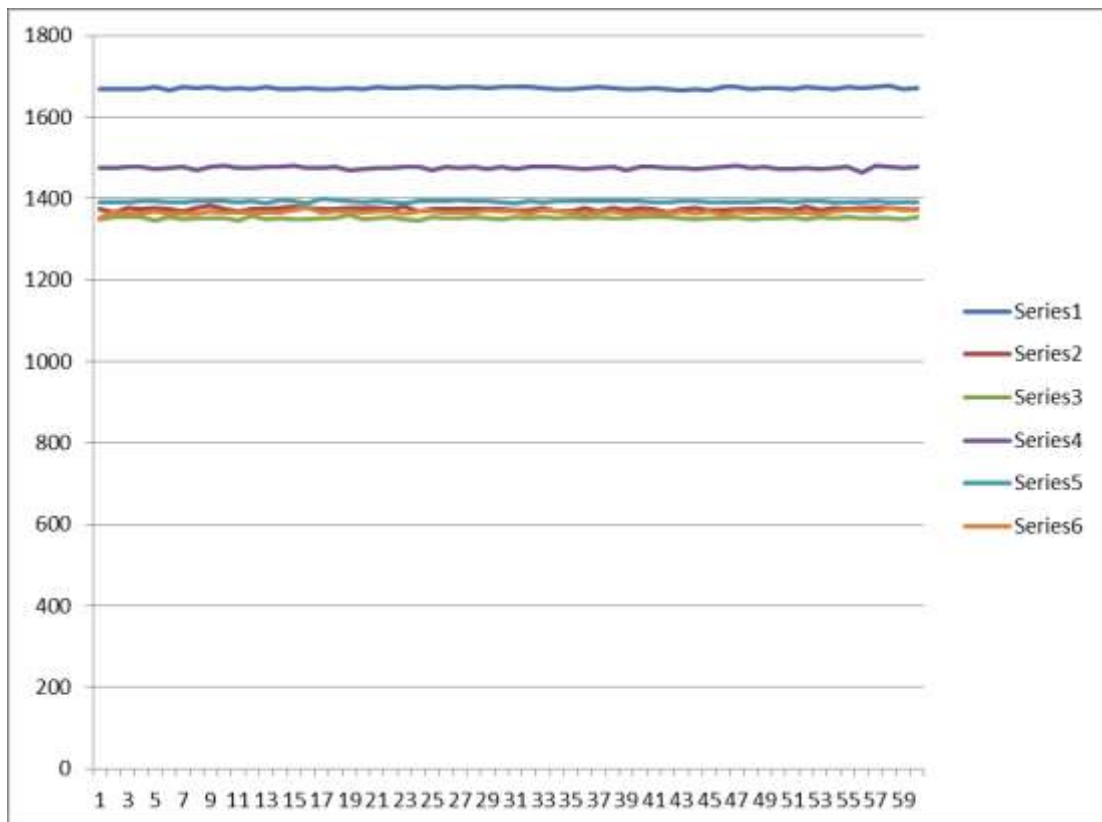


Рисунок 8. График зависимости уровня шумов 5-ти квадратичных детекторов и общий уровень - линия 6 (оцифровка раз в секунду). По оси Y – уровень сигнала по каждому из шести каналов, мВ. По оси X – время в секундах.

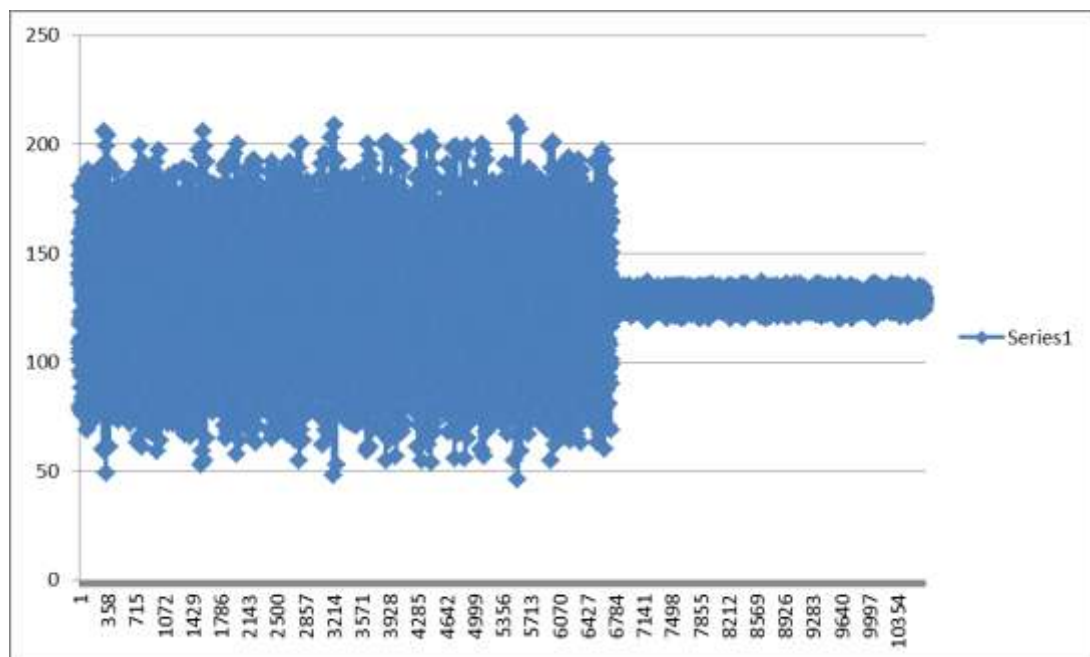


Рисунок 9. График зависимости напряжения на входе быстрого АЦП РЧА при имитации события. По оси абсцисс – напряжение на входе быстрого АЦП в единицах разряда ( 1 разряд – 4мВ). По оси ординат – время с периодом 10,4 нс, обратный отсчет времени.

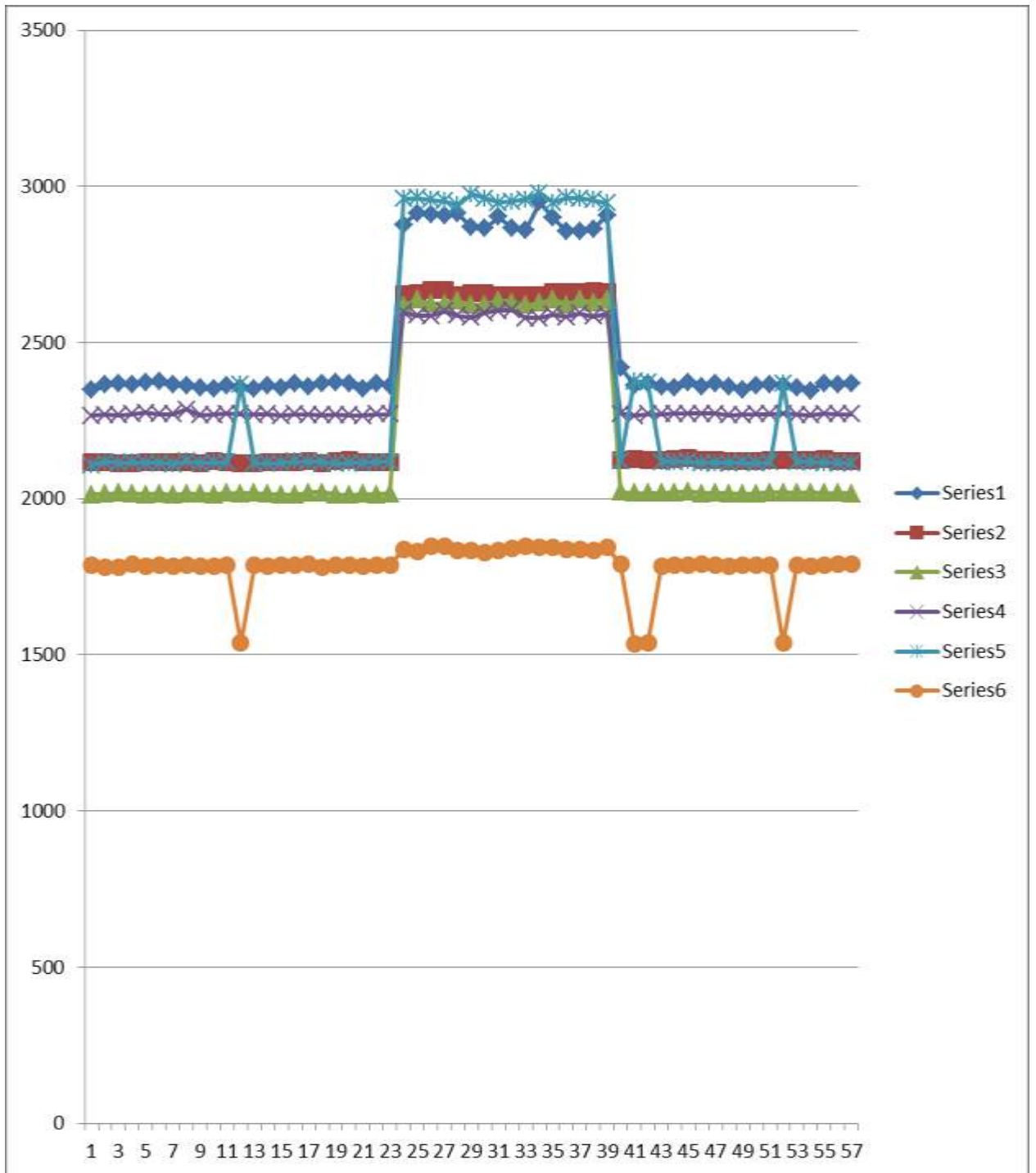


Рисунок 10. График зависимости уровня шумов 5-ти квадратичных детекторов и общий уровень - линия 6 (оцифровка раз в секунду) при различных уровнях затухания. По оси Y – уровень сигнала по каждому из шести каналов, мВ. По оси X – время в секундах.

На Рис. 10 - до примерно 23 секунды - представлено прохождение сигнала от КИА РЧА при установленном затухании имитатора 20 дБ, затем, примерно на 15 с, произведено переключение затухания на 0 дБ, после чего - снова затухание 20 дБ. На графике общий уровень приема ( линия 6) почти не изменился, т.к. детектор находился почти в режиме насыщения, 1 и 5 линии при затухании 0 дБ тоже практически в режиме насыщения. В реальной работе в ионосфере уровни будут намного ниже, но характер изменений уровня в зависимости от внешних факторов (шум галактики, шум приборов микроспутника) будет похожим.

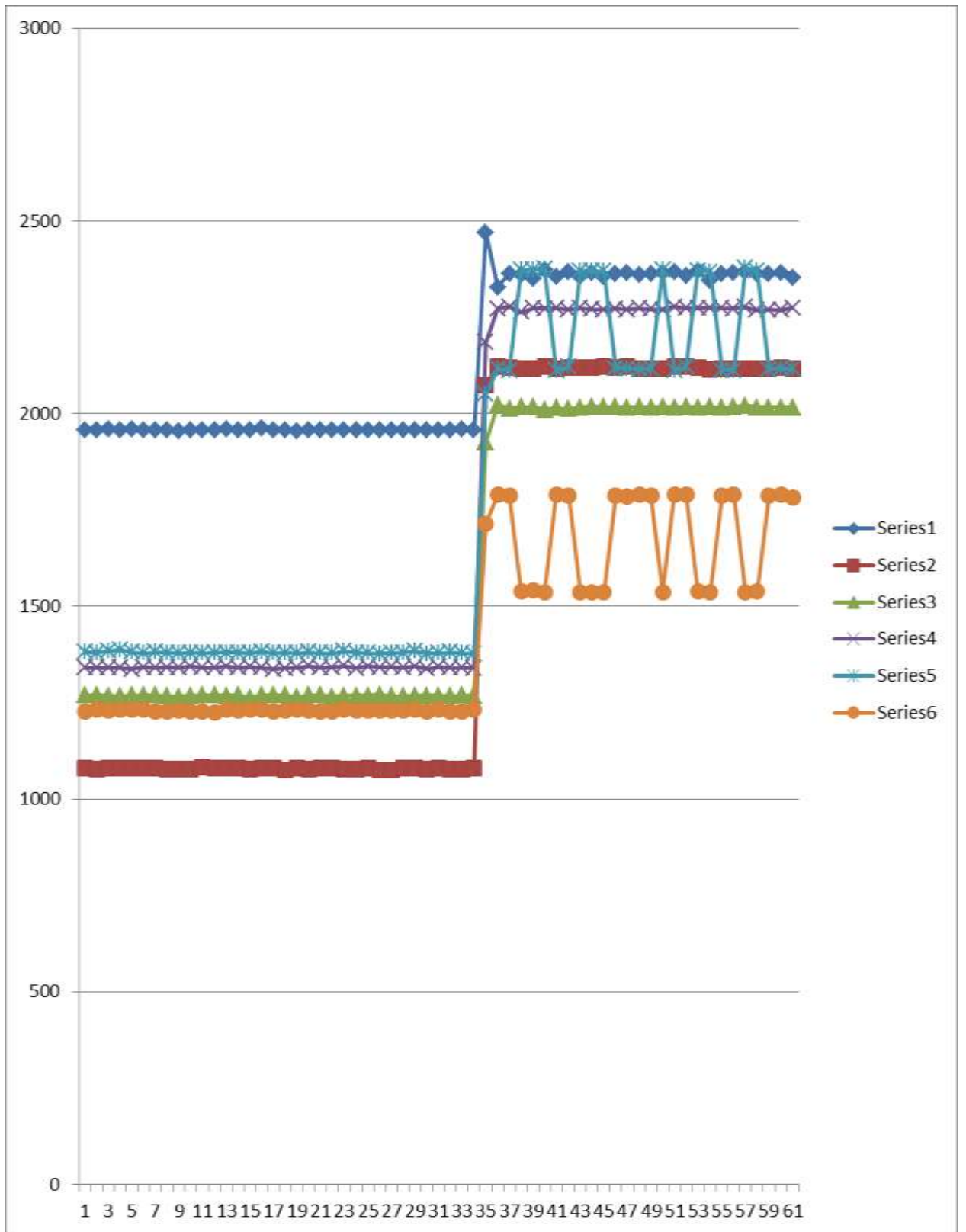


Рисунок 11. График зависимости уровня шумов 5-ти квадратичных детекторов и общий уровень - линия 6 (оцифровка раз в секунду) при различных уровнях затухания сигнала, подаваемого от КИА РЧА. По оси Y – уровень сигнала по каждому из шести каналов, мВ. По оси X – время в секундах.

На Рис. 11 - до примерно 35 секунды – представлен собственный шум прибора, затем – включение имитатора КИА РЧА с затуханием 20 дБ. Повышение уровня вызвано прохождением высокочастотного сигнала на выход имитатора.

### Датчик ультрафиолета ДУФ.

Циклограмма автономных проверочных включений ДУФ, реализующая его алгоритмическую модель, приведена в Приложении 2. Циклограммы реализуются также с помощью команд в бинарных кодах, поступающих от БНД-Ч и от КИА БНД-Ч.

Назначения бинарных команд прибора ДУФ - установка:

- 01 00 ДУФ\0100.bin - триггера от УФ с разрешением 1 мс и частотой 1раз/40с;
- 01 01 ДУФ\0101.bin - триггера от красного с разрешением 1 мс и частотой 1раз/40с;
- 01 02 ДУФ\0102.bin – триггера от УФ с разрешением 125 мс и частотой 1раз/40с;
- 01 03 ДУФ\0103.bin - триггера от красного с разрешением 125 мс и частотой 1раз/40с;
- 01 08 ДУФ\0108.bin - фиксированного порога по УФ, разрешение 1 мс;
- 01 09 ДУФ\0109.bin - фиксированного порога по красному, разрешение 1 мс;
- 01 0A ДУФ\010A.bin - фиксированного порога по УФ, разрешение 125 мкс;
- 01 0B ДУФ\010B.bin - фиксированного порога по красному, разрешение 125 мкс

Тестирование прибора ДУФ (Рис. 12) проводилось с использованием КИА ДУФ. В частности, при тестировании с помощью светодиода, с соответствующей входному фотоумножителю (ФЭУ1 и ФЭУ2, рис. 6) полосой излучения. подтверждено микросекундное разрешение фронта нарастания события. При тестировании обычным освещением люминисцентных ламп частота мигания которых 100Гц показано (на сегодня это наиболее точный и доступный метод, полностью оправдавший себя на спутниках ТАТЬЯНА-1 и ТАТЬЯНА-2), что осциллограммы регистрируемые с разным временным разрешением: 128 мксек и 1 мсек при небольшом изменении сигнала, отличаются всего несколько каналов АЦП.

### Рентген-гамма детектор РГД.

Циклограмма автономных проверочных включений РГД, реализующая его алгоритмическую модель, приведена в Приложении 3. Циклограммы реализуются также с помощью команд в бинарных кодах, поступающих от БНД-Ч и от КИА БНД-Ч.

Назначения бинарных команд РГД - установка:

- 02 01 00 РГД\020100.bin - низкого порога в канале 1;
- 02 00 01 00 РГД\02000100.bin - низкого порога в канале 2;
- 02 00 00 01 00 РГД\0200000100.bin - низкого порога в канале 3;
- 02 00 00 00 0100 РГД\020000000100.bin - низкого порога в канале 4;
- 03 00 РГД\0300.bin - длительности события, равной 5 мс;

Тестирование прибора РГД проводилось с использованием КИА РГД, в котором использовался радиоактивный источник, имитирующий поток гамма-квантов от высотного атмосферного грозового разряда.

При регистрации гамма-кванта соответствующим детектором в каждом тракте на выходе ФЭУ появлялся сигнал отрицательной полярности длительностью ~2 мкс, амплитуда которого пропорциональна энергии регистрируемого кванта. Для выделения сигнала регистрации гамма-кванта выходной сигнал ФЭУ в каждом тракте оцифровывался с

разрешением 200 нс. При этом методом скольжения по 8 последовательным цифровым значениям определялась средняя величина сигнала (то есть по сути средняя амплитуда сигнала за время 1.6 мкс, примерно соответствующего длительности импульса ФЭУ в случае регистрации гамма-кванта). Критерием регистрации гамма-кванта было превышение средней амплитудой некоторого порогового уровня, величина которого в каждом тракте устанавливалась по командам. При этом значения порогового уровня определяли минимальную энергию регистрируемого кванта. В исходном состоянии во всех трактах устанавливалось пороговое значение, соответствующее энергии гамма-кванта 20 кэВ. Число превышений порогового уровня в каждом тракте измеряется за интервал времени  $\sim 1$  с и записывается в буферной памяти прибора. Таким образом (рис. 13), осуществляется запись фоновых показаний прибора, т.е. в 4-х трактах осуществляется непрерывное измерение интегрального счета за 1 с гамма-квантов с энергией превышающей пороговое значение. В ходе выполнения циклограммы на прибор подавались команды, устанавливающие в каждом тракте максимальный возможный порог регистрации ( $\sim 100$  кэВ). При этом естественно интегральный счет за 1 с должен был уменьшаться.

Тестирование прибора РГД (Рис. 13) проводилось с использованием КИА РГД, в котором использовался радиоактивный источник, имитирующий поток гамма-квантов от высотного атмосферного грозового разряда.

Кроме фоновых измерений в приборе осуществлялся непрерывный анализ выходных показаний ФЭУ с целью выработки триггера прибора. Для этого текущие значения амплитуд регистрируемых сигналов ФЭУ (т.е. по сути значения энергии регистрируемых квантов) и соответствующие значения времени записываются во внутреннюю «кольцевую» память прибора (емкостью 256 событий в каждом тракте). При этом осуществляется непрерывное измерение суммарного во всех трактах числа регистрируемых квантов за интервал времени 5 мс. Критерием триггера прибора является превышение текущего счета за 5-мс интервал среднего уровня, определяемого по 20 предыдущим 5 мс. В этот момент вырабатывался интервалом, на величину, равную примерно 4.5 триггер прибора ( $T_{\text{РГД}}$ ) – прямоугольный импульс длительностью 1 мкс. После подтверждения  $T_{\text{п}}$  в блоке БНД-Ч фиксировалось содержимое кольцевой памяти таким образом, что половина ее отводилась на запись предыстории (т.е. 128 квантов в каждом тракте), а во второй половине оказывались записаны кванты во время события и после него, но не более, чем в течение интервала времени равного  $\sim 4$  с. В случае выработки  $T_{\text{РГД}}$  содержание кольцевой памяти привязывалось к текущему файлу с данными фоновых измерений и передавалось в БНД-Ч.

Следует отметить, что аналогичным образом содержимое кольцевой памяти может фиксироваться по назначенному от другого прибора (РЧА или ДУФ) внешнему триггеру, поступающему в блок РГД из блока БНД-Ч, а также в случае выработки триггера события. Последний вырабатывается в случае совпадения триггеров приборов от нескольких приборов. Длительность интервала совпадений устанавливается в блоке БНД-Ч по командам с Земли.

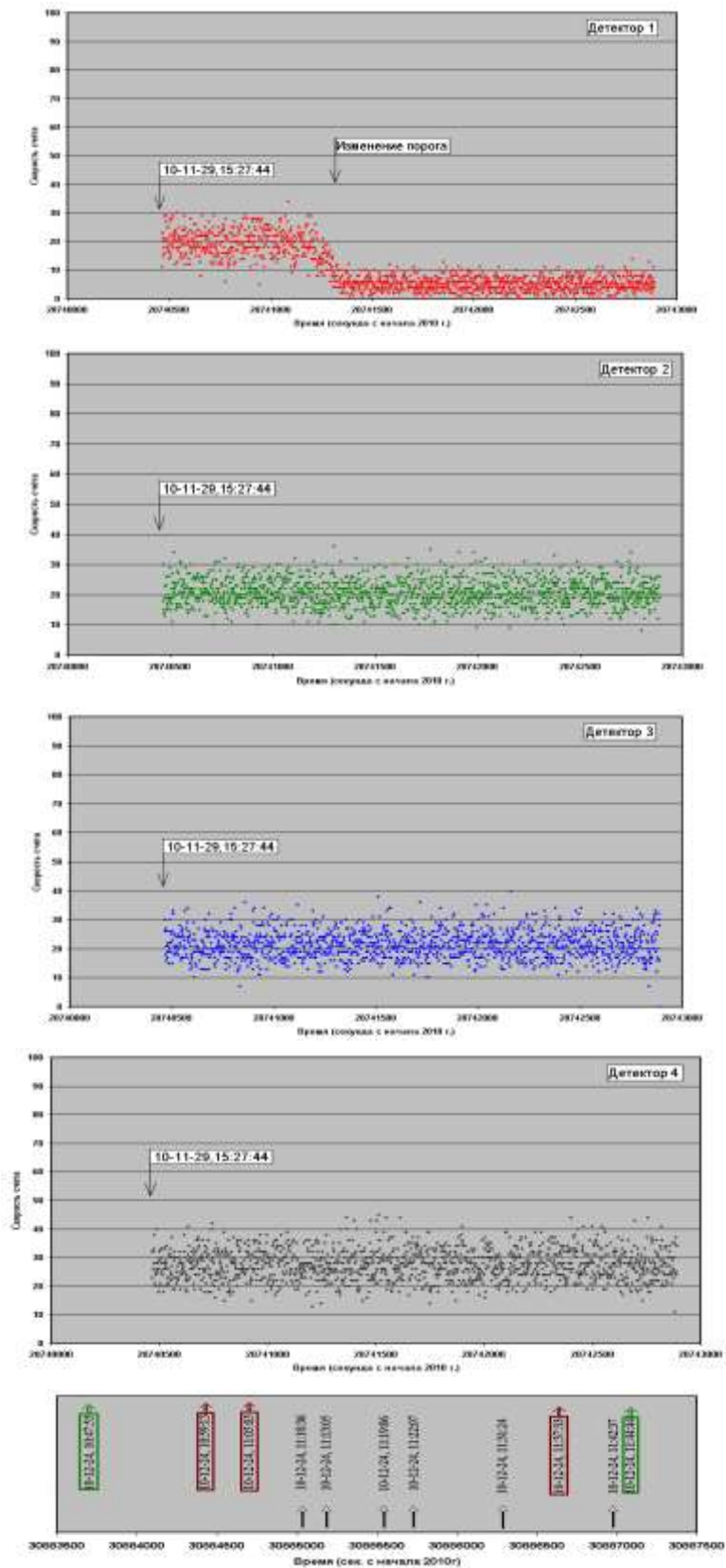


Рисунок 13 – Приложение 5. Прибор РГД. Счет количества гамма-квантов по четырём детекторам в последовательных друг за другом интервалах (1.6 секунды). Указанные внизу зеленые прямоугольники со стрелками указывают временной диапазон испытаний (циклограммы) в секундах; красные прямоугольники со стрелками указывают время смены порогов детекторов РГД; времена перехода РГД на режим измерения всплесков указаны без прямоугольников.

КНА «Гроза».

Исследуемый в данном проекте комплекс научной аппаратуры для микроспутника «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.

Работа КНА «Гроза» по фиксации высотного атмосферного грозового разряда сведена к трем режимам, приведенным в Таблице 2. Настройка режимов приборов РЧА, РГД, ДУФ, ЦФК и БНД-Ч производится до начала сеанса записи (эксперимента) по информационной магистрали CAN.

Таблица 2.

	<b>Условия фиксации события</b>	<b>Примерительно к:</b>				<b>Пояснения</b>
		<b>РЧА</b>	<b>РГД</b>	<b>ДУФ</b>	<b>ЦФК</b>	
<b>1) Автономная работа приборов. Срабатывание от собственного триггера</b>						
1а)	Прибор самостоятельно (через БНД-Ч) фиксирует собственное событие	Да	Да	Да	Нет, используется ТП любого другого прибора	Прибор выдает ТП в БНД, а БНД возвращает его только данному прибору в виде ТК
<b>2) Фиксация события от других приборов</b>						
2а)	Фиксация от ТП ведущего прибора	Да, от РГД или ДУФ	Да, от РЧА или ДУФ?	Да, от РЧА или РГД	Да, так 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) в разной комбинации от трех приборов	Ведомый прибор только ЦФК

Алгоритм работы комплекса при фиксации событий:

1. Триггер комплекса (Тк) должен вырабатываться системой сбора (БНД-Ч) при



определенных условиях, в зависимости от режима (см. Таблица 1, [9]).

2. Строб-импульс, вырабатываемый прибором (в том числе и БНД) для задания другим приборам условия совпадения событий (СТ) должен вырабатываться БНД-Ч в ответ на Тп. В режимах 1а), 2а) Таблицы 1, СТ не вырабатывается.

3. В режиме 2б) Тк должен вырабатываться сразу, как только стробы перекрываются. В режиме 1а), 2а) Таблицы 1, Тк вырабатывается сразу по приходу Тп (триггер прибора импульс – вырабатываемый каждым из приборов РЧА, РГД и ДУФ по некоторым условиям, например по собственному событию или по совпадению событий (стробов от событий), задержка около 1 мкс.

4. Длительности Тп и Тк фиксированные и должны быть равны  $1 \pm 0,2$  мкс.

5. Каждый прибор должен фиксировать событие, записывая информацию в своей кольцевой памяти (КП) при условии:

- событие произошло;
- прибор выработал Тп и выдал его в БНД-Ч;
- БНД-Ч выдал Тк при определенных условиях;
- прибор получил Тк и зафиксировал КП.

6. Условия выработки Тк должны быть следующие:

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

7. После фиксации события прибор должен приостановить реагирование на Тп от приборов. В течении этого времени (Тв) должно производиться окончание самых длительных событий, а затем перезапись информации в буферную память. Время выдержки должно устанавливаться при настройке режима БНД-Ч.

8. БНД-Ч принимает решение об окончании цикла фиксации событий и разрешается прием Тп приборов.

Циклограммы отработки алгоритмов КНА «Гроза» по фиксации событий (Таблица 1), приведенные в Приложении 4, содержат:

- автономный режим работы приборов;
- режим выработки признака события одним прибором;
- режим выработки признака события 2-3 приборами.

На основе этих циклограмм в 2011 г. будет проведена отработка циклограмм работы КНА «Гроза» при реальных ионосферных исследованиях на МС «Чибис-М» физических механизмов электрических разрядов в атмосфере.

#### Разработка научно-методической программы реализации фундаментального космического эксперимента.

КНА «Гроза» ориентирован на проведение исследований физических процессов при высотных атмосферных грозовых разрядах на орбите микроспутника «Чибис-М» и должен решать следующие научные задачи:

- а) по изучению 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.

Диаграммы (примеры циклов) фиксации событий (таблица 1).



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 должно происходить перезаписывание 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 4-х детекторов должна 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 трех миллисекундному интервалу. Превышение количества 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 –  $3\sigma$  и менее, чем двух детекторах) является признаком события. Началом события будем считать момент начала 3 миллисекундного интервала, в котором было зарегистрировано превышение числа отсчетов. При этом содержимое кольцевой

памяти в интервале от 5 мс до начала события и в течение 15 мс после начала события переписывается в буферную память прибора.

В момент начала события также должен вырабатываться строб длительностью 20 мс, который поступает в блок команд и управления (БКУ) спутника. В случае совпадения этого stroba с аналогичным стробом, вырабатываемым прибором РЧА БКУ спутника выдает триггерный сигнал, запускающий фотокамеру. События считаются независимыми, т.е. соответствующие показания записываются из кольцевой памяти в буферную как независимые последовательности, если интервал между их началом больше 10 мс. В противном случае они записываются как одно событие. При заполнении буферной памяти прибора в БКУ выставляется запрос на считывание, по которому содержимое буферной памяти переписывается в БКУ для передачи на Землю. После окончания переписывания данных из прибора в БКУ содержимое буферной памяти обнуляется и она готова к записи последующего набора данных.

Следует предусмотреть дополнительный режим записи показаний из буферной памяти в кольцевую – не по внутреннему триггеру прибора, а по внешнему – от триггера (stroba) события другого прибора (РЧА или ДУФ). Такой режим записи по принципу «ИЛИ» (и от внутреннего, и от внешнего триггера) устанавливается по команде с Земли. При этом должна быть предусмотрена возможность запуска каждого из приборов РЧА, РГД, ДУФ внешним триггером любого из двух остальных приборов этого списка.

В случае переполнения памяти БКУ между сеансами сброса информации на Землю следует предусмотреть возможность приоритетной записи, признаком которой является наличие триггера от двух приборов – РГД и РЧА

#### Расчёт траекторно-баллистических параметров орбиты КА, максимально обеспечивающей проведение фундаментального космического эксперимента.

Задачи баллистического обеспечения проекта с учетом технических ограничений на аппарат и состава научных экспериментов, планируемых на борту микроспутника, делятся на две большие группы [27]:

- проектную часть,
- группу планирования и управления непосредственно в полете.

В первой части основное внимание должно уделяться проблемам, влияющим на проектный облик КА, 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 КА; 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. Краткое описание функций, выполняемых этими сегментами, и представлен список минимальных требований к характеристикам математических программ на борту и на наземных станциях и их интерфейсам приведено в [27]. Отдельно показана роль орбитальных расчетов для реализации планируемого определения ориентации аппарата и управления движением около центра масс.

Для реализации планируемого определения ориентации аппарата и управления движением около центра масс разработано техническое задание на опытно -

конструкторскую работу (ОКР) «Разработка и создание системы ориентации с стабилизации малого космического аппарата». Целью ОКР является создание системы ориентации и стабилизации (СОС), которая должна непрерывно работать в составе систем малого космического аппарата (МКА) в течение не менее 3 лет. СОС в составе МКА должна работать на околоземной орбите высотой в диапазоне высот от 500 до 800 км с наклонениями от  $50^\circ$  до  $98^\circ$  без коррекции орбиты после выведения.

СОС должна:

- содержать систему ориентации, формирующую орбитальную приборную систему координат (ОСК);
- измерять углы МКА относительно построенной системы координат;
- обеспечивать систему угловой стабилизации, удерживающую связанные оси МКА относительно построенной системы координат.

СОС предназначена для функционирования в составе МКА и решения следующих задач:

- демпфирование угловых скоростей МКА и приведения в заданную систему координат после его выведения на рабочую орбиту и отделения от средства выведения;
- ориентация и угловая стабилизация МКА в течение заданного времени в орбитальной системе координат при выполнении целевых работ;
- обеспечение ориентации нормали к поверхности солнечных панелей (СБ) на Солнце;
- автономное, а также по командам наземного комплекса управления, восстановление орбитальной ориентации в случае нештатной работы системы или её нарушения;
- формирования и выдачи информации об угловом положении МКА относительно орбитальной системы координат (СК) для передачи её бортовым потребителям, а также по телеметрии на наземный пункт приёма и обработки этой информации.

СОС должна обеспечивать следующие режимы работы МКА:

- демпфирования угловой скорости вращения МКА вокруг центра масс после отделения от средств выведения, а также в случае нештатной ситуации;
- захвата/восстановления ориентации, т.е. перевод МКА из неориентированного положения к ориентации в орбитальной СК после завершения режима демпфирования его угловой скорости;
- режим заряда батарей МКА - ориентации нормали к поверхности солнечных панелей (СБ) на Солнце;
- рабочий режим: точная 3-хосная ориентация МКА в орбитальной СК таким образом, что оси связанной с МКА СК совпадают с одноименными осями орбитальной СК;
- режим ориентации в заданном направлении в инерциальной СК, используемый в частности, для ориентации нормалей к поверхностям солнечных батарей в направлении на Солнце.

Точностные требования к режимам ориентации.

А). Режим демпфирования угловой скорости.

Угловая скорость вращения связанной с МКА СК относительно инерциальной СК:

- начальная, до  $6^\circ/\text{с}$ ;
- конечная, не более:  $0.2^\circ/\text{с}$ ;
- время успокоения: до 50 час.

Б). Режим захвата/восстановления ориентации

Ориентация связанной с МКА СК относительно орбитальной СК:

- начальная: произвольная;

- конечная: оси связанной СК совпадают с осями орбитальной СК с точностью не хуже  $5^\circ$ .

Угловая скорость вращения связанной с МКА СК относительно орбитальной СК:

- начальная: до  $0.5^\circ/\text{с}$ ;
- конечная: не более  $0.01^\circ/\text{с}$ ;

Максимальная длительность режима, в случае перевода в данный режим из режима демпфирования: до 1500 сек.

В). Рабочий режим

Погрешность ( $\sigma$ ) определения ориентации:

- на освещенном участке орбиты по трем осям:  $\leq 0.1^\circ$ ;
- на теневом участке орбиты по трем осям:  $\leq 0.5^\circ$ .

Погрешность ( $\sigma$ ) ориентации в установившемся режиме по трем осям:

- на освещенном участке орбиты  $\leq 2^\circ$ ;
- на теневом участке орбиты:  $\leq 7^\circ$ .

Погрешность ( $\sigma$ ) угловой стабилизации в установившемся режиме по скорости вращения связанной СК относительно орбитальной СК:

- на освещенном участке орбиты: не более  $0.01^\circ/\text{сек}$ ;
- на теневом участке орбиты: не более  $0.03^\circ/\text{сек}$ .

Г). Режим ориентации в заданном направлении.

Точность ориентации заданной оси связанной СК относительно осей инерциальной СК:

- на освещенном участке орбиты:  $\Delta \leq 5^\circ$ ;
- на теневом участке орбиты:  $\Delta \leq 10^\circ$ .

Максимальная длительность перехода в заданный режим должна составлять не более 1500 сек

Для успешного функционирования системы определения ориентации малого космического аппарата в условиях полёта необходимо произвести ряд наземных процедур, которые включают в себя проверку работоспособности датчиков определения ориентации, калибровку датчиков и испытания на макете системы управления и определения ориентации. У каждого датчика определения ориентации есть набор характеристик, которые необходимо знать для вычисления ориентации аппарата. Для каждого типа датчиков эти характеристики разные, но для датчиков одного вида они одинаковы. В настоящей работе использована методика калибровки [12] каждого типа датчиков для системы определения ориентации, состоящей из набора солнечных датчиков, трехосного магнитометра и трех одноосных датчиков угловой скорости. На основе этой методики проведена калибровка существующих датчиков для определения ориентации, которые будут установлены на микроспутник «Чибиc-М» [13].

СОС в составе МКА должна работать на околоземной орбите высотой в диапазоне высот от 500 до 800 км с наклонениями от  $50^\circ$  до  $98^\circ$  без коррекции орбиты после выведения.

В ходе выполнения работы рассмотрены возможности решения задач баллистического обеспечения в случае аварийных ситуаций. Определены 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. Специфика создания базовой конструкции и компоновки бортового комплекса аппаратуры МС «Чибиc-М» изложена в работе [13].

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

Состав и анализ аварийных и штатных режимов относятся к проектной части баллистического обеспечения миссии и имеют целью установить минимальный набор средств управления операциями, позволяющий решать задачи экспериментов на борту КА, 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.

Все вышеизложенные алгоритмические и технические требования отработаны как на лабораторном макете, так и в 2010 г. на лётном образце СОС. Эти отработки проводились как на специализированном наземном стенде в ИПМ им. М.В.Келдыша РАН [12], так и в ИКИ РАН в составе лётного образца микроспутника «Чибис-М».

Важной задачей СОС является обеспечение оптимальных условий электропитания эксперимента, обеспечиваемая солнечных батарей (СБ). Основной режим полета реализуется в так называемой орбитальной ориентации, когда одна ось МС направлена на центр Земли, вторая - ортогональная ей, лежит в плоскости орбиты и направлена в ту же сторону, что и орбитальная скорость. Плоскость СБ направлена так, что нормаль к ней совпадает с вектором от центра Земли к МС. Это принятый в настоящее время вариант.

Для оценки средней на витке мощности СБ используется приведенное время (рис. 14). Это время, в течение которого реально установленными на нашем спутнике батареями на витке вырабатывается та же энергия, что вырабатывалась бы СБ, нормаль к которым постоянно следила бы за Солнцем.

Рисунок 14. Приложение 6.

Этот основной вариант сравнивается с альтернативным, когда плоскости батарей отклонены от положения принятого варианта на 20 градусов к Земле.

О времени баллистического существования. В номинальном случае, когда ось X МС направлена по вектору скорости, начальная высота круговой орбиты равна 480 км, масса МС равна 40 кг, площадь миделева сечения равна 0.293 м<sup>2</sup>, время баллистического существования равно 504 дням. Если МС развернут в положение, соответствующее направлению оси Y по полету, (площадь миделева сечения 0.319), то время баллистического существования равно 463 дням, время баллистического существования в этом случае примерно на 10% меньше, чем в первом варианте, таким образом, более предпочтительном.

В аварийном и чисто гипотетическом случае (практически невероятном по динамике движения около центра масс), когда аппарат летит осью  $Z$  по вектору скорости, и площадь миделева сечения определяется площадью проекции солнечных батарей на плоскость, ортогональную оси  $Z$  ( $0.756 \text{ м}^2$ ), время баллистического существования равно 195 дням (суткам).

Приведенные результаты получены на базе использования модели атмосферы CIRA 1961, и соответствуют плотности атмосферы, приближающейся к среднему максимуму солнечной активности, т.е. следует ожидать времени существования не ниже указанного, даже в условиях ожидаемого разброса оценок. Методика оценок взята из монографии П.Е. Эльясберга "Введение в теорию полета искусственных спутников Земли". Наука, М., 1965.

Для обеспечения траекторно-баллистических параметров МС определены условия проведения экспериментов на борту аппарата и технические ограничения по запуску спутника на орбиту и выполнению операций управления. 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 (ЦФК), датчик ультрафиолетового излучения (ДУФ) и датчики рентгеновского излучения (РГД) должны быть направлены к центру Земли. Поле зрения каждого из этих двух приборов составляет примерно  $\pm 20^\circ$ . Прибор, работающий в радиодиапазоне (РЧА), специальных требований к ориентации не предъявляет.

#### Web-портал миссии «Чибис-М».

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, — экспериментаторы, 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. 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.

Следует отметить, что исходя из требований организации наиболее удобной и комфортной работы пользователей, все задачи миссии «Чибис-М» решены на одном портале, в единой информационной среде. Портал проекта «Чибис-М» находится по адресу <http://chibis.cosmos.ru>.

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.

Интернет-портал миссии Чибис-М предназначен для решения следующих задач:

- 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 миссии Чибис-М [10] и TARANIS [???] находятся на различных стадиях. Для миссии TARANIS французские коллеги в настоящее время разрабатывают научные задачи и формируют модельный состав научной аппаратуры.

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.

Для отработки системы обработки и хранения данных на портале использовалось командно-информационное программное обеспечение, протестированное во время автономных испытаний лётного комплекта КНА «Гроза» и лётного образца микроспутника «Чибис-М». На рис. 8-13 представлены примеры данных (находящихся на портале и доступных в настоящее время только для участников миссии), полученных по приборам РЧА, ДУФ, РГД во время отработочных испытаний.

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 разработан и поддерживается с помощью системы управления с открытыми исходными кодами Туро3 [28]. Такой выбор был сделан с учетом следующих предоставляемых этой системой возможностей:

- бесплатность;
- полная и актуальная документация;



- открытые коды – возможность доработки под собственные нужды;
- большое количество надстроек, многие из которых позволяют улучшить предоставляемые порталам возможности;
- большое сообщество пользователей, использующих данную систему, — возможность обмена мнениями для более эффективной работы;
- удобный интерфейс администрирования страниц и служб портала;
- большие возможности по расширению и масштабируемости.

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 [29-31], приобретает особую актуальность для таких проектов как «Чибис-М», поскольку в его реализации принимают участие представители нескольких географически разнесенных организаций [10].

Общая схема организации разделов портала представлена на рис. 15 [32]. 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.

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



Рисунок 15. Структурная схема портала «Чибис-М».

В зависимости от роли в проекте, зарегистрированным пользователям предоставляются различные возможности. Особые возможности различных групп представлены в таблице 1.

Таблица 1

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
Группа баллистики	- Загрузка журналов работы - 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 создавать 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.

#### Разработка теории разряда на убегающих электронах.

В ходе выполнения проекта отмечены некоторые продвижения в теории, с привлечением нового физического процесса – пробой на убегающих электронах (ПУЭ) [17, 18], который имеет низкий порог возбуждения, соответствующий наблюдаемым в грозовой атмосфере электрическим полям, и новых наблюдениях влияния космических лучей и ПУЭ на грозовые процессы в атмосфере. В результате исследований, проведенных на Тянь-Шаньской высокогорной (3340 – 4000 м над уровнем моря) научной станции космических лучей ФИАН (ТШВНС), показано [18, 33, 34], что развитие активной фазы грозового разряда – предварительный пробой, инициация лидера, движение лидера вплоть до момента возвратного удара – полностью диктуется процессом сбирания электрического заряда с облаков. В исследованиях обнаружено, что этот процесс сопровождается мощными коррелированными потоками гамма- и радио-излучения, создаваемых ПУЭ.

#### **Степень новизны полученных результатов.**

Разработка космического эксперимента, оснащенного специальным комплексом научной аппаратуры (КНА «Гроза») и ориентированного на исследования высотных грозовых разрядов, является уникальным проектом по количеству и скорости измеряемых одновременно параметров. Подобный проект до настоящего времени нигде в мире не

проводился, несмотря на возрастающий интерес к проблеме происхождения и механизма разрядов в верхних слоях атмосферы.

Рассмотренный подход к исследованию процессов в атмосферных грозовых 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. Грозовые 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.

Следует отметить, что при обеспечении финансирования, полный объём которого будет уточнён в ходе завершения 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.

Разработанная в ходе реализации проекта 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 космических аппаратов, так и научно-методической проблемой проведения фундаментальных космических исследований. Важным методическим фактором является то, что разработка проекта микроспутника «Чибис-М» началась с разработки модельного состава КНА и проводилась при поддержке проектов РФФИ по ориентированным фундаментальным исследованиям. Исполнители этих грантов — сотрудники ИКИ РАН, ФИАН, Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ).

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

### **Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем**

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 совещания рабочей группы Международного института космических наук (Берн, Швейцария) по теме CARNES (Coupling of Atmosphere Regions with Near-Earth Space):

- 26-30 января 2009 г. Klimov S. Onboard algorithm development for the determination of the sign of lightning discharge on the basis TGF's, TLE and NBP signals. Microsatellite "Chibis-M";
- 01-04 февраля 2010 г. Klimov S, Status of CHIBIS.

## **Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта**

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

- 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 [35-37]. 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.

### **Техническая реализация проекта «Чибис-М».**

Изготовлены технологические и лётные образцы приборов КНА «Гроза» (рис. 15) и проведен полный цикл наземных испытаний, предъявляемых к научной аппаратуре, устанавливаемой на космических аппаратах.



А).



Б).

Рисунок 15. Приборы КНА «Гроза». А). Верхний ряд, слева направо: ПСА, ПРД2.2, ДУФ. Нижний ряд, слева направо: РГД, МК: ИМ (слева вверх), КВЗ (слева вниз), ФМ-блок электрогитики (справа вверх), ДФМ-датчик ФМ (справа вниз). Б). БНД-Ч

Изготовлен микроспутник «Чибис-М» (рис. 16) с КНА «Гроза» (общий вес 40 кг.). В мировой практике космических исследований такой КА создается впервые. Вывод микроспутника «Чибис-М» на орбиту будет осуществлен с использованием

инфраструктуры Российского сегмента Международной космической станции от транспортного корабля (ТК) «Прогресс – М».

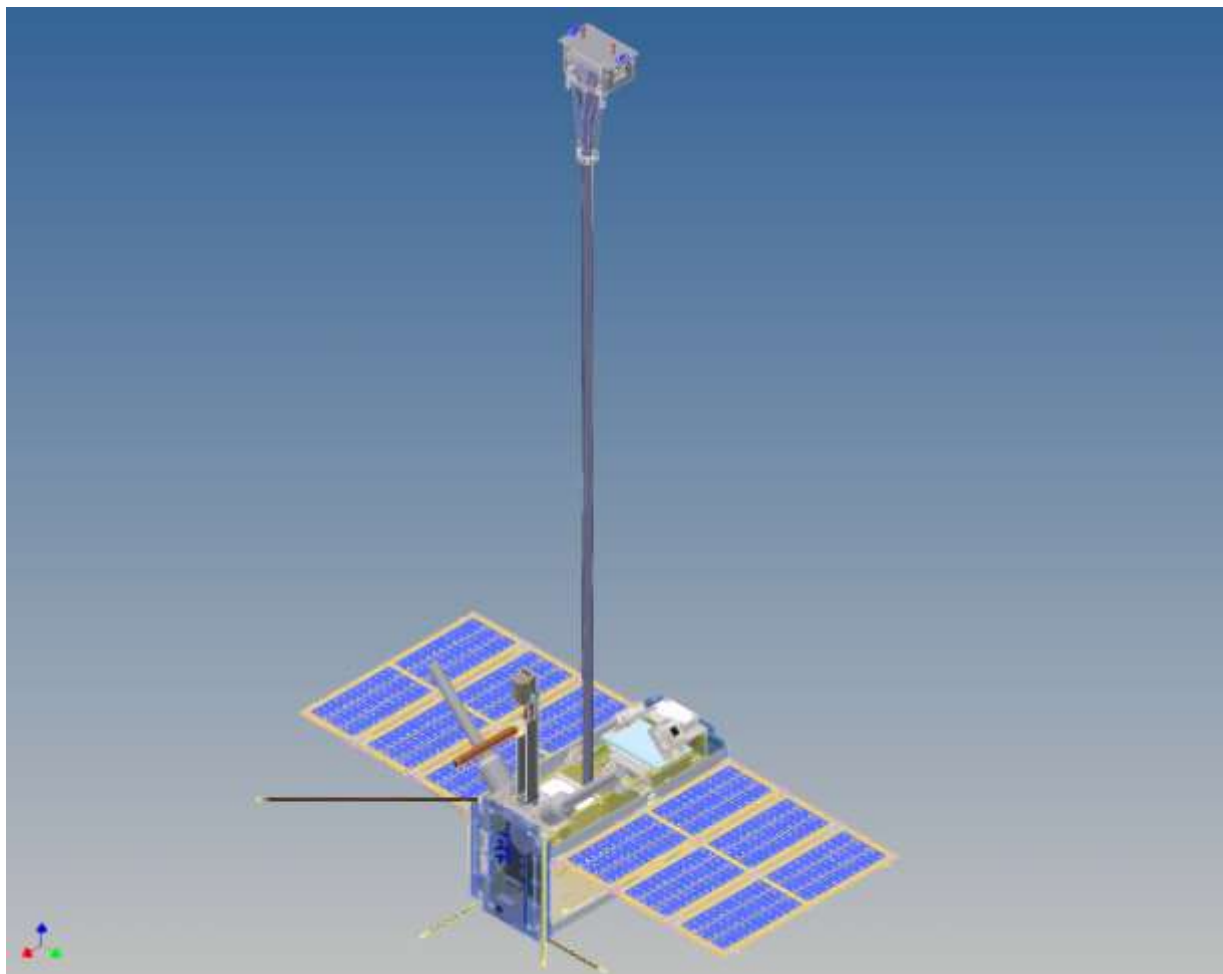


Рисунок 16. Общий вид микроспутника «Чибис-М» с раскрытыми гравитационной штангой датчиками МВК (ДФМ, ИМ, КВ31 и КВ32). Вид со стороны раскрытых солнечных панелей.

Проведен полный цикл наземных испытаний (рис. 17), предъявляемых к космическим аппаратам, работающим в инфраструктуре Российского сегмента Международной космической станции.



Рисунок 17. Стенд вертикального обезвешивания для имитации выхода МС «Чибис-М» из транспортно-пускового контейнера (цилиндр внизу, крепящийся на кольце, имитирующем верхний люк ТК «Прогресс-М»). СКБ КП ИКИ РАН (г. Таруса).

Для отладки и испытаний КНА «Гроза» разработана контрольно-испытательная аппаратура (КИА КНА) с замкнутым контуром проверок. Замкнутая проверка будет 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  $T_{сxxx}$  требуемую диаграмму событий;
- имитаторы событий (И) воздействуют на приборы;
- приборы вырабатывают  $T_p$  и принимают информацию по  $T_k$ ;
- 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).

Вышеприведенные алгоритмы были отработаны в ходе приёмо-сдаточных и комплексных испытаний КНА «Гроза» и лётного образца микроспутника «Чибис-М».

Реализуются организационно-технические мероприятия по управлению работой МС «Чибис-М» на орбите и приёму научной информации с использованием Центра управления ИКИ РАН (СКБ КП ИКИ РАН г. Таруса).

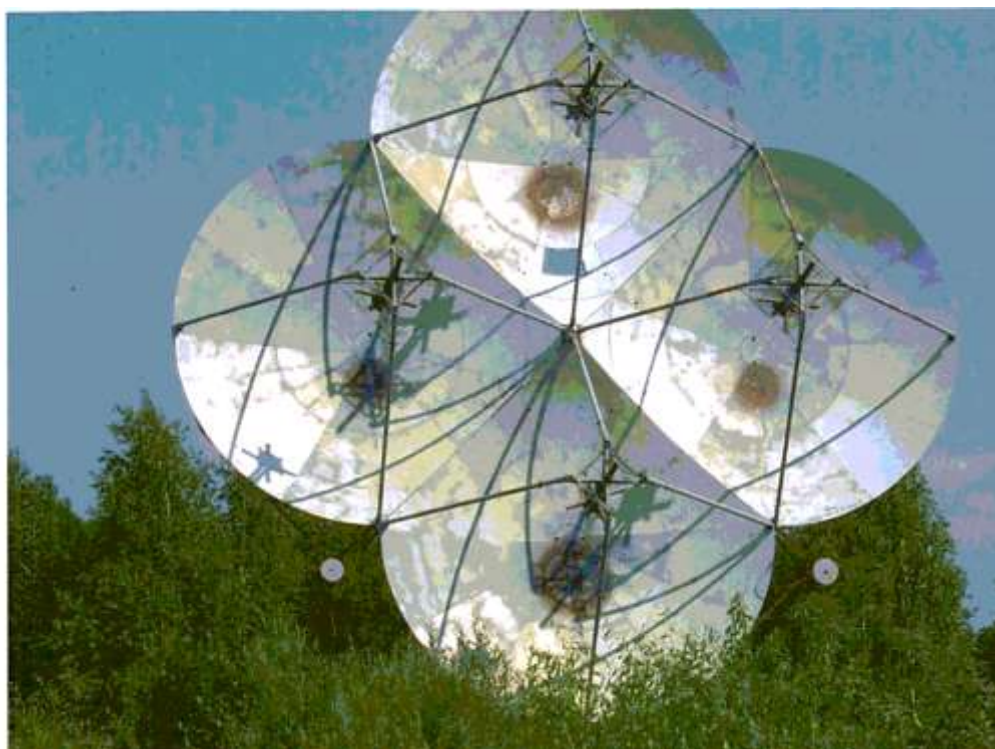


Рисунок 18. Антенна пункта приёма телеметрической информации ИКИ РАН (г. Таруса, СКБ КП ИКИ РАН).

#### Литература.

1. Gurevich, A.V., K.P. Zybin, Yu.V. Medvedev, "Runaway breakdown in strong electric field as a source of terrestrial gamma flashes and gamma bursts in lightning leader steps", *Phys. Lett. A* 361 (2007) 119 – 125.
2. Гуревич, А.В., Л.М. Зеленый, С.И. Климов, Научные задачи миссии «Чибис-М». Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, 7-25.
3. Klimov, S.I., V.G. Rodin, L.M. Zelenyi, V.N. Angarov. 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+Business Media B.V. p. 333-343, 2008.
4. Ангаров, В.Н., С.И. Климов, Д.И. Новиков, В.Г. Родин. Научно-методические аспекты создания микроспутниковых платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства. *Космонавтика и ракетостроение* 4(49) 2007, с. 150-157.
5. Ангаров, В.Н., А.В.Гуревич, Л.М.Зелёный, К.П.Зыбин, С.И.Климов, В.Г.Родин, С.И.Свертилов, И.В.Яшин. Создание и использование микроспутниковых платформ для фундаментальных и прикладных космических исследований. Научно-практическая конференция «Инновации РАН – 2007», Российская академия наук,

- Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, 7-9 ноября 2007 года. Тезисы выступлений, с. 28.
6. Готлиб, В.М., В.Н. Каредин, А.К. Тоньшев, В.Ю. Гаретов. Радиочастотный анализатор–регистратор молниевой активности для микроспутника «Чибис-М». Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р.Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.72-77.
  7. Гарипов, Г.К., С.И. Свертилов, И.В. Яшин. Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором ДУФ. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.58-62.
  8. Гарипов, Г.К., С.И. Свертилов, И.В. Яшин. Физические характеристики и алгоритмы выработки триггеров прибором РГД. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.49-57.
  9. Ангаров, В.Н., В.М. Козлов, А.А. Новиков, С.А. Наганов, С.А. Шестаков. Блок накопления данных для КНА «Гроза». Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р.Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.90-97.
  10. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009.139 с.: табл., ил., цв. ил.
  11. Назаров, В.Н., Р.Р. Назиров, В.М. Готлиб. Концептуальный облик наземного сегмента проекта «Чибис-М». Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.107-116.
  12. Иванов, Д.С., С.С. Ткачев, С.О. Карпенко, М.Ю. Овчинников. Калибровка датчиков для определения ориентации малого космического аппарата. Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Москва.
  13. Ангаров, В.Н., С.И. Климов, В.Г. Родин, А.В. Калужный, В.В. Летуновский, В.М. Козлов. Специфика создания базовой конструкции и компоновки бортового комплекса аппаратуры МС «Чибис-М» для исследования грозовых разрядов. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.26-42.
  14. Pasko, V.P., et al. Electrical discharge from a thundercloud top to the lower ionosphere. *Nature* 416 153 (2002).
  15. Smith, D.M., et al. Terrestrial Gamma-Ray Flashes Observed up to 20 MeV". *Science* 307 1085 (2005).
  16. Jacobson, A.R. *J. Geophys. Res.* 108 (D24) 4778 (2003).
  17. Гуревич, А.В., А.Н. Караштин, В.А. Рябов, А.П. Чубенко, А.Л. Щепетов. Нелинейные явления в ионосферной плазме. Влияние космических лучей и пробоя на убегающих электронах на грозовые разряды. УФН, Т. 179, № 7, с. 779-790, 2009.
  18. Гуревич А.В., Зыбин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // УФН, Т. 171, с.1177-1199, 2001.
  19. Бондаренко, А.В., И.В. Докучаев, В.А. Котцов. Цифровая фотокамера для регистрации атмосферных грозовых разрядов. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.63-71.
  20. Klimov, S.I., V.E.Korepanov, D.I.Novikov, Cs.Ferencz, J.Lichtenberger, A.Marusenkov, L.Bodnar. The study of electromagnetic parameters of space weather. Micro-satellite “Chibis-M”. Small Satellites for Earth Observation. 7th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA), Berlin, May 4-8, 2009. Editors: Rainer Sandau, Hans-Peter Roeser, Arnoldo Valenzuela. Wissenschaft und Technik Verlag, Berlin. p. 65-68.
  21. Klimov, S.I., L.M. Zelenyi, D.I. Novikov, L. Bodnar, Cs. Ferencz, J. Lichtenberger, V.E. Korepanov, A.A. Marusenkov. Electromagnetic parameters study for space weather research (micro-satellite “Chibis-M”). 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. 31-32.
  22. Новиков, Д.И., С.И. Климов, В.Е.Корепанов, Ч.Ференц, Я. Лихтенбергер, А.Марусенков, Л. Боднар. Магнитно-волновой комплекс микроспутника «Чибис-М» для изучения электромагнитных параметров космической погоды. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, серия «Механика, управление и информатика»/Под ред. Р.Р.Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009, с. 78-89.
  23. Зелёный, Л.М., Климов С.С., Петрукович А.А. Международные эксперименты Российской академии наук в рамках Программы по космической погоде. 15-я международная научная конференция «Системный анализ, управление и навигация» Крым, Евпатория 27 июня – 4 июля 2010 года, Тезисы докладов. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010, с.6-8.
  24. Klimov Stanislav, Denis Novikov, Valeriy Korepanov, Andriy Marussenkov, Csaba Ferencz, Janos Lichtenberger, and Laszlo Bodnar. The study of electromagnetic parameters of space weather, micro-satellite “CHIBIS- M”. Small Satellites for Earth Observation. New Developments and Trends. Rainer Sandau, Hans-Peter Röser, Arnoldo Valenzuela (Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010. P. 95-102.
  25. Корепанов, В. С., А. А. Марусенков, С. М. Беляев, С. И. Климов, Л. М. Зелений, Д. Новіков, Ч. Ференц, Я. Лихтенбергер, Л. Боднар. Хвильовий експеримент на мікросупутнику «Чібіс-м». Космічна наука і технологія. 2010. Т. 16. № 3. С. 69-77 (на украинском языке).
  26. Klimov, S., L. Zelenyj, D. Novikov, L. Bodnar, Cs. Ferencz, J. Lichtenberger, V.Korepanov. Plasma - Wave Processes Manifestation in the Ionosphere and the Space Weather Parameters; Overview of the “Chibis-M”. Thunderstorms and Elementary Particles Acceleration TERA’2010. International Conference Center, Nor Amberd, Armenia, September 6 - 11, 2010, Programme and Abstracts, p. 41-42.

27. Эйсмонт, Н.А., Р.Р. Назиров. Задачи баллистического обеспечения проекта «Чибис-М». Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, сер. «Механика, управление и информатика» / Под ред. Р.Р. Назирова. М., ИКИ РАН, 2009, с.43-48.
28. TYPO3 Content Management System (<http://typo3.org/> (sited 15.04.2009)).
29. Назаров В.Н., О.В. Батанов, М.М. Веригин, А.П. Мельник и др. Концепция построения базы данных магнитосферных измерений. Препринт.Пр-2056. М.:ИКИ РАН, 2002.14 с.
30. Белова И.Э., А.А. Петрукович, О.В. Батанов. 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.
31. Nazirov R., V. Nazarov, N. Eismont. 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.
32. Батанов О.В., Ф.В. Коротков, Р.Р. Назиров, В.Н. Назаров. WEB – портал проекта «Чибис-М». Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, серия «Механика, управление и информатика»/Под ред. Р.Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009, с. 117-125.
33. Ryabov V.A., V.P. Antonova, A.P. Chubenko, A.N. Karashtin, G.G. Mitko, A.S. Naumov, M.O. Ptitsyn, A.L. Shepetov, Yu.V. Shlyugaev, L.I. Vildanova, K.P. Zybin and A.V. Gurevich. Measurements of the energy spectrum of lightning gamma emission on the TienShan Cosmic Ray Station. 30th International Conference on Lightning Protection - ICLP 2010 (Cagliari, Italy - September 13th -17th, 2010)
34. Mitko G.G., V.P. Antonova, A.P. Chubenko, A.N. Karashtin, A.S. Naumov, M.O. Ptitsyn, V.A. Ryabov, A.L. Shepetov, Yu.V. Shlyugaev, L.I. Vildanova, K.P. Zybin and A.V. Gurevich. Observation of the intercloud discharge induced by an extensive air shower in a thunderstorm atmosphere. 30th International Conference on Lightning Protection - ICLP 2010 (Cagliari, Italy - September 13th -17th, 2010)
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. Panasyuk, M.I., V.V. Bogomolov, G.K. Garipov, O.R. Grigoryan, Yu.I. Denisov, B.A. Khrenov, P.A. Klimov, L.L. Lazutin, S.I. Svertilov, N.N. Vedenkin, I.V. Yashin, S.I. Klimov, L.M. Zelenyi, V.S. Makhmutov, Y.I. Stozkov, N.S. Svirzhevsky, V.V. Klimenko, E.A. Mareev, Y.V. Shlyugaev, V.E. Korepanov, I.H. Park, H.I. Salazar, and H. Rothkaehl. Transient Luminous Event Phenomena and Energetic Particles Impacting the Upper Atmosphere: Russian Space Experiment Programs. Transient luminous event phenomena and energetic particles impacting the upper atmosphere: Russian space experiment programs. Journal of Geophysical Research, Vol. 115, A00E33, doi:10.1029/2009JA014763, 2010.

Научно-методические вопросы исследований были представлены научной общественности на ряде российских и международных конференций:

1. Ангаров, В.Н., С.И. Климов, В.Г. Родин, Л.М. Зелёный. Изучение новых физических явлений в атмосферных грозных разрядах. Конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 17-20 февраля 2009 г., ИКИ РАН, г. Москва, Сборник тезисов с. 35. <http://solarwind.cosmos.ru/txt/2009/conf2009thesis.pdf>
2. Klimov, S.I., V.E. Korepanov, D.I. Novikov, Cs. Ferencz, J. Lichtenberger, A. Marusenkov, L. Bodnar. The study of electromagnetic parameters of space weather. Micro-satellite “Chibis-M”. Small Satellites for Earth Observation. 7th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA), Berlin, May 4-8, 2009. Editors: Rainer Sandau, Hans-Peter Roeser, Arnoldo Valenzuela. Wissenschaft und Technik Verlag, Berlin. p. 65-68.
3. Angarov, V.N., G.K. Garipov, V.M. Gotlib, A.V. Gurevich, S.I. Klimov, V.G. Rodin, S.I. Svertilov, L.M. Zelenyi. Investigation of new physical phenomena in the atmospheric lightning discharges. Micro-satellite “Chibis-M”. Small Satellites for Earth Observation. 7th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA), Berlin, May 4-8, 2009. Editors: Rainer Sandau, Hans-Peter Roeser, Arnoldo Valenzuela. Wissenschaft und Technik Verlag, Berlin. p. 69-72
4. Klimov, S.I., L.M. Zelenyi, D.I. Novikov, L. Bodnar, Cs. Ferencz, J. Lichtenberger, V.E. Korepanov, A.A. Marusenkov. Electromagnetic parameters study for space weather research (micro-satellite “Chibis-M”). 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. 31-32.

5. Angarov, V.N., V.M. Gotlib, S.I. Klimov, V.G. Rodin, L.M. Zelenyi, G.K. Garipov, S.I. Svertilov, A.V. Gurevich. Investigation of atmospheric lightning discharges on the micro-satellite "Chibis-M". 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. 49.

6. Panasyuk, M.I., V.V. Bogomolov, G.K. Garipov, Yu.I. Denisov, B.A. Khrenov, P.A. Klimov, L.L. Lazutin, S.I. Svertilov, N.N. Vedenkin, I.V. Yashin, S.I. Klimov, L.M. Zelenyi, V.S. Makhmutov, Yu.I. Stozkov, N.S. Svirzhevsky, V.V. Klimenko, E.A. Mareev, Y.V. Shlyugaev, V.E. Korepanov, I.H. Park, H.I. Salazar, H. Rothkaehl. Transient Luminous Event Phenomena and Energetic Particles Impacting the Upper Atmosphere: Russian Space Experiment Programs. 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. 37.

7. Ангаров В.Н., Климов С.И., Родин В.Г., Зелёный Л.М. Микроспутник «Чибиc-M» для изучения новых физических явлений в атмосферных грозовых разрядах. Международный симпозиум стран СНГ «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД - 2009), 22 - 26 июня 2009 г., С.Петербург-Петродворец, Ульяновская 1.

8. Korepanov, V., A. Marusenkov, S. Belyayev, S. Klimov, L. Zelenyi, D. Novikov, Cs. Ferencz, J. Lichtenberger, L. Bodnar. Earth observation microsatellite "Chibis". 60th International Astronautical Congress, Daejeon, Republic of Korea, 12 - 16 October, 2009. IAC-09-B1.1.11 (publication on CD).

### **Предполагаемые пути дальнейшего использования полученных результатов с указанием области и масштабов применимости**

Вышеизложенное свидетельствует о том, что микроспутниковая платформа «Чибиc» может быть использована для проведения фундаментальных космических исследований. В частности, для реализации эксперимента «Мониторинг парниковых газов и катастрофических явлений на поверхности, в атмосфере и ионосфере Земли на базе микроспутниковой платформы нового поколения» - грант РФФИ 06-02-08244-офи.

Используя научно-методический и технический опыт, накопленный в ходе выполнения данного гранта, ИКИ РАН может проводить работы по формированию и реализации экспериментов для фундаментальных и прикладных космических исследований с помощью микроспутниковой платформы «Чибиc».

Основные технические параметры микроспутниковой платформы «Чибиc» [15]:

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.

Микроспутниковая платформа «Чибиc» может быть использована для реализации фундаментальных космических экспериментов, формируемых как институтами и организациями РАН, так и отраслевыми организациями. Аналогичные микроспутниковые платформы в Программе фундаментальных космических исследований России пока не использовались.

Следует отметить, что при обеспечении финансирования, силами ИКИ РАН и имеющейся кооперацией соответствующие комплексы научной аппаратуры и сам МС могут быть изготовлены, испытаны и подготовлены к запуску в течение 18 месяцев.

Начало ионосферных исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере на микроспутнике "Чибиc-M" запланировано на середину 2011 в соответствии с Долгосрочной программой научно-технических экспериментов на Российском сегменте

Международной космической станции - КЭ "Микроспутник". Для реализации данного КЭ продолжаются работы по:

- комплексным испытаниям МС "Чибиc-M" в РКК "Энергия" и подготовке к доставке на орбиту транспортно-грузовым кораблём Прогресс М;
- разработке программно-математического обеспечения (ПМО) управления МС "Чибиc-M" на орбите;
- разработке ПМО приёма и предварительной обработки телеметрической информации, принимаемой с МС наземными приёмными пунктами;
- разработке ПМО для физической интерпретации данных, получаемых с МС "Чибиc-M".

Приложение 1. Циклограмма стыковочных испытаний приборов РЧА и БНД-Ч

Приложение 2. Циклограмма стыковочных испытаний ДУФ и БНД-Ч

Приложение 3. Циклограмма стыковочных испытаний приборов РГД и БНД-Ч

Приложение 4.

А. ЦИКЛОГРАММА СТЫКОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРОВ КНА «ГРОЗА». АВТОНОМНЫЙ РЕЖИМ.

Б. ЦИКЛОГРАММА СТЫКОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРОВ КНА «ГРОЗА». РЕЖИМ ВЫРАБОТКИ ПРИЗНАКА ОДНИМ ПРИБОРОМ.

В. ЦИКЛОГРАММА СТЫКОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРОВ КНА «ГРОЗА». РЕЖИМ ВЫРАБОТКИ ПРИЗНАКА 2-3 ПРИБОРАМИ.