

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИКИ РАН)

Пр-2177

**С. И. Климов**

# **МИКРОСПУТНИКИ**

МОСКВА  
2015

## **Микроспутники**

***С. И. Климов***

В статье отражена история создания в ИКИ РАН микроспутников, начавшаяся разработкой, изготовлением и выводом на орбиту в 2002 г. научно-образовательного школьного микроспутника «Колибри-2000». В январе 2012 г. на орбиту был выведен первый академический микроспутник «Чибис-М», научной задачей которого стало изучение новых физических механизмов высотных электрических разрядов в атмосфере Земли. Изложены вопросы наземной подготовки космических экспериментов, методики вывода в инфраструктуре российского сегмента Международной космической станции микроспутников на орбиту, командно-телеметрического управления ими в полёте. Приведены основные научные результаты.

*Ключевые слова:* спутники, микроспутники, научная аппаратура, бортовая аппаратура, ионосфера, космическая погода.

## **The microsattellites**

***S. I. Klimov***

The article describes the history of creation in IKI RAN microsattellites, which began with the development, production and output in 2002 on-orbit School's Research — Education micro-satellite "Kolibri-2000". In January of 2012 was put into the orbit of the first academic microsattellite "Chibis-M" focused on investigating new physical mechanisms of high-altitude electrical discharges (lightning) in the Earth's atmosphere. Set out issues of ground preparation of space experiments, techniques and outputs in the infrastructure of the Russian segment of the International Space Station microsattellites into orbit, command and telemetry management in flight, the main scientific results.

*Keywords:* microsattellites, space education, space weather, lightning, scientific equipment.

Микроспутник является основным фактором создания Института космических исследований!

Космические исследования, а, следовательно, и ИКИ, стали возможны благодаря запуску 4 октября 1957 г. Первого искусственного спутника Земли (ИСЗ), который по своим сегодняшним критериям является микроспутником, так как он имел массу 83,6 кг.

После запуска первого ИСЗ, так стали называть искусственные спутники Земли, началась гонка увеличения их веса. Всем хотелось увеличить, как мы говорим, массу полезной нагрузки, которая создавалась по имевшимся тогда «земным» технологиям, пусть даже и авиационным. И это был правильный путь, позволяющий многосторонне исследовать космические процессы и объекты, такие как планеты.

Учёные и инженерный состав, пришедшие в 1965 г. во вновь созданный Институт космических исследований Академии наук СССР (ИКИ АН СССР), конечно уже участвовали в ряде космических проектов. Новые проекты, в которых ИКИ АН СССР должен был участвовать, были направлены на получение широких знаний об окружающем космическом пространстве. Создаваемые новые приборы и даже комплексы приборов требовали увеличения массово-габаритных и энергетических характеристик космических аппаратов (КА). Так, для проведения фундаментальных космических исследований были созданы:

- автоматические межпланетные станции (АМС) для исследования Венеры и Марса;
- высокоапогейные спутники серии «Прогноз», выходящие из магнитосферы Земли в солнечный ветер;
- универсальные ИСЗ, в частности серии «Интеркосмос»;
- другие космические аппараты, на которых были получены фундаментальные данные об окружающем космическом пространстве (ОКП).

Особо следует подчеркнуть, что для участия в программах на АМС, хотя станции и имели массу в несколько тонн, требовалась аппаратура, условно говоря, с минимальными массово-габаритными и энергетическими характеристиками, но с максимально возможными информационными данными. Это требовало применения новейших технологий, прежде всего, в микроэлектронике. В значительной мере этому способствовала широкая международная кооперация, прежде всего, в рамках программы ИНТЕРКОСМОС.

Одна из универсальных характеристик ОКП — наличие плазмы, которая очень «чутко» реагирует на всевозможные воздействия на неё частиц разного сорта (как нейтральных, так и заряженных), в первую очередь, исходящих из Солнца, в том числе солнечного ветра; различного типа электромагнитных излучений. Вследствие этих воздействий генерируются электромагнитные плазменные волны в очень широком диапазоне частот. Исследования этих процессов стали возможны благодаря использованию метода комбинированной волновой диагностики (КВД) [Климов и др., 1986].

Исследования плазменных волн с использованием КВД на АМС «Вега» дали важные результаты о процессах взаимодействия солнечного ветра с кометами [Климов и др., 1987, 1989; Klimov et al., 1986]. На АМС «Фобос» исследована роль плазменных волн в магнитосфере Марса [Grard et al., 1989]. Следует отметить, что на АМС «Фобос-2» удалось провести сравнительные исследования одной и той же аппаратурой сначала на околоземной ударной волне, а затем около Марса [Trotignon et al., 1989].

Космические эксперименты вначале 1980-х прошли путь от пионерских исследований отдельных физических параметров, характеризующих околоземное и околопланетное космическое пространство, до комплексного международного проекта по изучению глобального взаимодействия системы Солнце — межпланетное пространство — магнитосфера — ионосфера — атмосфера (Global Geospace Science — GGS). Основной задачей проекта GGS явилось исследование процессов передачи энергии в космосе.

## 1. МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

В 1981 г. четыре космических агентства — Интеркосмос (СССР), Европейское космическое агентство (ЕКА), Институт космических исследований и астронавтики Японии (ИСАС); Национальное агентство аэронавтики и космических исследований США (НАСА) — образо-



вали Межагентскую консультативную группу по космическим исследованиям (Inter-Agency Consultative Group for Space Sciences — IAGG) с целью повышения научной отдачи от проектов кооперацией агентств. После успешной кооперации в исследованиях кометы Галлея (1986) IAGG **фокусирует свои усилия на изучении солнечно-земных связей**, провозгласив «Новую эру глобальных солнечно-земных исследований» (New Era of Global Solar-Terrestrial Research).

Новый этап требовал использования систем из двух или нескольких относительно малых КА, сохраняющих определённую пространственную конфигурацию. Реализация связки нескольких КА требовала размещения на них двигательных установок, обеспечивающих поддержание заданных пространственных конфигураций.

В рамках программы IAGG в ИКИ РАН (отдел 54 — Климов С. И., отдел 72 — Родин В. Г., Прудкогляд А. В., отдел 81 — Назиров Р. Р., Пивоваров М. И.) в 1992–1993 гг. была проведена работа «Анализ возможностей использования тросовых систем для обеспечения перспективных задач космических исследований. Научно-техническое обоснование экспериментов с орбитальной тросовой системой», в которой рассмотрены возможности использования тросовых систем для создания заданных пространственных конфигураций малыми КА, также ещё называемыми субспутниками. Для измерения вектора напряжённости квазистационарного электрического поля —  $E_{dc}$ , определяющего в космосе крупномасштабную конвекцию плазмы, необходимы одновременные измерения трёх взаимноортогональных компонентов вектора. Эксперименты, в которых физический сигнал  $E_{dc} = 10^{-6}$  В/м хотя бы на порядок мог превысить возможный паразитный сигнал от КА, требуют создания ортогональной системы с измерительной базой в единицы и десятки километров. При этом измерительная система (ИС) должна обеспечивать погрешность знания линейных размеров базы в единицы процентов (10...100 м). В отчёте 1993 г. была предложена ИС из шести тросов, образующих тетраэдр, как представлено на рис. 1 [Klimov et al., 1996b; Klimov et al., 1995a].

Конструктивное назначение тросовых систем  $TC1$ – $TC6$  — обеспечить создание ИС, в которой датчики электрического поля  $D_{x1, x2}$ ,  $D_{y1, y2}$ ,  $D_{z1, z2}$  образуют три взаимно ортогональные компоненты —  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ .

Датчики электрического поля  $D_{x1}$ ,  $D_{y1}$ ,  $D_{z1}$  размещаются на жёстких штангах от базового объекта (БО) в одной плоскости (оси под углом  $120^\circ$ ), обеспечивая минимальное расстояние между датчиками в несколько метров. Расчёты были проведены в предположении, что длина каждого троса  $l = 20$  м, масса БО — 500 кг, масса каждого привязного объекта (ПО — субспутника)  $m = 50$  кг.

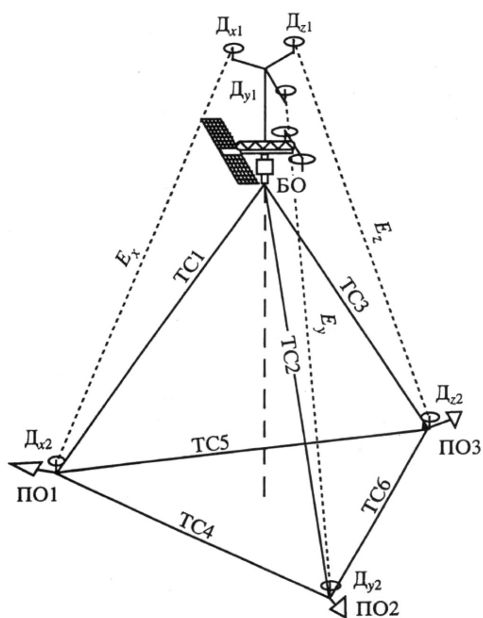


Рис. 1. Тетрагональная ИС для измерения вектора электрического поля

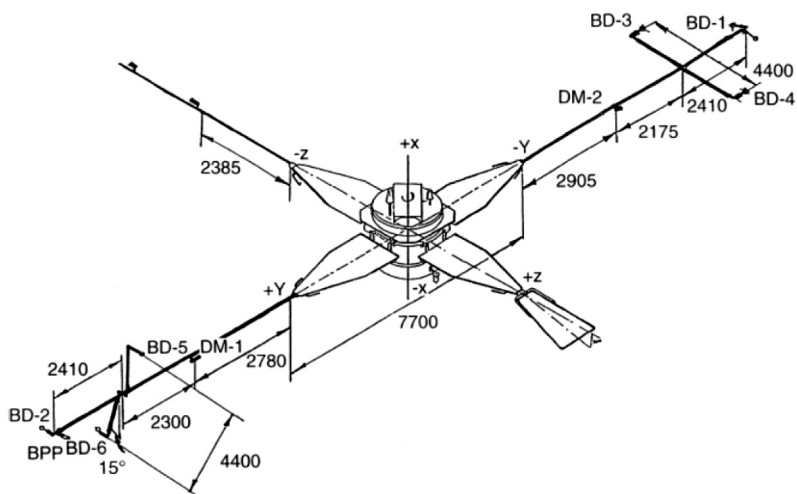


Рис. 2. Схема размещения датчиков КВД на спутнике «Интербол-1». Размеры в [мм]. BD — датчики электрического поля; DM — датчик индукционного магнитометра; BPP — датчик феррозондового магнитометра

Предполагалось, что вся система движется по сильно вытянутой эллиптической орбите с апогеем  $\sim 200\,000$  км и перигеем  $\sim 10\,000$  км, типичной для спутников серии «Прогноз». Особое внимание на ПО уделялось обеспечению на них высокой электромагнитной чистоты [Klimov et al., 1995b], **особенно при использовании на них плазменных двигателей** [Klimov et al., 1999a], обеспечивающих натяжение в тросовой системе.

Тросовая ИС, в идеале, является прообразом системы многоточечных пространственных измерений, обеспечивающей разделение пространственных и временных характеристик в измеряемых физических параметрах. Была проведена оценка возможности использования тросовых систем, располагаемых, в частности в точке либрации L1, для электромагнитного мониторинга положения околоземной ударной волны [Дудкин др., 1996].

Первым в ИКИ РАН многоточечным стал реализованный в 1995–2000 гг. международный проект ИНТЕРБОЛ (<http://www.iki.rssi.ru/interball>) (научный руководитель проекта — Л. М. Зеленый, заведующий отделом 54 ИКИ РАН), включающий два основных спутника «Прогноз» — «Хвостовой зонд» («Интербол-1», рис. 2) и «Авроральный зонд» («Интербол-2»), от каждого из которых отделялся субспутник.

Субспутники, соответственно, «Магион-4» (C2-X, рис. 3 — <http://www.iki.rssi.ru/interball/magion.html>) и «Магион-5» (C2-A, <http://www.ufa.cas.cz/html/magion/images/mag5.jpg>) были созданы в Институте физики атмосферы Чешской академии наук — ИФА ЧАН (научный руководитель — П. Триска, заведующий отделом ИФА ЧАН) с широкой международной кооперацией, в первую очередь с Россией (технический руководитель со стороны РАН — Ю. Н. Агафонов). По техническим характеристикам «Магион-4» (масса 59 кг) и «Магион-5» (масса 64 кг) являются микроспутниками.

Таким образом, проект ИНТЕРБОЛ стал для ИКИ РАН прелюдией создания микроспутников.

Особенность «Магионов» — наличие двигательных установок, обеспечивающих изменение расстояния в системе спутник-субспутник. Приведённый на рис. 4 график разности во времени прихода сигналов от спутника и субспутника свидетельствует, что они сначала расходились, затем через  $\sim 3$  мес стали сближаться и примерно 4 мес находились на минимальных расстояниях около 1 тыс. км.

В ноябре 1996 г., после придания значительного импульса двигательной установкой, основной спутник и субспутник начали расходиться на расстояние до 10 тыс. км.



Рис. 3. Субспутник «Магион-4»

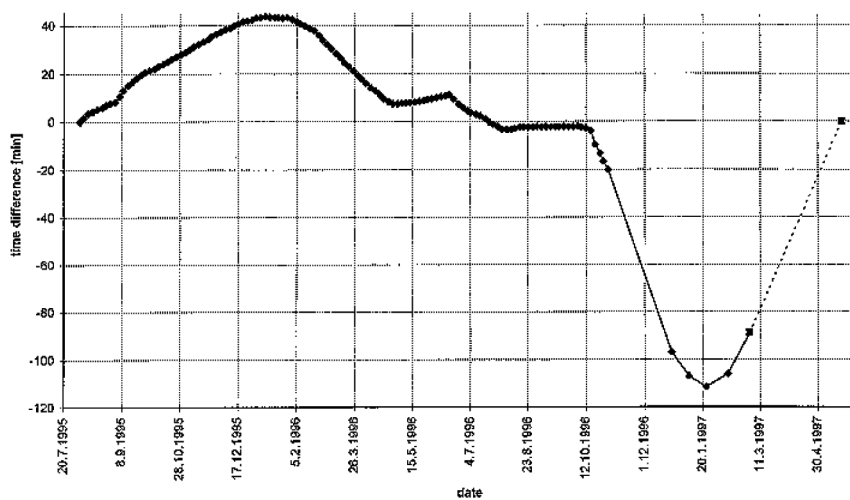


Рис. 4. График изменения взаимного расстояния спутник-субспутник 1995–1997 гг.

Важно отметить, что как на основном спутнике (в частности «Интербол-1»), так и его субспутнике («Магион-4») размещался ряд практически идентичных приборов. Таким был, российско-чешский волновой комплекс (<http://www.iki.rssi.ru/tail/wave.html>) в разработке которого участвовали также давние коллеги по Интеркосмосу.

Полученные научные результаты в рамках проекта ИНТЕРБОЛ, в значительной степени благодаря реализованной системе спутник-субспутник, находятся на уровне мировых достижений в области исследования космического пространства, а многие из них носят приоритетный характер. Достижения проекта заслужили самую высокую оценку широкой научной общественности во всем мире, поскольку многие из результатов проекта важны не только с точки зрения геофизических исследований, но и в приложении к другим областям фундаментальных исследований, в частности к физике плазмы и астрофизике.

В конце 1996 г. были выпущены материалы эскизного проекта «Разработка электромагнитно-чистого сверхмалого субспутника „Мир-Альфа“ для задач мониторинга окружающей космической среды и контроля катастроф глобального масштаба» (Проект GR-5 СУБСПУТНИК, научный руководитель — директор ИКИ РАН А.А. Галеев, заместитель научного руководителя — С. И. Климов, технический руководитель — В. Г. Родин). Эта работа выполнялась в рамках контракта РКА-NASA No. NAS15-10110). **Был выполнен проектный анализ «измерительных» и технических характеристик научной аппаратуры субспутника, принципов её компоновки, режимов работы, проведены оценки соответствующих этим режимам информационных потоков. Проведён анализ требований к системе управления и сбора данных.**

Проработка малых КА в трудных 1990-х гг. стала проводиться негосударственной общественной организацией АСКОНТ (Ассоциация содействия космической науке и технике), которая взялась за разработку на новой технологической основе очень интересного для геофизических исследований проекта РЕГАТА. Особо оригинальным был проект создания КА с солнечным парусом, предполагаемым к размещению в точке либрации L1.

Тогда ещё не был введён термин микроспутники. Скорее всего, это связано с тем, что малые КА, как правило, выводимые на орбиту совместно с другими КА (материнскими), назывались субспутниками [Agafonov et al., 1996; Klimov et al., 1994; Klimov et al., 1995a, 1996b]. Понимая проблему вывода малых КА на орбиту, АСКОНТ включила в план перспективных работ и решение проблемы носителей для

вывода малых КА на орбиту. Первая конференция, организованная АСКОНТ в 1994 г., так и называлась — Small Spacecraft and Launchers.

В аппаратурном плане плазменно-волновые эксперименты (ПВЭ) достаточно сложны, так как электрические и магнитные датчики (антенны), в целях уменьшения электромагнитного влияния, необходимо удалять от самих КА на специальных штангах, как это, в частности, сделано на спутнике «Прогноз-Интербол-1» (см. рис. 2) [Klimov et al., 1997]. Здесь же в полной мере был реализован метод КВД [Klimov et al., 1996a].

Следующей проблемой при проведении ПВЭ является обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) высокочувствительной аппаратуры, в первую очередь, со служебными системами КА. Чем больше КА, тем больше на нём аппаратуры и, следовательно, большее электропотребление с соответствующими электромагнитными помехами. Простейшим выходом из этой ситуации является проведение ПВЭ на малых КА с малым электропотреблением, на которых реализуются специальные меры по обеспечению их электромагнитной чистоты [Klimov et al., 1996b]. **Особенно остро исследуются вопросы ЭМС на малых КА с электрическими (плазменными) двигателями** [Klimov et al., 1999a].

Как ни странно, но первое упоминание, по крайней мере, в публикациях автора настоящей работы, появляется не о микроспутниках, а о «Концепции группировки наноспутников для мониторинга космической погоды» [Klimov et al., 1999b].

Весь накопленный методический опыт по малым КА и субспутникам был сконцентрирован в Техническом задании (ТЗ) на космический эксперимент (КЭ) «Мониторинг окружающей космической среды электромагнитно-чистыми микроспутниками, интегрированными в инфраструктуру МКС» (№ 515-7/731, шифр «Трабант»). ТЗ было утверждено директором ИКИ РАН А.А. Галеевым 15.10.2001 г. На основе данного ТЗ и других требуемых документов Координационный научно-технический совет (КНТС) включил КЭ «Трабант» в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований на российском сегменте МКС». Дальнейшие работы по данному ТЗ будут рассмотрены ниже.

Упоминание названия «микроспутник» в ТЗ и других документах, которые в 1998 г. начали готовиться автором, как заведующим лабораторией исследования электромагнитных излучений ИКИ РАН (лаборатория 545), сыграло в дальнейшем значительную роль.

## 2. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ МИКРОСПУТНИКОВЫХ ПРОЕКТОВ

### 2.1. Российско-австралийский проект КОЛИБРИ

В Федерацию космонавтики РФ (ФК), вначале 1999 г. обратился консорциум двух австралийских школ Сиднея Нокса (мужская) (Knox Grammar School ([www.knox.nsw.edu.au](http://www.knox.nsw.edu.au))) и Рейвенсвуда (женская) (Ravenswood School for Girls ([www.ravenswood.nsw.edu.au](http://www.ravenswood.nsw.edu.au))) с просьбой изготoвить для школьников маленький спутник. Вице-президент ФК, заместитель директора ИКИ РАН Тамкович Г.М. посчитал возможным удовлетворить их просьбу и изготoвить такой спутник в ИКИ РАН.

Зная о работах по тематике микроспутников, Г. М. Тамкович пригласил меня и сотрудников Специального конструкторского бюро космического приборостроения (СКБ КП) ИКИ РАН (Таруса Калужской области), в первую очередь М. Б. Добрияна и В. Н. Ангарова, принять участие в этом проекте.

Для обсуждения процедуры оформления российско-австралийского сотрудничества 20 апреля 1999 г. в Москву прилетели заместители директоров школ Нокса г-н Р. Вард (R. G. Ward) и Рейвенсвуда г-жа С. Соломонс (S. Solomons) (рис. 5), посетившие также СКБ КП ИКИ РАН, Научно-исследовательскую лабораторию аэрокосмической техники (НИЛАКТ) РОСТО (ДОСААФ) (Калуга) и Школу компьютерных технологий «Гелиос» Института атомной энергетики (ИАТЭ) (Обнинск).



**Рис. 5.** Визит в Тарусу. Слева направо:  
Р. Вард, Г. М. Тамкович, С. Соломон, В. М. Козлов, В. Н. Ангаров



*«Протокол о намерениях по Российско-Австралийскому первому в мире школьному научно-исследовательскому проекту создания исследовательского школьного спутника» 22 апреля 1999 г. был подписан в Москве с российской стороны научным руководителем программы Г.М. Тамковичем и координатором программы В.А. Куриловым (вице-президентом Международной астронавтической федерации) и с австралийской стороны главой школы Нокс г-н Хаджес и заместителем главы школы Нокс Р. Вард.*

*По Протоколу:*

*Мы, нижеподписавшиеся, представители Сторон проекта, подтверждаем следующие намерения:*

*1. Целесообразность создания первого в мире научно-исследовательского школьного спутника при участии детей России и Австралии.*

*2. Вышеуказанная программа (проект) может быть проведена как некоммерческая, образовательная, научно-исследовательская, имеющая статус международной при поддержке Международной астронавтической федерации ООН.*

*3. «Общая стоимость проекта, по данным российской стороны, определяется суммой приблизительно 500.000\$».*

*3.1. Учитывая необходимость и важность заботы о подрастающем новом поколении 21-го века ...Российская сторона берёт на себя большую часть расходов.*

*3.2. Австралийская сторона ...обеспечивает финансирование разработки и изготовления основного и дублирующего спутников при участии школьников России и Австралии... в сумме не более 50.000\$, а также обеспечивает финансирование обмена делегациями России и Австралии в рамках вышеуказанной программы...*

*4. Стороны считают целесообразным объявить конкурс среди школьников России и Австралии на лучшее название и эмблему указанного проекта.*

*5. Считать целесообразным подготовить и подписать в развитие данного Протокола Договор, определяющий взаимоотношения Сторон в рамках указанного проекта до 28 апреля 1999 г.*

Важно отметить, что формулировка **«первого в мире научно-исследовательского школьного спутника»** была подтверждена вице-президентом Международной астронавтической федерации В.А. Куриловым, который в то время являлся ответственным лицом в регистрации космических рекордов.

Однако начало работ сильно задержалось, так как возникли сложности в получении денег от австралийской стороны. По существую-



щим в те времена в России законам с организации, получившей валюту, изымался налог в размере 40 %. Естественно, ИКИ РАН, как головная организация по проекту, не мог согласиться на это.

Ректор Московского государственного университета (МГУ) имени М.В. Ломоносова Садовничий В.А. в письме (исх. № 19а/327 от 20.10.1999) вице-президенту ФК Г.М. Тамковичу отметил: *«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова придаёт большое значение работам по научно-исследовательским образовательным программам (НАОП) с использованием микроспутников. Большой опыт участия Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ) в фундаментальных космических исследованиях и имеющийся аппаратный задел дают основание для участия МГУ в реализации НАОП и, в частности, российско-австралийского научно-исследовательского школьного спутника».*

Руководитель Школы компьютерных технологий О.В. Черторижская в письме руководителю проекта «Школьный спутник» Тамковичу Г.М. отмечает:

*«Коллектив школы компьютерных технологий „Гелиос“ Обнинска с воодушевлением принял предложение принять участие в проекте „Научно-исследовательский школьный спутник“ и высоко оценил оказанное доверие. Мы рассматриваем своё участие в проекте и как большую честь, оказанную нашей школе, и как большую ответственность, принимаемую нашей стороной».*

*После согласования с ректором ИАТЭ Казанским Ю.А. мы оценили возможности „Гелиоса“ и возлагаемую на него часть работ и просим подтвердить, являются ли наши представления верными.*

*...Просим подтвердить возможность и формы финансирования, по предварительным оценкам составляющие около 5 тыс. дол. в месяц на время активного осуществления проекта».*

Первый вице-президент Международной аэронавтической федерации (ФАИ) Курилов В.А. в письме вице-президенту Федерации космонавтики РФ Тамковичу отмечает:

*«Международная аэронавтическая федерация поддерживает и приветствует проведение международных космических программ с участием школьников разных стран.*

*...ФАИ также поддерживает проведение первой в мире международной школьной космической программы „Научно-исследовательский школьный спутник“, выполняемой при участии школьников России и Австралии».*

7 октября 1999 г. подписан «Протокол собрания представителей (инициативной группы) по созданию первого в мире международного

научно-исследовательского школьного спутника (НИШС) «Колибри-1» (Россия-Австралия)», в котором были приняты решения:

1. О создании первого в мире международного НИШС «Колибри-1».
2. О создании временного творческого коллектива (ВТК), без образования юридического лица, с целью создания первого в мире НИШС «Колибри-1».

По результатам обсуждения и голосования доктор технических наук Тамкович Г. М. избран руководителем (директором) ВТК единогласно.

Участники собрания: Ангаров В. Н., Высоцкий В. В., Григорян О. Р., Добрян М. Б., Калужный А. В., Климов С. И., Курилов В. А., Окулов Н. А., Папков А. П., Ноздрачёв М. Н., Суханов А. А., Тамкович Г. М.

21 февраля 2000 г. «Договор о научно-техническом сотрудничестве по созданию оригинального научно-исследовательского школьного **микро-спутника** „Колибри-2000“» согласован руководителями нижеприведённых организаций, в котором:

Учитывая государственную и научную важность данной работы и её гуманитарный принцип, участники договора — ВТК, ИКИ РАН, Ракетно-космическая корпорация (РКК) «Энергия», НИИЯФ МГУ и Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН) при поддержке Международной астронавтической федерации и Федерации космонавтики РФ согласовали:

1. Работы по реализации «Колибри-1» проводятся участниками договора на безвозмездной основе.

В п. 2—6. изложено конкретное участие каждой из организаций исходя из п. 1.



**Рис. 6.** ИКИ РАН. Заседание бюро МОО.  
Председатель — Г. М. Тамкович. Слева сверху — логотип МОО

Затянувшиеся на месяцы поиски официального получателя валюты завершились тем, что российская сторона рекомендовала австралийской стороне подписать договор с фондом US Civilian Research and Development Foundation for the Independent States of the Former Soviet Union (CRDF) (официально зарегистрированным Министерством юстиции), который, в свою очередь, с 10%-м налогом официально передавал валюту М. Б. Добрияну — директору СКБ КП ИКИ РАН (Таруса).

По согласованию с директором ИКИ РАН академиком Галеевым А. А. был организован ВТК, который впоследствии трансформировался в Межрегиональную общественную организацию «Объединение специалистов и молодёжи по научно-техническому творчеству в области космических технологий» (МОО, рис. 6) «Объединение специалистов и молодёжи по научно-техническому творчеству в области космических технологий „Микроспутник“» (Минюст. Свидетельство о регистрации Общественного объединения № 13844 от 12 октября 2000 г.).

По мнению учёных и специалистов, вошедших в МОО, участие молодёжи в проектах, не предусматривавших научной программы и комплекса научной аппаратуры, носило в большинстве случаев только пропагандистско-воспитательный характер. Бытовала упрощённая схема — школьники привлекаются к созданию спутника, но в чём, когда, где, на какой юридической основе и с какой ответственностью, как правило, не указывалось, а, возможно, и не определялось. Их роль с учётом этапа подготовки проектов была чисто формальной: участие в разработке эскизов, эмблем, значков, простых конкурсов, поездках по обмену опытом, культурой, образовательными программами и тому подобное. Создавалась лишь иллюзия участия в создании спутника.

Тем не менее, космонавтика как раз представляет собой одну из редких областей деятельности, где каждый человек способен найти поле для приложения собственных способностей. Конкретная работа в проекте позволяет ему, получая знания и опыт, постепенно развивать эти способности и становиться высококвалифицированным специалистом по выбранной тематике.

На основе комплексного анализа изложенной ситуации и предварительного прогноза на ближайшее будущее у специалистов МОО возникла потребность в формировании специализированной программы школьных научно-образовательных микроспутников. Основными концептуальными её чертами считались:

- широкие возможности распространения среди школьников данных физических измерений, получаемых с борта микроспутников;

- сочетание реальной полезности решаемых учёными научных задач с относительной простотой построения комплекса научной аппаратуры;
- исполнение конструкции и бортовых систем микроспутника на уровне высоких технологий, но так, чтобы принципы работы были доступны для понимания не имеющими глубокой специальной подготовки учащимися;
- сравнительно низкие стоимости разработок и эксплуатации микроспутников, а также наземного комплекса приёма информации и управления, в том числе, режимами работы научной аппаратуры.

Программа школьных научно-образовательных микроспутников представляла собой принципиально новое направление космических программ, главный акцент которой сосредоточен на комплексном концептуальном развитии научно-технического творчества учащихся старших классов и студентов.

Очевидно, что научно-образовательный школьный спутник может быть создан лишь профессионалами, имеющими должную квалификацию, опыт и материально-техническую базу при прямом участии профессиональных организаций передовых отраслей космической науки и техники. А создание микроспутника ещё сложнее, поскольку усугубляется выполнением ряда дополнительных ограничительных условий по массе, габаритам, энергопотреблению. Образовательные задачи решаются исходя из того, что микроспутник — это высокотехнологичное учебное пособие, достаточно дорогое и сложное, в первую очередь — из-за применения в нём высоких космических технологий. Участвуя в программе, школьники могут более глубоко изучать физику, математику, компьютеры, прикладные предметы в форме факультативного специализированного лабораторного практикума.

Ключевым элементом программы становится развёртывание школьных наземных комплексов управления (ШНКУ) для основных участников проекта и школьных наземных пунктов приёма телеметрической информации (ШНПТИ) для ассоциированных участников проекта. Участвуя в работе ШНКУ и ШНПТИ, школьники непосредственно включаются в процесс разработки алгоритмов и программного обеспечения для сбора научных данных, управления служебными системами на орбите, передачи информации на Землю, приёма информации на ШНПТИ.

Первым в программе стал микроспутник «Колибри-2000» ([www.iki.rssi.ru/kolibri/missija1.htm](http://www.iki.rssi.ru/kolibri/missija1.htm)) [Ангаров и др., 2002а; Лисов, 2002], раз-

работанный и изготовленный в СКБ КП ИКИ РАН (Таруса, [www.tarusa.ru/skbkpl](http://www.tarusa.ru/skbkpl)) с участием ведущих организаций космической отрасли. Проект КОЛИБРИ-2000 ([www.kolibri2000.ru](http://www.kolibri2000.ru)) является совместным российско-австралийским проектом, так как в нём участвуют:

- группа российских школ (базовая — Школа компьютерных технологий «Гелиос» ([www.gelios.obninsk.org](http://www.gelios.obninsk.org)));
- группа двух австралийских школ Сиднея — Нокса и Рейвенсвуда.

С учётом идеологии программы на конкурсной основе были сформированы группы из 8–10 человек из школьников 6–11 классов и студентов начальных курсов вузов, хорошо успевающих, знающих английский язык и постоянно совершенствующих свои знания, обучающихся или закончивших школы компьютерной технологии. Они участвовали в формировании и сопровождении проекта.

Образовательные задачи в проекте КОЛИБРИ-2000 решались участием школьников в разработке и реализации научной программы, обсуждении концепции конструкции микроспутника и его систем. Для этого учёные ИКИ РАН и НИИЯФ МГУ проводили занятия со школьниками как непосредственно в физико-технической школе Обнинска (рис. 7), так и в ИКИ РАН (рис. 8) и СКБ КП ИКИ РАН (рис. 9).

Важным моментом реализации программы научно-образовательных школьных микроспутников было проведение в Сиднее (август 2000 г.) совместного российско-австралийского коллоквиума (рис. 10), на котором российские школьники сделали ряд докладов на английском языке по всем составляющим проекта. Спонсорами проведения коллоквиума были отделения «Ротари Клуб» (Ротари Интернэшнл — Rotary International) в Австралии, Италии, Москве.

В школе Нокс была организована группа с руководителем-школьником Виллиамом Лоо (William Loo) (рис. 11, слева, рис. 12а), в которой достаточно чётко были распределены обязанности.

Все российские школьники жили на полном обеспечении в семьях австралийских школьников. Для школьников были организованы занятия в классах (рис. 12), а также ряд культурно-познавательных экскурсий, включая в Южно-Уэльсский технический университет, где студенты познакомили ребят с разрабатываемым ими микроспутником.

Российские специалисты жили в семьях членов сиднейского отделения «Ротари Клуб», а также выступили с докладами о проекте в двух клубах.



**Рис. 7.** Школа «Гелиос» ИАТЭ (Обнинск). Занятия проводят Г. М. Тамкович и проректор ИАТЭ Ю. А. Казанский



**Рис. 8.** ИКИ РАН. Слева — большая вакуумная камера КИС. Справа — занятия со школьниками Обнинска и г. Королёва проводит Г. М. Тамкович



**Рис. 9.** СКБ КП ИКИ РАН (Таруса). Занятия со школьниками





**Рис. 10.** Школа Нокс (Сидней). Открытие коллоквиума. Директор школы приветствует российскую делегацию. 9.08.2000 г.



**Рис. 11.** Школа Нокс (Сидней). Приветствия руководителей школьных групп Австралии (слева) и России. 9.08.2000 г.



**Рис. 12а.** Состав и обязанности участников школы Нокс



**Рис. 12б.** Сидней. Слева — совместные занятия в школе Нокс. Справа — шко-  
ла Рейвенсвуда; Самбуров С. Н. обучает работе на наземной станции приёма  
информации



Российские и австралийские школьники приняли название проекта — КОЛИБРИ-2000. Колибри — потому что микроспутник — как маленькая птичка, однако в английском словаре эта птичка называется “Humming-bird” (быстро машущая крылышками), а 2000-й — это год, в котором летние Олимпийские игры должны были проходить в Австралии.

Наши и австралийские школьники быстро завязали дружеские отношения (рис. 13), которые продолжились в дальнейшем по электронной переписке.

Конечно, брала зависть, что в работах по проекту активно участвовали не только директора обеих школ, но и администрация Округа Варонго Сиднея (рис. 14), где находились школы.

В журнале, издаваемом в школе Нокс (рис. 15), начиная с августа 1999 г. была достаточно широко отражена информация о совместном проекте, визите российских школьников и проведённом коллоквиуме.

В статье «Миру — „Колибри-2000“. Детский спутник со взрослой программой» (Наука и жизнь. 2001. № 8. С. 19) было отмечено:

*«ВТК и МОО разработали для школьников чёткую систему научных исследований, которые будут осуществляться в рамках проекта КОЛИБРИ-2000. Участие в работе подростков из России и Австралии предопределило основную задачу — сравнительное исследование околоземного космического пространства над территориями высокоиндустриальной Европы и Австралии, которые менее подвержены техногенным воздействиям.*

*Другая задача проекта — изучение процессов с внезапным возрастанием интенсивности потоков солнечных космических лучей, влияющих на радиационные пояса Земли, и с выбросами с поверхности Солнца плазменных облаков, взаимодействующих с земной магнитосферой и вызывающих резкие изменения магнитного и электрического поля в ионосфере и на поверхности Земли.*

*Обе эти задачи являются составной частью актуальнейшей программы нового тысячелетия — изучения «космической погоды».*

В этой же статье перечислены все организации, входившие в МОО, включая спонсора — Акционерный коммерческий банк (АКБ) «Фьючер», через который редакция журнала призывает «помочь нашей космонавтике, можно и материально».

Более подробно научно-образовательные задачи проекта представлены в публикациях [Александров и др., 2000; Ангаров и др., 2002а, б; Тамкович и др., 2000, 2002а, б; Klimov et al., 2000, 2001b]. В статье [Лисов, 2002] достаточно подробно отображены как научно-образовательные задачи, так и схема организации работ по проекту КОЛИБРИ.



Рис. 13. Прогулка по Сиднею



Рис. 14. Рабочая встреча с директорами школ и главой администрации Округа Варонго Сиднея

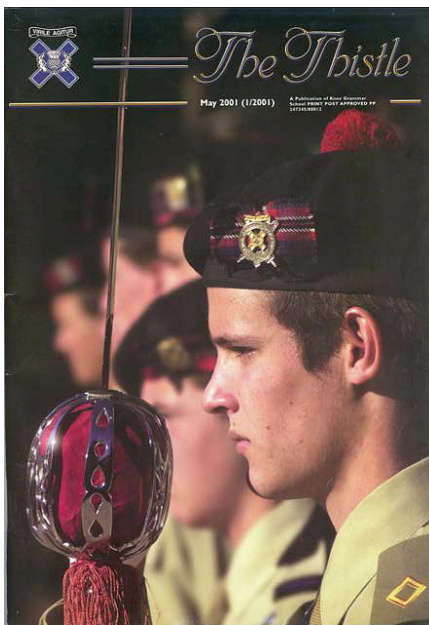


Рис. 15. Обложка журнала и страница по миссии КОЛИБРИ

Важно также отметить, что 1.07.2001 г. генеральным конструктором РКК «Энергия» Ю.П. Семёновым было утверждено и военным представительством согласовано «Техническое решение по вопросу реализации проекта КОЛИБРИ в период МКС-4 и разработке программы МС», отмечающее:

- *провести работы по проекту КОЛИБРИ (запуск школьного научно-исследовательского микроспутника) в период МКС-4 с доставкой оборудования КЭ... На транспортном грузовом корабле «Прогресс-М1-7»;*
- *разработать долговременную научно-образовательную космическую программу школьных научно-исследовательских микроспутников (программа МС) (<http://www.energia.ru/rus/iss/sci-education/microsat/microsat-01.html>).*

Как видим, история развития проекта КОЛИБРИ-2000 достаточно интересна и поучительна, в первую очередь, тем, что его формирование проводилось на инициативной основе.

Параллельно с технической реализацией проекта в МОО «Микро-спутник» была разработана перспективная программа, включающая пять микроспутников с различными научно-образовательными программами [Александров и др., 2000; Ангаров и др., 2002а, б].

## 2.2. Юбилейный спутник «МГУ-250»

Успешная реализация проекта КОЛИБРИ-2000 (об этом будет показано ниже), в котором принимали участие сотрудники НИИЯФ МГУ, способствовала обсуждению, в рамках программы научно-исследовательских школьных микроспутников, создания и запуска юбилейного спутника «МГУ-250» (юбилей МГУ — 25.01.2005 г.).

В письме генерального конструктора РКК «Энергия» Ю. П. Семёнова (исх. № Р-23/168 от 26.07.2002 г.) ректору МГУ В. А. Садовничеву отмечается:

*«Ваши предложения о расширении сотрудничества между МГУ имени М. В. Ломоносова и РКК «Энергия» имени С. П. Королёва по реализации совместных научных и образовательных проектов, в том числе связанного с запуском юбилейного спутника «МГУ-250», реализация которого возможна в рамках создаваемой программы научно-образовательных микро-спутников, представляется весьма интересным (выделение наше — С. К.).*

*Учитывая, что руководство и учёные МГУ придадут этим работам серьёзное значение, для всесторонней проработки возможности реализации проекта спутника „МГУ-250“ полагал бы целесообразным создать рабочую группу с участием представителей заинтересованных сторон».*

Конечно, отмеченное выше упоминание о программе находилось в поле интересов МОО «Микроспутник», которое на своём совещании 23.01.2003 г. приняло решение:

1. *МОО «Микроспутник» готов принять участие в создании микро-спутника по предлагаемому проекту при условии запуска КА в 4-м кв. 2004 г.*

2. *Микроспутник данного проекта должен называться «МГУ-250/Колибри».*

3. *Финансирование затрат на реализацию проекта должно осуществляться на паритетной основе основными участниками МГУ, РКК «Энергия», МОО «Микроспутник», ИКИ РАН, включая СКБ КП.*

Как видим, вопрос финансирования в начале 2003 г. так и не решён. Не решён и вопрос об изготовителе спутника.

Тем не менее, в апреле 2003 г. ИКИ РАН выдал «Исходные данные по составу комплекса аппаратуры для решения научных задач, предлагаемых ИКИ РАН».

В июне 2003 г. ИКИ РАН разработал «Техническое задание на магнитно-волновой комплекс (МВК) микроспутника „Татьяна“». В проекте ТЗ предусмотрено его утверждение директором НИИЯФ МГУ М.И. Панасюком и директором ИКИ РАН Л.М. Зеленым и согласование главным конструктором микроспутника «Татьяна» В.Н. Ангаровым, научным руководителем комплекса научной аппаратуры (КНА) МГУ О.Р. Григоряном, главным конструктором автоматизированных систем управления (АСУ) микроспутника «Татьяна» А.П. Папковым, научным руководителем КНА ИКИ С.И. Климовым. В данном ТЗ явно предполагалось, что микроспутник «Татьяна» изготавливается в СКБ КП ИКИ РАН. В ТЗ отмечено, что *МВК создаётся в целях изучения на орбите микроспутника «Татьяна» параметров магнитного поля Земли и плазменных волн в спокойных и возмущённых условиях для исследования параметров космической погоды по научно-образовательной программе «МГУ-250».*

В ходе проведённого под председательством В.А. Садовничева — ректора МГУ имени М.В. Ломоносова — совещания с широким кругом участников из РКК «Энергия», ИКИ РАН, МОО «Микроспутник» и др. были обсуждены организационно-технические варианты разработки и изготовления юбилейного спутника. МГУ имени М.В. Ломоносова принимает решение о разработке и изготовлении КА «Университетский» кооперацией предприятий с Омским Производственным объединением (ПО) «Полёт» во главе. ИКИ РАН в этом проекте не участвует.

20 января 2005 г. с российского государственного испытательного космодрома «Плесецк» ракетой-носителем «Космос-3М» на орбиту искусственного спутника Земли был выведен штатный космический аппарат «Парус», а с ним вместе, а точнее, на нём, — малый комиче-

ский аппарат «Университетский». Масса спутника 31,5 кг. Управление спутником осуществлялось наземными комплексами дистанционного обслуживания космических аппаратов (ДОКА-Н) в Москве, Омске, Калуге.

### 2.3. Микроспутниковая платформа «Чибис»

В 2001 г. в ИКИ РАН по инициативе директора Льва Матвеевича Зеленого была организована программа ПЕРСПЕКТИВА, по которой, в целях подведения итогов научной деятельности института, а также поощрения творческой деятельности научных сотрудников и инженеров института, отбирались перспективные темы на конкурсной основе.

В 2002 г. в программу была внесена тема № 10 «Разработка систем, приборов и методик для реализации программы научно-образовательных микроспутников». Научные руководители — доктор технических наук Тамкович Г. М., доктор физико-математических наук Климов С. И. В отчёте по теме, выпущенном в конце 2002 г., отмечено, что *«В настоящее время эти концепции используются в ходе подготовки микроспутника по программе „МГУ-250“»*.

В значительной степени и реализация проекта ЧИБИС-М началась также на инициативной основе в рамках программы школьных научно-исследовательских микроспутников.

В ходе проводимых в ИКИ РАН работ на инициативной основе, но при активной поддержке директора Л. М. Зеленого, стали рассматриваться проекты использования микроспутников для проведения фундаментальных космических исследований. Практически параллельно рассматривались два проекта, проводимые по целевой программе Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) — ориентированные на эксперимент фундаментальные исследования (офи).

1. Новый метод спутникового мониторинга малых газовых составляющих земной атмосферы на основе спектроскопических измерений в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне с высоким спектральным разрешением, позволяющим различать отдельные линии молекулярного поглощения. Метод предлагалось применить для определения атмосферного содержания парниковых газов: углекислоты  $\text{CO}_2$  и метана  $\text{CH}_4$ . Для определения источников и стоков  $\text{CO}_2$  в атмосфере Земли необходима точность не хуже 0,3...1 %. Для достижения

такой точности спектральная разрешающая сила спектров в ИК-диапазоне должна быть не менее 20 000. Было показано, что на микро-спутниках такие измерения и мониторинг парниковых газов можно проводить при помощи малогабаритного спектрометра высокого разрешения (1...2 кг). Компактность и малая масса аппаратуры достигается благодаря использованию оригинальных технических решений, использующихся на межпланетных космических станциях. Для регистрации нескольких атмосферных газов необходимы измерения в нескольких спектральных областях, для быстрой электронной перестройки которых предложена акусто-оптическая фильтрация. Для более длительных исследований желательно использовать отдельные спектрометры для измерения каждой компоненты (углекислый газ, метан и кислород). При этом общая масса аппаратуры не превысит 10 кг.

Для дальнейшей реализации этого предложения в 2006 г. РФФИ был поддержан проект «Мониторинг парниковых газов и катастрофических явлений на поверхности, в атмосфере и ионосфере Земли на базе микроспутниковой платформы нового поколения» (№ 06-02-08076-офи). Руководитель проекта — доктор физико-математических наук Кораблёв Олег Игоревич, заведующий отделом ИКИ РАН. Основные исполнители: от ИКИ РАН — Виноградов И. И., Иванов А. Ю., Климов С. И., Новиков Д. И., Родин В. Г., Эйсмонт Н. А.; от СКБ КП ИКИ РАН — Ангаров В. Н., Калужный А. В.; от ПО «Полёт» — Седых О. Ю.

В ходе выполнения проекта показано, что для небольших КА наиболее перспективны спектроскопические измерения в ближнем ИК-диапазоне с высоким спектральным разрешением, позволяющим различить отдельные ненасыщенные линии в слабых полосах  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ .

Прототипом аппаратуры является спектрометр РУСАЛКА (Ручной Спектральный АнаЛизатор Компонентов Атмосферы), подготовленный (вне рамок проекта РФФИ) для проведения пилотного эксперимента с тем же названием для измерений парниковых газов на российском сегменте Международной космической станции (РС МКС) (2008–2009). В дальнейшем предложено использовать аппаратуру для проведения глобальных измерений на микроспутниковой платформе.

В наземных условиях отработана методика эксперимента: лабораторные калибровки спектрометра с использованием газовых смесей и многопроходных оптических ячеек, наблюдения прямого и рассеянного солнечного излучения. Разрабатываются алгоритмы спектральных измерений, создается программное обеспечение для записи,



сохранения и калибровки спектральных данных, соответствующих постановке задачи первых «пилотных» орбитальных экспериментов на борту российского сегмента МКС и в составе научной аппаратуры микроспутника «Чибис». Небольшая собственная масса спектрометра (меньше 2 кг) и отсутствие в его составе движущихся механических частей обеспечивали его конструктивное соответствие возможностям разрабатываемой микроспутниковой платформы нового поколения, названной «Чибис-К».

Помимо его основной задачи, используя опыт, полученный при реализации проектов ВЕНЕРА-ГАЛЛЕЙ, ФОБОС и ИНТЕРБОЛ проведены проработки в области создания датчиков электромагнитных параметров космической плазмы — магнитометров переменного и постоянного полей, измерителей напряжённости электрического поля и плотности пространственного тока. В результате исследований создан оригинальный сверхлёгкий вариант индукционных магнитометров (ИМ). Эти новые ИМ могут иметь частотный диапазон около шести декад с верхней границей  $\sim 1$  МГц, уровень шумов — несколько фемтотесла и массу около 75 г, включая электронику. Создана облегчённая модель электрического зонда для измерения напряжённости электрического поля. Разработан новый прибор — волновой зонд, объединяющий три датчика в одном корпусе: шелевой зонд Ленгмюра, ИМ и измеритель электрического потенциала. Эта работа также проводилась по программе ПЕРСПЕКТИВА (2005), тема «Разработка перспективных датчиков магнитного поля для физических измерений и контроля электромагнитной чистоты космических аппаратов». Научный руководитель — доктор физико-математических наук Климов С. И.

2. Исследования механизмов высотных молний с использованием специализированной космической платформы нового поколения и создание бортовой специальной аппаратуры для изучения атмосферных разрядов были поддержаны РФФИ (проект № 06-02-08076-офи «Новые физические механизмы электрических разрядов в атмосфере»). Руководитель проекта — академик РАН Гуревич Александр Викторович (Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук — ФИАН). Основные исполнители: от ФИАН — Зыбин К. П., Птицын М. О.; от ИКИ РАН — Зеленый Л. М., Климов С. И., Новиков Д. И., Родин В. Г., Скальский А. А.; от Научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ) — Караштин А. Н.; от НИИЯФ МГУ — Свертилов С. И., Яшин И. В.

На основе проделанных в ходе выполнения гранта расчетов сформулированы требования к экспериментальному изучению высотных

разрядов. Основным требованием является одновременное измерение радио и гамма-излучений в субмикросекундном временном диапазоне. Измерение оптического и ультрафиолетового излучений должно служить цели грубого определения местонахождения источника излучения.

Проведена разработка экспериментального подхода к исследованию высотного разряда с использованием специализированной космической платформы нового поколения и созданию бортовой специальной аппаратуры для изучения атмосферных разрядов. Разработка методики создания и использования микроспутниковых (<100 кг) платформ для фундаментальных и прикладных исследований Земли и околоземного космического пространства является комплексной проблемой как научно-технического плана, связанной с разработкой и использованием современных космических аппаратов, так и с научно-методическими проблемами проведения фундаментальных космических исследований. Все эти проблемы логически связаны иерархией подготовки и проведения экспериментов на борту КА.

Работы, проведённые по вышеуказанным проектам, конечно, способствовали научно-методическому обеспечению микроспутниковых программ. Однако изготовление «железа», т.е. самого космического аппарата и его научной аппаратуры, эти проекты финансово не обеспечивают.

ИКИ РАН и, в первую очередь, директор Л. М. Зеленый всесторонне изыскивали возможности финансирования разработки и изготовления микроспутников. Поскольку задача мониторинга парниковых газов начала отрабатываться в эксперименте РУСАЛКА на российском сегменте Международной космической станции, то было принято решение о реализации проекта по исследованию грозовых разрядов на микроспутнике «Чибис-М» (М — означает молнии), несмотря на то, что по «Чибис-К» уже была разработана часть конструкторской документации.

Научно-методическая проработка проекта «Чибис-М» сконцентрировано проводилась по проекту РФФИ «Ионосферные исследования физических механизмов электрических разрядов в атмосфере» (№ 09-05-1358709-05-13587-офи\_ц — конкурс целевых ориентированных фундаментальных исследований). Руководитель проекта — Зеленый Лев Матвеевич, директор ИКИ РАН. Основные исполнители: от ИКИ РАН — Ангаров В. Н., Белякова Л. Д., Готлиб В. М., Климов С. И., Козлов И. В., Новиков Д. И., Родин В. Г., Рябова А. Д., Скородумов В. Н., Суханов А. А., Черногорова Н. А., Эйсмонт Н. А.; от ФИАН — Гуревич А. В.; от НИИЯФ МГУ — Свертилов С. И.



В итоговом отчёте по проекту (15.01.2011) отмечено:

1. Проведён физический анализ динамических характеристик импульсов радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения для определения метрологических характеристик соответствующих детекторов.

2. Разработана алгоритмическая модель системы сбора измерительной информации радио-, ультрафиолетового и гамма-излучения детекторов, обеспечивающей субмикросекундное временное разрешение.

3. Проведён баллистический расчёт параметров орбиты КА, максимально обеспечивающей проведение фундаментального космического эксперимента.

4. Разработана научно-методическая программа реализации фундаментального космического эксперимента.

По проекту исполнителями выполнен большой объём сверхплановых работ:

- Исследованы физические характеристики приборов, входящих в состав КНА «Гроза». Получение параллельно с приборами РЧА, ДУФ, РГД информации с ЦФК и МВК будет способствовать более надёжной идентификации регистрации высотного разряда.

На основе положительных результатов лабораторных исследований всех детекторов КНА «Гроза» разработаны техническое задание (ТЗ) на КНА «Гроза» и конструкторская документация на изготовление бортовых приборов КНА «Гроза», изготовлены технологические и лётные образцы приборов КНА «Гроза» и проведён полный цикл наземных испытаний, предъявляемых к научной аппаратуре, устанавливаемой на космических аппаратах.

- На основе ТЗ на КНА «Гроза» и проведённых расчётов траекторно-баллистических параметров орбиты КА, максимально обеспечивающей проведение фундаментального космического эксперимента разработана конструкторская документация на изготовление микроспутника «Чибис-М».

Изготовлен микроспутник «Чибис-М» с КНА «Гроза» (общая масса 40 кг), предназначенный для исследования новых физических механизмов в высотных атмосферных разрядах. В мировой практике космических исследований такой КА создаётся впервые. Вывод микроспутника «Чибис-М» на орбиту будет осуществлён с использованием инфраструктуры Российского сегмента Международной космической станции от транспортного корабля (ТК) «Прогресс-М».

Участники проекта провели полный цикл наземных испытаний, предъявляемых к космическим аппаратам, работающим в инфраструктуре Российского сегмента Международной космической станции.

- Создан сайт <http://chibis.cosmos.ru>, где представлены более подробные данные о проекте «Чибис-М».

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

- Участники проекта провели полный цикл испытаний по управлению работой МС «Чибис-М» на орбите и приёму научной информации с использованием Центра управления ИКИ РАН (СКБ КП ИКИ РАН, Таруса).

Объём вышеперечисленных работ убедительно свидетельствует о высокой подготовке к полёту, что в конечном итоге привело к превышению гарантийного срока работы «Чибис-М» в полёте более чем в 2,5 раза.

Основополагающим фактором начала финансирования «Чибис-М» из средств РАН явилось участие в этом проекте ФИАН, где под руководством Г.А. Месяца — вице-президента РАН, директора ФИАН — исследовались высокоэнергетические процессы, которые, как показали предшествующие эксперименты, могли реализовываться в молниевых разрядах.

Перейдём к изложению истории технической реализации рассмотренных выше микроспутниковых проектов.

### 3. СОЗДАНИЕ МИКРОСПУТНИКОВ

#### 3.1. Разработка и изготовление микроспутника «Колибри-2000»

Разработка «Колибри-2000» началась с изданием 7.02.2000 г. директором СКБ КП ИКИ РАН М. Б. Добряном приказа № 20.

*«На основании заключённого соглашения... финансируемого через грант RХО-842 Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF)*

*Приказываю:*

1. Открыть заказ № 427 по проекту «Разработка, изготовление и испытания Научно-исследовательского школьного спутника-1 „Колибри“ (тема «МС «Колибри-1») с 1 февраля 2000 г.

2. Назначить:

- главным конструктором МС «Колибри-1» заместителя директора по основной деятельности СКБ КП ИКИ РАН Ангарова В. Н.;

- руководителем работ по изготовлению МС «Колибри-1»... и его наземным испытаниям главного инженера СКБ КП ИКИ РАН Наумова А. Н.;

- ведущим конструктором-механиком МС «Колибри-1» начальника бюро 117 Калужного А. В.;

— руководителем комплексной группы электроники МС «Колибри-1» ведущего конструктора отдела 110 Козлова В. М.

3. Учитывая жесткие сроки реализации проекта и ограниченное финансирование, все работы по МС «Колибри-1» организовать и проводить в рамках временного творческого коллектива».

Работа пошла.

Руководитель проекта «Колибри-2000» Г. М. Тамкович и директор СКБ КП ИКИ М. Б. Добрян 17 февраля утвердили разработанный главным конструктором проекта «Колибри-2000» В. Н. Ангаровым «Предварительный план-график разработки, изготовления и наземных испытаний российско-австралийского школьного исследовательского микроспутника „Колибри-2000“», ориентированный на поставку в РКК «Энергия» 15.08.2000 г. План график согласовали: руководитель комплекса наземных испытаний В. В. Высоцкий, куратор проекта от РКК «Энергия» С. И. Васильев, главный инженер СКБ КП ИКИ РАН А. Н. Наумов, научный руководитель проекта «Колибри-2000» С. И. Климов и научный руководитель комплекса анализатора частиц и полей (АЧП) О. Р. Григорян.

С самого начала «Колибри-2000» рассматривался как «летающий прибор», роль которого выполнял комплекс научной аппаратуры, структурная схема которого представлена на рис. 16, определивший основные характеристики микроспутника.

#### *Основные характеристики микроспутника «Колибри-2000»*

Масса, включая: .....	20,5 кг
• трёхкомпонентный феррозондовый магнитометр (ТФМ) [Афанасьев и др., 2002]. .....	0,8 кг
• анализатор частиц и полей (АЧП) [Грачёв и др., 2002] .....	2,8 кг
• магнито-гравитационная система (МГС) одноосной ориентации и стабилизации .....	2,7 кг
Конструкция и служебные системы .....	14,2 кг
Энергоёмкость 0,5 м <sup>2</sup> солнечных панелей .....	30...60 Вт
Одноосная система ориентации, не хуже .....	+10°
Радиоканал .....	145/435 МГц

Важным фактором, способствовавшим оперативному проведению работ, было утверждённое руководителем проекта НИШ МС «Колибри-2000» Г. М. Тамковичем, согласованное заместителем руководителя проекта НИШ МС «Колибри-2000» В. В. Высоцким и на-

чальником ВП 5507 А.М. Коптевым, а также главным конструктором МС «Колибри-2000» В.Н. Ангаровым и научным руководителем проекта МС «Колибри-2000» С.И. Климовым «Техническое решение о порядке приёмки и поставке комплекса научной аппаратуры НИИ МС „Колибри-2000“», в котором было отмечено «В связи с недостаточным финансированием и сжатыми сроками разработки, изготовления и испытаний комплекса научной аппаратуры, а также автономностью работы экспериментального МС „Колибри-2000“ принимается следующее РЕШЕНИЕ:

1. Разработку, изготовление, автономные испытания комплекса научной аппаратуры вести с приёмкой отделом технического контроля (ОТК).

2. Поставку комплекса научной аппаратуры на наземные комплексные испытания в составе МС „Колибри-2000“ осуществлять под контролем ОТК».

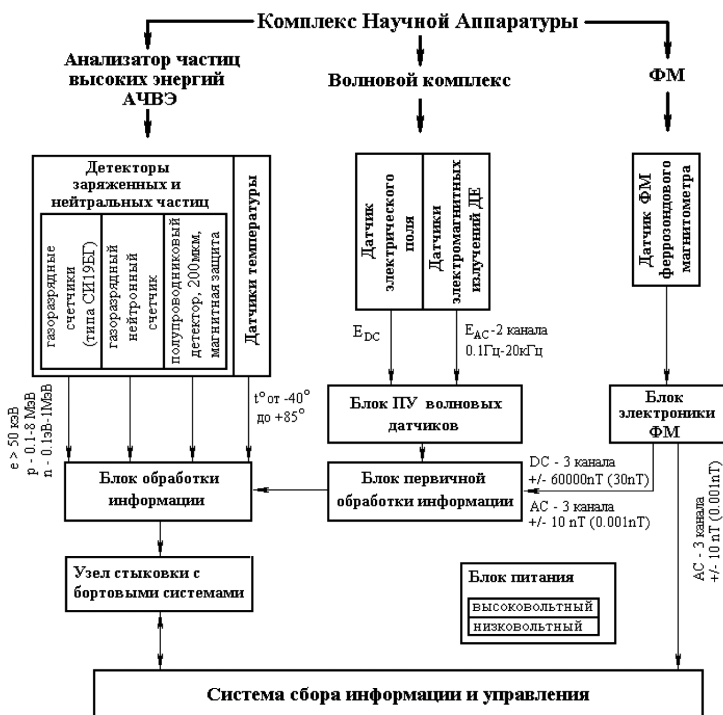


Рис. 16. Структурная схема комплекса научной аппаратуры МС «Колибри-2000»

Входящие в состав комплекса научной аппаратуры приборы:

- трёхкомпонентный феррозондовый магнитометр (ТФМ) разрабатывался по ТЗ ИКИ РАН (С. И. Климов) и изготавливался во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии имени Д. И. Менделеева (ВНИИМ) (Ю. В. Афанасьев, Санкт-Петербург);
- анализатор частиц и полей (АЧП) разрабатывался и изготавливался в НИИЯФ МГУ (М. И. Панасюк, О. Р. Григорян, С. И. Климов);
- блок первичной обработки информации, блок обработки информации, узел стыковки с бортовыми системами разрабатывались и изготавливались в СКБ КП ИКИ РАН (В. М. Козлов).

Входной контроль научной аппаратуры, её автономные испытания в составе МС и комплексные испытания МС проводились в СКБ КП ИКИ РАН.

При проведении наземных испытаний космических аппаратов в организациях космической промышленности используется большой парк испытательного оборудования, как правило, уникального для каждого образца КА или их серии.

Учитывая наличие на микроспутнике раскрывающихся элементов (солнечные батареи, антенны, датчики физических приборов), необходимо было во время испытаний обеспечить их надёжное функционирование. В СКБ КП ИКИ РАН был создан стенд с оригинальной системой обезвешивания, имитирующей невесомость.

### **3.2. Транспортно-пусковые контейнеры**

Забегая несколько вперёд, констатируем, что РКК «Энергия» (заместитель генерального конструктора РКК «Энергия», заместитель руководителя проекта Ю. И. Григорьев) взяла на себя запуск «Колибри-2000» (впоследствии и «Чибис-М») и выведение его на орбиту с борта транспортно-грузового корабля (ТГК) «Прогресс-М1-7».

Это означало, что конструкции МС должны предусматривать их размещение (упаковку) в ТГК и обеспечивать отделение от транспортно-пусковых контейнеров (ТПК). Для «Колибри-2000» при участии специалистов РКК «Энергия», а для «Чибис-М» по ТЗ РКК «Энергия», ТПК разрабатывались в СКБ КП ИКИ РАН.

Масса ТПК, устанавливаемого на внутреннем стыковочном шпангоуте ТГК, для «Колибри-2000» составила всего 7 кг. Для выведения

в 1997 г. спутника **X-Mir Inspector** массой 70 кг потребовался контейнер массой 120 кг [Лисов, 2002].

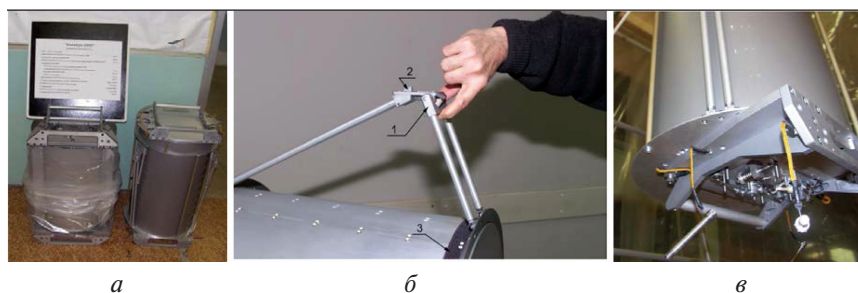
Благодаря более плотной компоновке МС «Чибис-М» (масса 40 кг), объём его ТПК (рис. 17а) увеличился всего на 10 % по сравнению с ТПК «Колибри-2000» (масса 20,5 кг).

Исходя из требований к проведению эксперимента ТПК должны обеспечивать:

- механическую защиту МС при транспортировании, погрузочно-разгрузочных и монтажных работах;
- обеспечение безопасности экипажа МКС на всех этапах транспортировки, технического обслуживания и эксплуатации ТПК.
- связь по электропитанию, только «Чибис-М», для подзарядки буферных батарей МС от блока силовой коммутации ТГК;
- запуски МС в автоматическом режиме с борта ТГК.

В целом, ТПК представляет собой специализированную механическую конструкцию. В его состав входят: собственно контейнер, механизм зачехлки МС, механизм фиксации контейнера на стыковочном шпангоуте ТГК, механизм выдвижения МС, защитные крышки и защитный экран, зарядный блок, только для «Чибис-М».

Уникальным является разработанное ведущим конструктором-механиком А.В. Калужным телескопическое устройство фиксации (ТУФ) контейнера на стыковочном шпангоуте (см. рис. 14, в центре), обеспечивающее надёжное крепление ТПК к шпангоуту тремя ТУФ.



**Рис. 17.** Сопоставление ТПК «Колибри-2000» (слева) и «Чибис-М» (справа) (а); оригинальное универсальное телескопическое устройство фиксации (ТУФ) в раскрытом положении (б): 1 — планка замка узла ТУФ; 2 — замок; 3 — ворсомолния на корпусе для закрепления защитной «юбки» (в центре); механизм выдвижения «Чибис-М» из ТПК (в)

В значительной мере ТПК определяет и конфигурацию конструктива МС. Исходя из этого разработка и испытания ТПК являются практически первым этапом проектов. Для отработки механизмов выдвигания МС, а затем и конструктива МС на имитацию раскрытия его элементов на орбите необходимы специальные стенды «обезвешивания», имитирующие невесомость (см. ниже разд. 3.3, рис. 18, 19).

Методы выдвигания МС из ТПК, обеспечивающие в автоматическом режиме вывод МС на автономную орбиту, были различны для «Колибри-2000» и «Чибис-М».

Выдвижение «Колибри-2000» осуществлялось за счёт раскрытия (именно раскрытия) гравитационной штанги, когда возникает динамическая сила при отделении одной массы — катушки гравитационной штанги — от массы тела МС (как показано на рис. 19). При этом разделении обеспечивалась скорость отхода «Колибри-2000» от ТГК «Прогресс-М1-7» 0,2 м/с.

Выдвижение «Чибис-М» осуществлялось пружинным механизмом (см. рис. 17в) со скоростью отделения 0,5 м/с.

### 3.3. Стенды обезвешивания

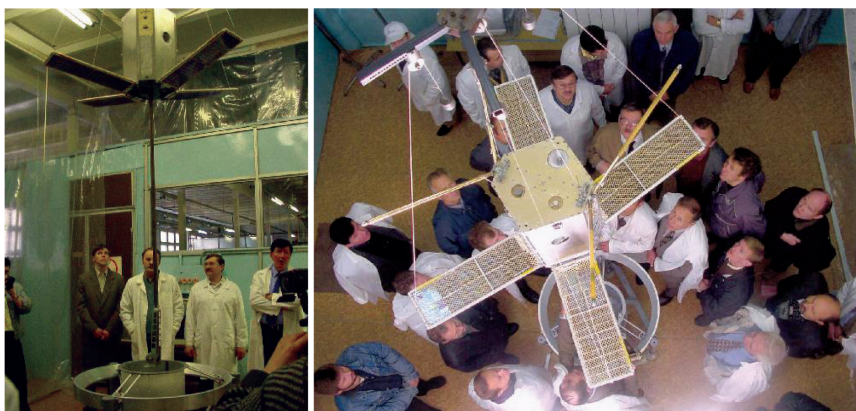
Для испытаний «Колибри-2000» в СКБ КП ИКИ РАН были созданы два стенда обезвешивания:

- вертикального, для отработки раскрытия, преимущественно, солнечных панелей (рис. 18);
- горизонтального, для раскрытия гравитационной штанги и оценки скорости выдвигания МС из ТПК, как в нормальных условиях (рис. 19), так и при оценке этих параметров в большой термовакуумной камере (рис. 20) с охлаждением до температуры жидкого азота.

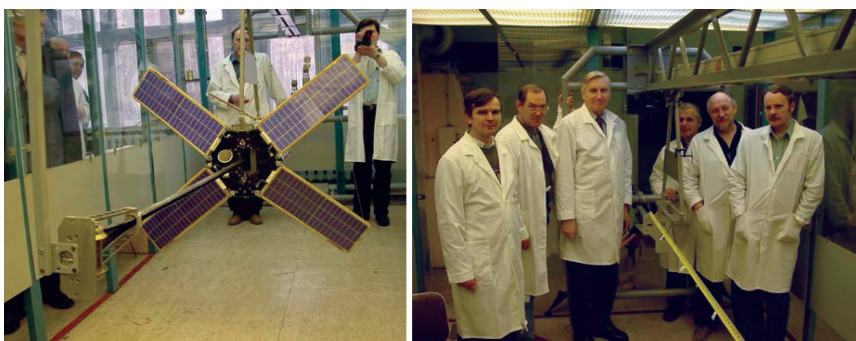
Фотографии вышеприведённых испытаний (см. рис. 20) произвели большое впечатление на австралийских школьников и они, конечно, поделились ими с родителями и окружающими, которые во время визита в августе 2001 г. в Москву также захотели увидеть эту камеру (рис. 21), а также и другое испытательное оборудование. К сожалению, они не увидели «Колибри-2000», который в это время находился на Байконуре.

В данной части правильно представить информацию и о стенде обезвешивания МС «Чибис-М», имеющем свои специфические особенности, связанные как с увеличением ~2 раза массы МС, так и размещением солнечных панелей и гравитационной штанги.

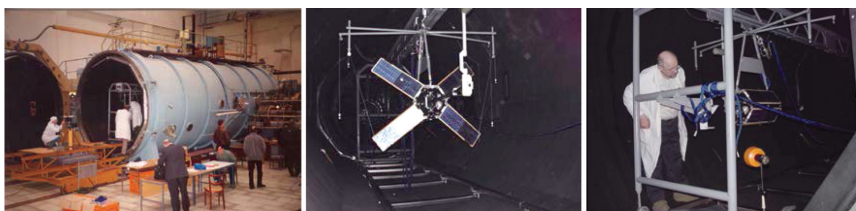




**Рис. 18.** СКБ КП ИКИ РАН. Отработка раскрытия солнечных панелей в нормальных условиях



**Рис. 19.** СКБ КП ИКИ РАН. Отработка раскрытия гравитационной штанги в нормальных условиях



**Рис. 20.** ИКИ РАН. Отработка раскрытия гравитационной штанги в термовакuumной камере





**Рис. 21.** ИКИ РАН. Визит австралийской делегации



**Рис. 22.** СКБ КП ИКИ РАН. Отработка на стенде вертикального обезвешивания процесса выхода МС из ТПК и выдвижения штанги (справа с красным флажком)

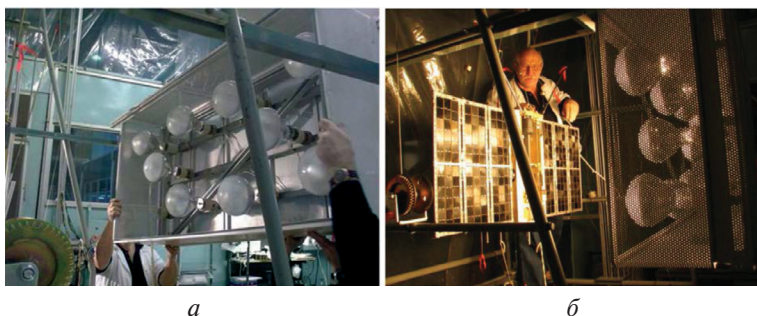
Отработка выхода МС из ТПК и раскрытия панелей в СКБ КП ИКИ РАН представлена на рис. 22.

Проведено более 100 циклов испытаний, подтвердивших раскрытие элементов с надёжностью 0,95.

Демонстрация на стенде раскрытия элементов «Чибис-М» была проведена и в РКК «Энергия» (рис. 23) в рамках входного контроля ТПК.



**Рис. 23.** РКК «Энергия». Демонстрация раскрытия элементов «Чибис-М» на стенде



**Рис. 24.** СКБ КП ИКИ РАН. Проверка эффективности солнечных батарей и системы подзарядки аккумуляторов «Чибис-М»: *а* — имитатор солнечного излучения; *б* — освещение солнечных панелей имитатором солнечного излучения

Важным этапом испытаний на стенде была отработка процесса выхода МС из ТПК, которые проводились, как в СК БКП ИКИ РАН, так и в РКК «Энергия» (см. ниже разд. 5).

На стенде (рис. 24) проводилась отработка циклов заряда аккумуляторов системы электропитания от солнечных батарей.

Испытания системы ориентации (СОС) специалистами Инженерно-технологического центра «ИТЦ» «СКАНЭКС» проводились на стенде (рис. 25, 26) с введением дополнительно системы катушек Гельмгольца, имитирующей магнитное поле Земли, являющееся репером для магнитометра СОС.



**Рис. 25.** СКБ КП ИКИ РАН. Испытания СОС в катушках Гельмгольца (слева — вид сверху)



**Рис. 26.** СКБ КП ИКИ РАН. Определение моментов инерции и настройка СОС «Чибис-М»



**Рис. 27.** СКБ КП ИКИ РАН. Настройка приёмо-передающих антенн служебной радиолинии ДОКА «Чибис-М»

Важным этапом испытаний была настройка приёмо-передающих антенн служебной радиолинии «Чибис-М» (рис. 27) специалистами Научно-исследовательской лаборатории аэрокосмической техники (НИЛАКТ) ДОСААФ (Добровольное общество содействия армии, авиации и флоту, ныне РОСТО — Российская оборонная спортивно-техническая организация).

#### 4. ИСПЫТАНИЯ СТАНЦИИ ПРИЁМА НАУЧНОЙ И ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ «ТАРУСА»

Проверка готовности станции «Таруса» (рис. 28) к приёму научной телеметрической информации (НТМИ) осуществлялась специалистами СКБ КП ИКИ РАН в соответствии с требованиями ТЗ и разработанной программой и методикой испытаний (ПМИ).

Первым этапом была проверка линейной части радиоканала, включая антенну с системой управления, облучатель, малошумящие усилители и конвертеры. В соответствии с ПМИ проведены испытания программного наведения антенны, диаграммы направленности антенны, эффективности линейного тракта станции. Результаты испытаний подтвердили заданные характеристики станции:

- ширина диаграммы направленности  $1,5 \pm 0,2^\circ$  по уровню 3 дБ;
- движение антенны по программе с ошибкой не более  $0,2^\circ$ ;
- эффективное превышение шумов Солнца над внутренними шумами системы более 16 дБ, что соответствует отношению  $S/T \approx 0,08 \dots 0,1$ .



**Рис. 28.** СКБ КП ИКИ РАН. Пульт управления (слева) антенной (справа) станции «Таруса»



На втором этапе испытан канал выделения телеметрической информации и передачи её на сервер проекта. В соответствии с ПМИ, была проведена проверка режима демодуляции тестового сигнала, загрузка полученных данных в компьютер промежуточного хранения НТМИ и передача этих данных на сервер ИКИ. Проверка проведена без замечаний для двух скоростей передачи информации 1 и 0,5 мбит/с.

Проверка голосовой связи в соответствии с ПМИ прошла успешно без замечаний.

В результате комплексной проверки было определено, что в целом станция «Таруса» готова к приёму научной телеметрической информации с микроспутника «Чибис-М».

## 5. ИСПЫТАНИЯ «ЧИБИС-М» В РКК «ЭНЕРГИЯ»

Особое внимание на этапе наземных испытаний уделялось экспериментальной отработке средств расчёвки и отделения микроспутника в условиях действия факторов открытого космического пространства, проведённой с использованием экспериментальной базы РКК «Энергия».

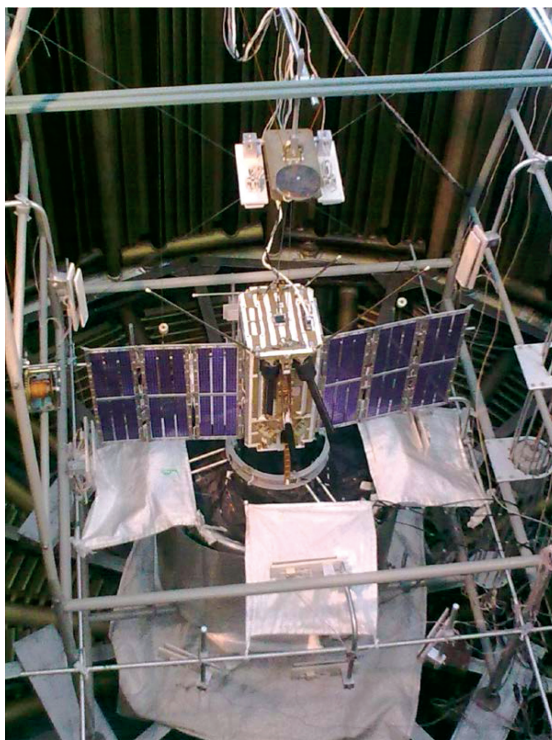
Для проверки надёжности раскрытия на орбите всех механических систем при реальных температурных режимах на орбите, на совещании со специалистами РКК «Энергия» (рис. 29) было согласовано решение о проведении в большой вакуумной камере испытаний ТПК с МС «Чибис-М».



Рис. 29. СКБ КП ИКИ РАН. Совещание со специалистами РКК «Энергия»



**Рис. 30.** РКК «Энергия», г. Королёв. Загрузка стенда в термовакuumную камеру (слева); ТПК с «Чибис-М» в камере (справа, вид сверху)



**Рис. 31.** РКК «Энергия», г. Королёв. Момент выхода «Чибис-М» из ТПК и раскрытие солнечных батарей в ходе проведения термовакuumных испытаний

Стенд обезвешивания с установленным в нём ТПК с образцом конструкторско-доводочных испытаний (КДИ) «Чибис-М» был помещён в термовакуумную камеру (рис. 30).

В результате проведения этих испытаний (рис. 31) было обеспечено:

- подтверждение работоспособности ТПК при имитации воздействия внешних тепловых потоков, соответствующих условиям лётной эксплуатации контейнера в составе ТПК после его отделения от РС МКС;
- подтверждение, при заданных тепловых условиях, работоспособности механических узлов ТПК, обеспечивающих выведение МС, а также механических узлов МС, используемых в процессе его отделения от ТПК и предназначенных для автоматического раскрытия элементов конструкции МС после отделения.

В ходе подготовки к проведению термовакуумных испытаний ТПК с микроспутником специалистами РКК «Энергия» был проведён тепловой расчёт, максимально учитывавший условия эксплуатации рассматриваемой технической системы в составе МКС и ТКГ на орбите высотой 500 км.

Шестнадцать вариантов расчёта отличались исходными данными по ориентации МС и величиной угла  $\beta$  между плоскостью орбиты и направлением на Солнце. В результате определён диапазон температуры ТПК с МС на момент его отделения, составивший от  $-10$  до  $+32,6$  °С, что находилось в пределах допустимых по ТЗ эксплуатационных значений (от  $-40$  до  $+50$  °С).

Термовакуумные испытания выполнялись в два этапа (для условий нахождения ТПК с МС в составе ТКГ и для условий автономного полёта МС). Испытания прошли без замечаний, все поставленные задачи были успешно решены.

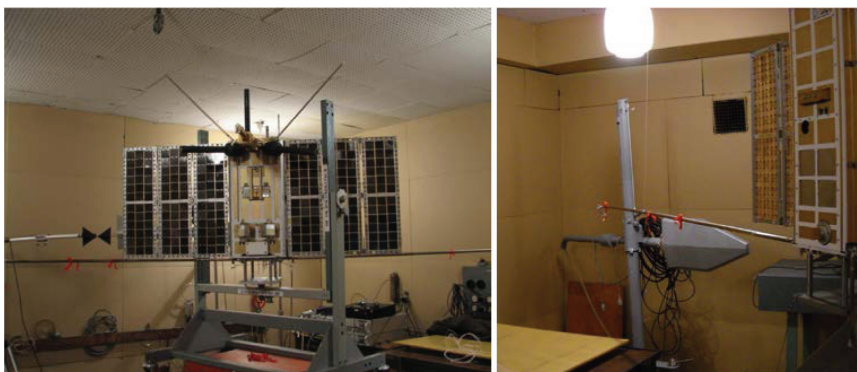
## **6. КОНСТРУКТОРСКО-ДОВОДОЧНЫЕ И ПРИЁМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МИКРОСПУТНИКОВ**

Реализация программ проектов КОЛИБРИ-2000 и ЧИБИС-М в инфраструктуре Российского сегмента МКС предъявляет специфические требования к проведению их конструкторско-доводочных испытаний (КДИ) и приёмо-сдаточных испытаний (ПСИ).





**Рис. 32.** ИКИ РАН, Москва. Виброиспытания (слева); термовакuumные испытания с имитатором Солнца (в центре и справа)



**Рис. 33.** ИКИ РАН, Москва. Испытания МС «Чибис-М» в экранированной камере: по параметрам электромагнитной совместимости (слева); по электромагнитной восприимчивости (справа)



**Рис. 34.** СКБ КП ИКИ РАН, Таруса. Стенд остаточной намагниченности лётного образца «Колibri-2000»: механическая юстировка (слева); измерения (справа)

Термовакуумные испытания МС сравнительно дешёвы из-за малогабаритности используемой моделирующей установки, однако при этом повышаются требования к точности воспроизведения внешних лучистых потоков так как даже небольшая ошибка в уровне поглощённых потоков, приводит к значительному искажению теплового режима МС.

Для МС «Колибри-2000» были проведены термовакуумные испытания на стенде с необычной системой терморегулирования «проточного» типа (рис. 32, в центре и справа). Для данных испытаний была использована термовакуумная установка объёмом 2,5 м<sup>3</sup>, оснащённая азотными криоэкранами и комбинированным имитатором внешних лучистых потоков, включающим оптический имитатор Солнца и ИК-имитатор поглощённого лучистого потока. При имитации внешних лучистых потоков использовался комбинированный метод, сочетающий методы падающего и поглощённого лучистого потока.

Результаты испытаний показали, что обеспечиваемый системой терморегулирования тепловой режим аппаратуры МС лежит в допустимом диапазоне +8...+42 °С. Кроме того, испытания подтвердили корректность применённой для расчёта температур МС тепловой модели.

Конструкторско-доводочные испытания для обоих МС проводились практически по стандартным программам, включающим, в частности по МС «Чибис-М»: механические (см. рис. 32, слева), термовакуумные (см. рис. 29, в центре и справа), по параметрам электромагнитной совместимости (рис. 33).

Специфическими для МС «Колибри-2000» были испытания по определению остаточной намагниченности (рис. 34). В гравитационной системе ориентации «Колибри-2000» из-за консерватизма гравитационного поля Земли при отсутствии внешней и внутренней диссипации энергии точность ориентации определяется начальными условиями и внешними возмущающими моментами, к примеру, от аэродинамического торможения. Для диссипации энергии МС используются дополнительные пассивные или активные демпферы. Первые отличаются от Вторых отсутствием источника энергии, но обеспечивают худшую динамическую точность гравитационной системы, или тяжелы и сложны в изготовлении. В качестве активного демпфера могут применяться системы с магнитными приводами на электромагнитах. По сравнению с другими активными демпферами, к примеру, гиродемпферами в упруговязком подвесе, они значительно проще и легче при практически аналогичной эффективности. Предварительное изучение динамики демпфирования колебаний «Колибри-2000»

показало, что требуются электромагниты с магнитным моментом  $0,1...0,2 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ . Такие устройства, как показали результаты разработки, могут потреблять небольшую мощность (не более  $0,6 \text{ Вт}$  при массе  $0,01 \text{ кг}$ ).

Оценка влияния электромагнитов и их остаточных магнитных моментов на показания магнитометров при проведении точных магнитных измерений на орбите проводилась при наземных испытаниях МС «Колибри-2000». Результаты этих исследований показали, что при создании электромагнитами максимальных магнитных моментов показания магнитометра по каждому измерительному каналу изменяются на величину не более  $1 \%$ . Так, например,  $30.08.2001 \text{ г.}$  (время замера показаний  $18 \text{ ч } 26 \text{ мин } 08 \text{ с}$ ) при создании электромагнитометром ЭМУ-Х максимального магнитного момента  $0,2 \text{ А} \cdot \text{м}^2$  зафиксированы следующие изменения показаний магнитометра: по каналу Х — с  $2,351$  до  $2,360 \text{ В}$  ( $0,4 \%$ ), по каналу Y — с  $1,999$  до  $2,009 \text{ В}$  ( $0,5 \%$ ), по каналу Z — с  $1,363$  до  $1,373 \text{ В}$  ( $0,7 \%$ ). Влияние остаточного магнитного момента электромагнитов на показания магнитометра в процессе этих исследований зафиксировано не было.

Приёмо-сдаточные испытания, как последний этап наземной экспериментальной отработки, реально проводились в два этапа:

- ПСИ в рамках комплексных испытаний КНА по программе автономного полёта на орбите («Колибри-2000», рис. 35), при участии разработчиков КНА, включая зарубежных («Чибис-М», рис. 36);
- ПСИ ТПК по массово-габаритным параметрам.

Результаты наземной экспериментальной отработки ТПК с «Чибис-М» рассматривались на заседаниях рабочих групп организаций-участников космического эксперимента различных уровней. Немаловажное значение придавалось и всестороннему освещению научных задач проекта, а также его готовности к реализации. Итоги наземной подготовки эксперимента были подведены  $14 \text{ июня } 2011 \text{ г.}$  в РКК «Энергия» во время заседания расширенного научно-технического совета (НТС) РКК «Энергия» по теме «Научные задачи запуска и особенности конструкции микроспутника „Чибис-М“ с целью экспертной оценки основных проектно-конструкторских решений, принятых при создании микроспутника». На заседании были рассмотрены вопросы готовности ТПК и МС к заключительному этапу их интеграции в состав ТГК «Прогресс-М».

После заседания НТС в цехе Завода экспериментального машиностроения РКК «Энергия» были продемонстрированы (рис. 37) процесс выхода лётного образца «Чибис-М» из ТПК и раскрытия его элементов конструкции в условиях обезвешивания.



**Рис. 35.** СКБ КП ИКИ РАН. Приёмо-сдаточные испытания лётного образца «Колибри-2000» по параметрам научной аппаратуры (слева) и служебных систем (справа)



**Рис. 36.** СКБ КП ИКИ РАН. Приёмо-сдаточные испытания лётного образца «Чибис-М» с участием специалистов КНА «Гроза» и служебных систем




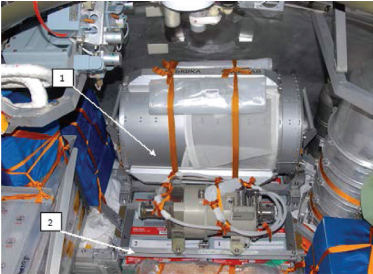
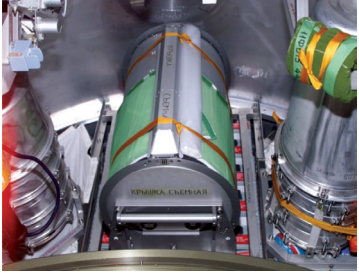
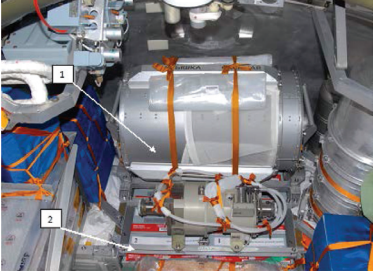
**Рис. 37.** Завод экспериментального машиностроения (ЗЭМ) РКК «Энергия». Демонстрация процесса отделения лётного образца «Чибис-М» от ТПК с раскрытием элементов конструкции МС: 1 — стэнд обезвешивания МС; 2 — МС «Чибис-М»; 3 — ТПК, установленный в макете стыковочного агрегата (СтА)



## 7. ПРЕДПОЛЁТНАЯ ПОДГОТОВКА МИКРОСПУТНИКОВ НА ТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ КОСМОДРОМА БАЙКОНУР

Заключительные операции, проводимые на техническом комплексе (ТК) с микроспутниками «Колибри-2000» и «Чиби́с-М», отражены в табл. 1 «параллельно».

Таблица 1

«Колибри-2000»	«Чиби́с-М»
<p>Заклучительные операции по упаковке (рис. 38а), проверке узлов ТПК проводились перед его установкой в ТГК.</p>	<p>Заклучительные операции по зарядке аккумуляторов МС, упаковке (рис. 38б), проверке узлов ТПК проводились перед его установкой в ТГК.</p>
	
<p>Рис. 38а. ТПК с «Колибри-2000»</p>	<p>Рис. 38б. ТПК с «Чиби́с-М»</p>
<p>ТПК с «Колибри-2000» размещался в грузовом отсеке «Прогресс М1-7» на транспортировочной раме (рис. 39а), закрепленной на силовом каркасе с учётом требуемого направления перегрузок.</p>	<p>ТПК с «Чиби́с-М» размещался в грузовом отсеке «Прогресс-М13-М» на транспортировочной раме (рис. 39б), закрепленной на силовом каркасе с учётом требуемого направления перегрузок.</p>
	
<p>Рис. 39а. ТК Байконур. ТПК с «Колибри-2000» в «Прогресс-М1-7»</p>	<p>Рис. 39б. ТК Байконур. ТПК с «Чиби́с-М» в «Прогресс-М13-М»</p>

## **8. РАБОТА КОСМОНАВТОВ С МИКРОСПУТНИКАМИ НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

После стыковок ТГК с РС МКС «Колибри-2000» и «Чибис-М» находились «на хранении» в течение двух-четырёх месяцев внутри РС МКС, в то время как ТГК выполняли программу «грузовика» по доставке оборудования и топлива, а также коррекции орбиты МКС.

В ходе работ с МС «Колибри-2000» и «Чибис-М» космонавтам на РС МКС были проведены отработанные на Земле («Колибри-2000», рис. 40а и «Чибис-М», рис. 40б), следующие основные операции:

- фотографирование оборудования после разгрузки кораблей «Прогресс»;
- установка ТПК с МС «Колибри-2000» и «Чибис-М» на шпангоутах стыковочных агрегатов (СтА) соответствующего ТГК. Анализ действий экипажей осуществлял ЦУП-К;
- фотографирование ТПК с МС (рис. 41а после их монтажа на СтА (рис. 41б) кораблей «Прогресс» и передача информации на Землю (см. рис. 41 и 42, справа);
- разгерметизация грузовых отсеков кораблей «Прогресс», в которых установлены ТПК с подготовленным к запуску МС.

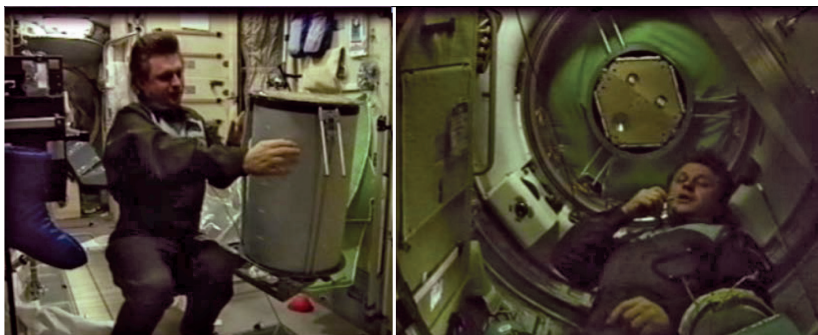
После изложенных выше действий ЦУП-К приступал к выполнению следующих операций как с «Колибри-2000», так и «Чибис-М»:

- расстыковка ТГК с МКС, сопровождающаяся проведением съёмки этого процесса экипажем с помощью ручных видеокамер или автоматически с помощью телекамеры, установленной на агрегатном отсеке служебного модуля (СМ) РС МКС;
- формирование для МС «Чибис-М» специальной орбиты ТГК высотой 480...500 км для отделения МС от ТГК; в этот период осуществлялась подзарядка аккумуляторов от системы электропитания ТГК через зарядное устройство ТПК;
- проведение траекторных измерений для расчёта вектора состояния МС в моменты их отделения;
- построение специальной ориентации кораблей «Прогресс» для отделения МС;
- отделение МС от ТГК; контроль, для «Чибис-М», этого процесса осуществлялся ТВ-камерой корабля «Прогресс М13-М» (рис. 43);
- сход с орбиты и затопление кораблей «Прогресс» в заданных районах Мирового океана.





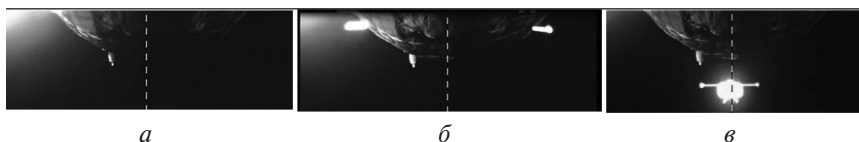
**Рис. 40.** Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина). Тренировки членов экипажей с тренажёрным макетом ТПК: *а* — экипаж 4-й основной экспедиции, командир Ю. Онуфриенко и главный конструктор «Колibri-2000» В. Ангаров (справа); *б* — А.А. Шкаплеров («НИИ ЦПК»), А. Иванишин (НИИ ЦПК»), С. Киреевичев («РКК «Энергия»), А. Калужный (СКБ КП ИКИ РАН)



**Рис. 41.** РС МКС. Космонавт Ю. Онуфриенко проводит подготовительные работы с ТПК с «Колibri-2000» (слева); ТПК установлен на СтА (справа)



**Рис. 42.** РС МКС. Космонавты О. Кононенко и А. Шкаплеров проводят подготовительные работы (слева) и установку ТПК с «Чибис-М» на СтА (справа)



**Рис. 43.** МС «Чибис-М» 25 января 2012 г. 03:18:30 мск (московское время): *а* — То — начало работы ТВ-камеры «Прогресс М13-М»; *б* — То + 5 с, раскрыты солнечные панели МС «Чибис-М»; *в* — То + 15 с, все системы раскрыты, передатчики включены, МС «Чибис-М» в автономном полёте. Старт осуществлён по команде из ЦУП-М



**Рис. 44.** ЦУП-К. Члены команды и студенты при выводе «Колибри-2000» на орбиту



**Рис. 45.** ЦУП-К: расстыковка «Прогресс-М13-М» с МКС (слева); члены команды до (в центре) и после (справа) вывода «Чибис-М» на орбиту

Перечисленные выше операции ЦУП-К были тщательно проработаны при тренировках космонавтов и включены в номинальный план полёта РС МКС.

Работы в ЦУП-М проводились в присутствии членов команд «Колибри-2000» (рис. 44) и «Чибис-М» (рис. 45).

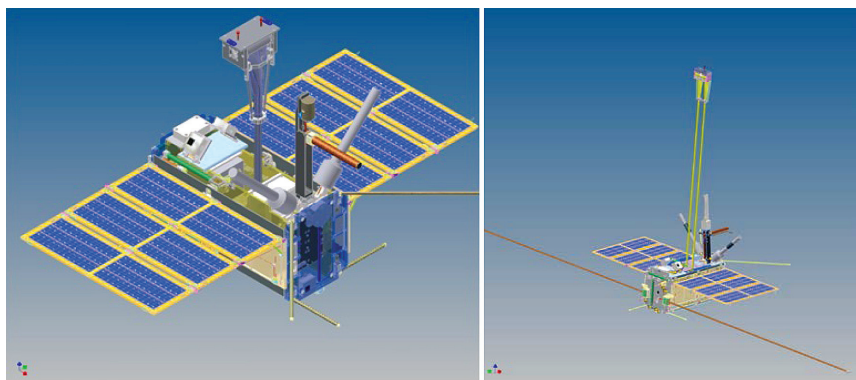
## 9. МИКРОСПУТНИКИ В ПОЛЁТЕ

По данным баллистической службы ЦУП-М:

- «Колибри-2000» (рис. 46) был выведен на орбиту с параметрами:
  - минимальная высота над поверхностью Земли — 368,4 км;
  - максимальная высота над поверхностью Земли — 386,9 км;
  - период обращения — 91,88 мин;
  - наклонение —  $51,63^\circ$ .



**Рис. 46.** «Колибри-2000» на орбите



**Рис. 47.** «Чибис-М» на орбите: в основном режиме орбитальной ориентации (слева); с раскрытой в конце полёта гравитационной штангой (справа)

По требованиям обеспечения безопасности (только после ухода от МКС примерно на 80 км) на «Прогресс М1-7» была передана радиокоманда, по которой «Колибри-2000», используя инерциальную энергию раскрытия собственной гравитационной штанги, самостоятельно вышел из ТПК (оставшегося на «Прогрессе»). Сразу же автоматически раскрылись антенны командно-телеметрической системы и четыре солнечных панели (см. рис. 46).

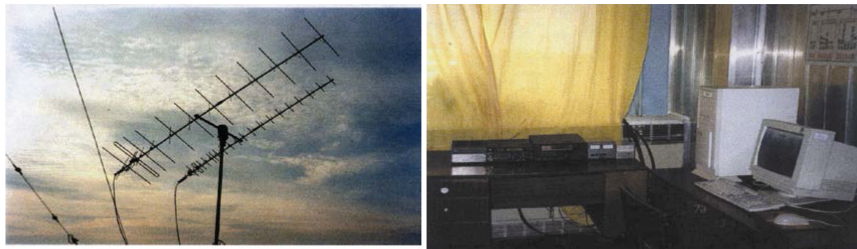
- МС «Чибис-М» (рис. 47) был выведен на орбиту с параметрами:
  - минимальная высота над поверхностью Земли — 497,535 км;
  - максимальная высота над поверхностью Земли — 513,607 км;
  - период обращения — 94,55 мин;
  - наклонение — 51,62°.

Сразу после выхода из ТПК на МС «Колибри-2000» и «Чибис-М» автоматически включались передатчики радиолубительские — «передатчики присутствия» — и радиолубители, заранее оповещавшиеся о запусках МС, сразу же принимали эти сигналы, означавшие, что МС живы и готовы к работе и сбросу, в первую очередь, служебной информации о состоянии всех систем МС. За приём этих сигналов радиолубители получали престижные карточки (бонусы) и благодарности от разработчиков МС.

Телеметрическая (ТМ) служебная информация, в первую очередь, как по «Колибри-2000», так и по «Чибис-М» принималась наземным комплексом управления (НКУ) НИЛАКТ РОСТО (Калуга, рис. 48).

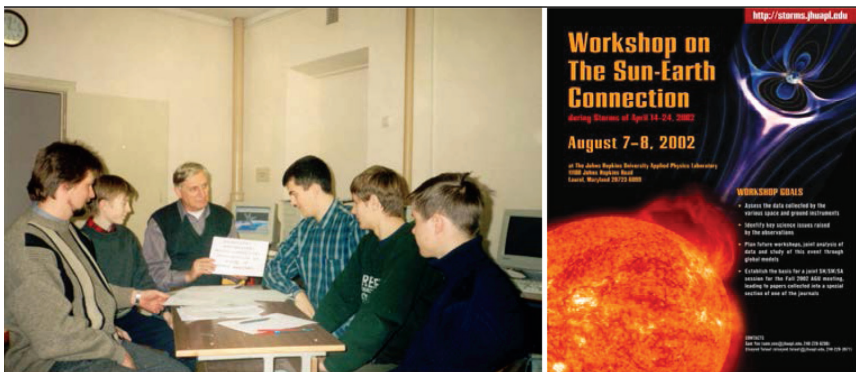
В бортовую память МС «Колибри-2000» были записаны воспроизводимые на орбите и принимаемые радиолубителями:

- голоса пяти российских (на русском и английском) и пяти австралийских школьников, рассказывающих о проекте;
- вальс, специально написанный, как гимн проекта ВЕГА, вручаемый участникам проекта на виниловых пластинках.



**Рис. 48.** Наземный комплекс управления НИЛАКТ РОСТО, Калуга





**Рис. 49.** Школа «Гелиос» ИАТЭ (Обнинск). Обсуждение научных результатов проекта «Чибис-М». Справа — постер международной конференции по событиям на Солнце 14–24 апреля 2002 г.



**Рис. 50.** Наземный комплекс управления НИЛАКТ ДОСААФ, Калуга

Научная информация сбрасывалась также по радилюбительским каналам, на НКУ НИЛАКТ и станции австралийских школ. В ИКИ РАН эта информация хранилась на сервере, с которого она также поступала в НИИЯФ МГУ и школу «Гелиос» ИАТЭ (Обнинск).

Школьники «Гелиос» создали ряд программ дешифровки и визуализации данных, позволившие им изучать процессы космической погоды (рис. 49).

МС «Колибри-2000», запущенный 19 марта 2002 г. в космическое пространство в рамках российско-австралийского научно-образовательного проекта, 3 мая 2002 г. завершил свой орбитальный полет. Полёт продолжался 49 сут, за это время МС совершил 711 витков во-

круг Земли и с ним было проведено свыше 230 сеансов связи с НКУ НИЛАКТ (Калуга) и пунктов приёма и обработки информации в Тарусе, Обнинске и Сиднее (Австралия). Полностью выполнив полётное задание по проведению научных и технических экспериментов, «Колибри-2000» вошёл в плотные слои атмосферы и прекратил своё существование над акваторией Тихого океана.

Полученные уникальные физические результаты были представлены на ряде конференций, включая международные, и опубликованы в журналах (см. список публикаций). Результаты проекта «Колибри-2000» позволили начать работу по подготовке и выпуску учебно-методических пособий, а также с учётом результатов этого полёта, приступить к разработке программы на последующие полёты научно-образовательных микроспутников этой серии.

Как отмечалось выше, основной научной задачей, поставленной для школьников, было изучение процессов космической погоды. Наглядным примером техногенного влияния космической погоды явилось то, что во время работы «Колибри-2000» на орбите 14–24 апреля на Солнце происходили уникальные мощные энергетические процессы, которые активно обсуждались мировой научной общественностью на специальной конференции (см. рис. 49, справа), на которой, к сожалению, по финансовым соображениям, никто из участников проекта не смог принять участия и представить интересные данные.

Эти процессы привели к расширению разогретой атмосферы Земли, что, в свою очередь, резко снизило срок баллистического существования МС на орбите. Это был для школьников наглядный, к их великому сожалению, пример влияния космической погоды.

В работе [Klimov et al., 2005a] отмечено *“The positive correlation of the level of energetic particles, fluctuations in magnetic and electrical fields with activity of the Sun is determined, especially for 17–24 April 2002”*.

В работе [Klimov et al., 2005b] отмечается, что регулярно регистрируемые увеличения потоков электронов в экваториальной зоне могут быть связаны с грозовой активностью [Grigoryan et al., 1995].

По проекту «Чибис-М» НКУ НИЛАКТ ДОСААФ (рис. 50) вошёл составной частью в созданный в ИКИ РАН Наземный сегмент проекта (НСП) (рис. 51), наряду с НКУ в Будапеште (Венгрия) и Панска Вес (Чехия).

По проекту «Чибис-М» НКУ «Таруса» являлся основным по приёму высокоопросной телеметрии с КНА «Гроза» МС, совместно с НКУ в Будапеште и Панска Вес. Вся принятая телеметрическая информация, практически в реальном времени приёма, поступала в Центр управления полётом ИКИ РАН (ЦУП ИКИ).



ЦУП ИКИ обеспечивал реализацию заявленной научной программы проекта [Гуревич и др., 2009]. Научный комитет проекта, оперативно анализируя полученную ТМ, выдавал в главную оперативную группу управления (ГОГУ) рекомендации по программе работы КНА. На основе этих рекомендаций специалисты по приборам КНА «Гроза» выдавали исходные данные по режимам работы приборов в круглосуточно (посменно) дежурившую оперативную группу управления (ОГУ КНА), которая составляла, с учётом состояния всех служебных систем МС, суточные и недельные циклограммы работы, реализуемые НКУ НИЛАКТ.

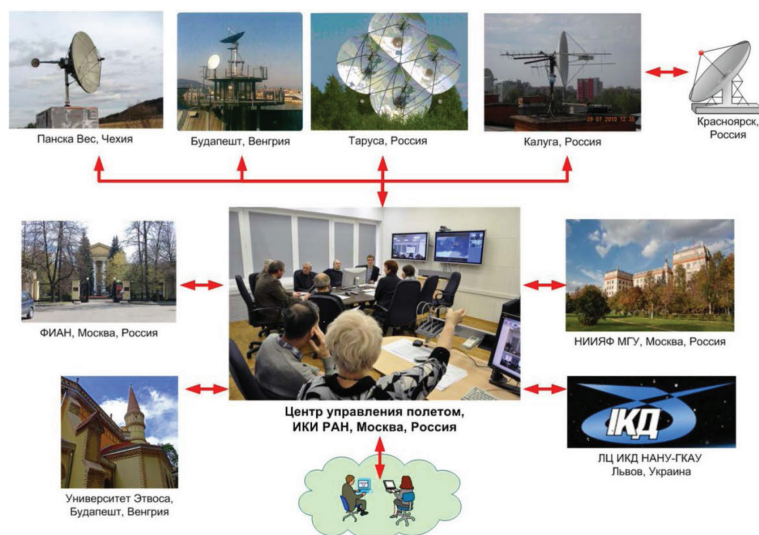


Рис. 51. Наземный сегмент проекта «Чибис-М»



Рис. 52. Таруса, 30.01.2012 г. Научно-организационное совещание участников проекта «Чибис-М»



Рис. 53. Структура начального этапа работ «Чибис-М»



Рис. 54. ЦУП ИКИ. 5.06.2012 г. Видеоконференция научного комитета, ГОГУ, ОГУ КНА проекта «Чибис-М»

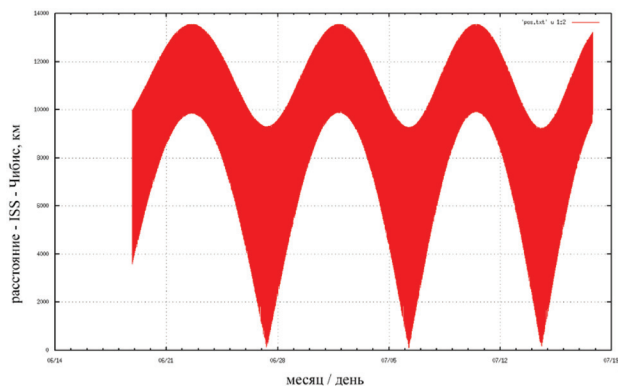


Рис. 55. Взаимное расположение «Чибис-М» и МКС в июле 2014 г.

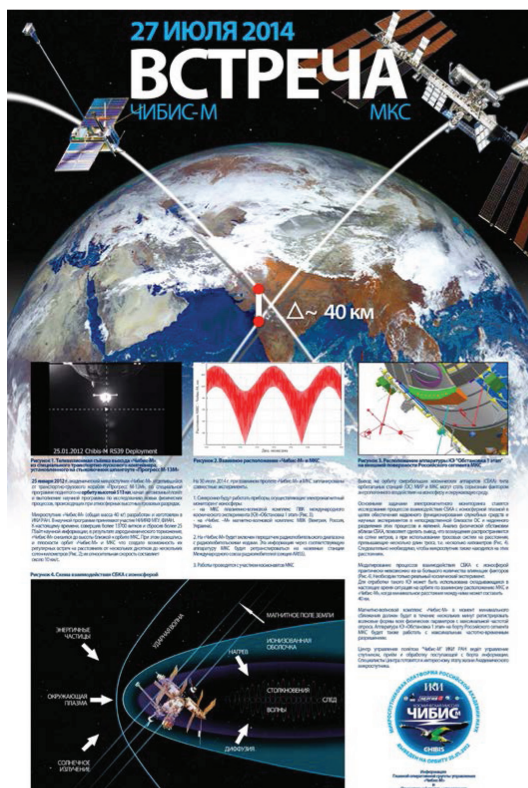


Рис. 56. Постер встречи «Чибис-М» и МКС

На первом совещании участников проекта «Чибис-М» (рис. 52) был согласован технологический период (рис. 53) отработки служебных систем.

После технологического периода отработки приборов КНА «Гроза» на совместном заседании (рис. 54) научного комитета, ГОГУ, ОГУ КНА были выработаны стратегия и тактика фундаментальных космических исследований новых физических процессов в высотных грозовых (молниевых) разрядах, в основном, реализуемые вплоть до последнего сеанса связи с «Чибис-М», прошедшего 14 октября 2014 г., за день до разрушения МС в плотных слоях атмосферы.

Совершив более 13 700 витков, в результате аэродинамического торможения, «Чибис-М» снизился до высоты, близкой к орбите МКС. При этом разошлись и плоскости орбит «Чибис-М» и МКС, что создавало возможности их регулярных встреч на расстояниях от нескольких десятков до нескольких сотен километров (рис. 55).

На 27 июля 2014 г. при сближении «Чибис-М» и МКС были запланированы совместные эксперименты (рис. 56).

1. Синхронная работа приборов, осуществляющих электромагнитный мониторинг ионосферы:
  - на МКС — плазменно-волновой комплекс ПВК международного космического эксперимента (КЭ) «Обстановка 1 этап»;
  - на «Чибис-М» — магнитно-волновой комплекс МВК (Венгрия, Россия, Украина).
2. На «Чибис-М» — включение передатчика радиолобительского диапазона с радиолобительскими кодами. Эта информация через соответствующую аппаратуру МКС могла ретранслироваться на наземные станции Международного союза радиолобителей (секция ARISS).

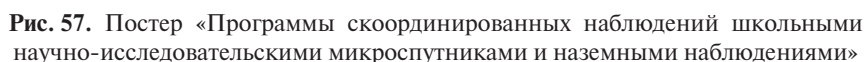
Однако корректные расчёты показали, что относительная скорость встречи составит около 10 км/с, и что организовать совместную работу оказалось невозможным. При разработке планируемых проектов «Чибис-АИ» и «Трабант» необходимо учитывать возможность таких встреч.

## 10. ПУБЛИЧНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПРОЕКТОВ (PR)

Начиная с программы школьных научно-исследовательских микроспутников (Программа «МС») (<http://www.energia.ru/rus/iss/sci-education/microsat/microsat-01.html>), МОО «Микроспутник» все работы вёл



Образовательная часть программы включала и скоординированные наземно-космические наблюдения (рис. 57), которые координировались МОО «Микроспутник» с нижеприведёнными организациями.





**Рис. 58.** Обнинск. Научно-образовательная конференция. Слева направо: Ю.А. Казанский (ректор ИАТЭ) — председатель Комитета по образованию Обнинска, мэр Обнинска, Г.М. Тамкович — председатель правления МОО «Микроспутник», заместитель директора ИКИ РАН

На 1-м канале Российского телевидения был представлен сюжет о запуске и научно-образовательных задачах проекта КОЛИБРИ-2000 (MVI\_2687.THM).

После запуска «Колибри-2000» в ИКИ РАН была проведена пресс-конференция (рис. 59), на которой были приведены первые результаты и представлен проспект (рис. 60) программы школьных научно-исследовательских микроспутников. За работу по созданию МС «Колибри-2000» Федерация космонавтики России наградила (см. рис. 59) «медалью Г.С. Титова» представителей МОО «Микроспутник»: В.Н. Ангарова (СКБ КП ИКИ РАН), О.Р. Григоряна (НИИЯФ МГУ), Ю.А. Казанского (ИАТЭ), А.В. Калюжного (СКБ КП ИКИ РАН), С.И. Климова (ИКИ РАН) и М.Н. Ноздрачёва (ИКИ РАН).

Микроспутник «Колибри-2000» и «Программа школьных научно-исследовательских микроспутников» были представлены на Международном авиационно-космическом салоне МАКС'2003 (рис. 61).

Успешная реализация проекта КОЛИБРИ-2000 способствовала включению в план Роскосмоса и РАН мероприятий 2006–2007 гг., посвящённых 150-летию со дня рождения К.Э. Циолковского, 100-летию со дня рождения С.П. Королёва, 50-летию запуска Первого искусственного спутника Земли, а также «Международного семинара ООН/РФ/ЕКА (Европейское космическое агентство) по применению микроспутниковых технологий для мониторинга окружающей среды и изучения её влияния на здоровье человека» (ИКИ РАН, Таруса) 3–7 сентября 2007 г.). В семинаре приняли участие представители девяти стран (рис. 62, 63).





**Рис. 59.** ИКИ РАН, 05.04.2002. Пресс-конференция МС «Колибри-2000» и программы школьных научно-исследовательских микроспутников



**Рис. 60.** Постер Программы «Космос — юности, юность — космосу»



**Рис. 61.** Руководство МОО «Микроспутник» и макет «Колибри-2000» на МАКС'2003



**Рис. 62.** Таруса, гостиница «Якорь», 2.09.2007 г.  
Участники семинара ООН/РФ/ЕКА



**Рис. 63.** Гостиница «Интеркосмос», 4.09.2007. Приветствие участников семинара ООН/РФ/ЕКА от имени Президента РАН Осипова Ю. С. (слева)

На семинаре был представлен доклад Л. М. Зеленого, С. И. Климова, В. Г. Родина «Изучение новых физических механизмов в грозовых разрядах в атмосфере (энергия разрядов)», послуживший началом работ по проекту «Чибис-М».

Проведение этого семинара было высоко оценено Научно-техническим подкомитетом ООН (НТПК) (рис. 64).

На 47-й сессии НТПК (Вена, 8–19 февраля 2010 г.) в докладе Л. М. Зеленого, С. И. Климова, А. А. Петруковича «Международные эксперименты РАН в программе по космической погоде» как часть этой программы был представлен проект ЧИБИС-М.

## Генеральная Ассамблея

Distr.: General  
15 January 2008  
Russian  
Original: English



Комитет по использованию  
космического пространства в мирных  
целях

Доклад о работе Практикума Организации  
Объединенных Наций/Российской Федерации/  
Европейского космического агентства по применению  
микроспутниковых технологий для мониторинга  
окружающей среды и изучения ее влияния на здоровье  
человека

(Таруса, Российская Федерация, 3-7 сентября 2007 года)

**Рис. 64.** Доклад на 47-й сессии НТПК (Вена, 8–19 февраля 2010 г.)  
о работе семинара-практикума в Тарусе

Проект ЧИБИС-М рассматривался как международный проект на Международной научно-практической конференции «Космические исследования в государствах-участниках СНГ: интеграция, потенциал развития и правовой аспект» (Москва, ИКИ РАН, 4 октября 2011 г.).

Основные этапы работ по проекту ЧИБИС-М отражались пресс-центром ИКИ РАН (<http://press.cosmos.ru/tags/chibis-m>) и на сайте проекта.

Первые результаты проекта ЧИБИС-М были представлены в докладах на конференциях:

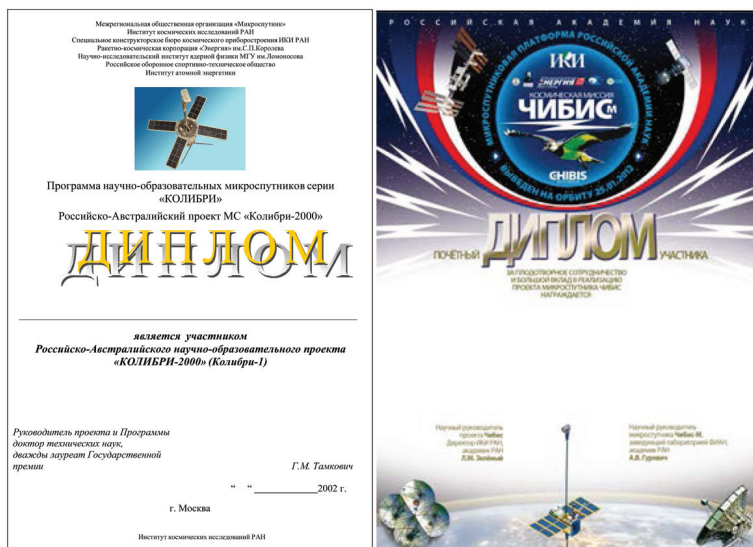
- *Климов С.И., Пилипенко В.А., Белякова Л.Д., Pincon J.-L., Sauvaud J.-A.* Программа скоординированных исследований физических процессов при атмосферных грозовых разрядах на базе микроспутников „Чибис-М“ и TARANIS // 7-я Ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 6–10 февраля 2012 г., ИКИ РАН.
- *Klimov S. I., Petrukovich A. A., Zelenyi L. M.* Global monitoring of the electromagnetic parameters of space weather in the frame of the ISS infrastructure // Proc. '2012 ESA Workshop on Aerospace EMC'. Venice, Italy (ESA SP-702, May 2012). s4\_10klimov.pdf.
- *Klimov S. I., Zelenyi L. M., Gotlib V. M., Karedin V. N., Kozlov I. V., Svertilov S. I., Garipov G. K., Bogomolov V. V., Nazarov V. N., Angarov V. N.* On-orbit microsatellite Chibis M testing of the trigger from high-altitude atmospheric discharges // ТЕРА-2012 Conference. Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration. Lomonosov Moscow State University, Russia. 9–11 July 2012. URL: <http://tepa2012.sinp.msu.ru/abstracts/view-submitted-abstract>.

На Международном совещании «Первые результаты проекта ЧИБИС-М, 13–18.02.2013 г. в представительстве ИКИ РАН «Интеркосмос» (Таруса) был представлен анимационный 3D-фильм школьника 7-го класса Артёма Васюника «Космические исследования Земли» (<http://www.youtube.com/watch?v=WJpwHSMXIMc>) с информацией о проекте КОЛИБРИ-2000 и его научных задачах.

Участники и коллективы организаций проектов КОЛИБРИ-2000 (Россия, Австралия) и ЧИБИС-М (Венгрия, Россия, Украина, Чехия) были отмечены почётными дипломами по соответствующим проектам (рис. 65).

Во время проведения в октябре традиционных в ИКИ РАН Дней науки, посвящённых запуску первого ИСЗ, космонавтам О.Д. Кононенко и А.Н. Шкаплерову, проводившим подготовительные работы и установку ТПК с «Чибис-М» на Ста (см. рис. 42), 4.10.2012 г. в ЦУП ИКИ РАН были вручены дипломы участников проекта ЧИБИС-М (рис. 66).

3–7 февраля 2014 г. в ИКИ РАН была проведена Международная научно-техническая конференция «Академический микроспутник „Чибис-М“. Результаты, уроки, перспективы» (<http://www.cosmos.ru/books/2014chibis.pdf>).



**Рис. 65.** Дипломы участников и коллективов организаций проектов КОЛИБРИ-2000 (слева) и ЧИБИС-М (справа)



Рис. 66. ЦУП ИКИ РАН. Встреча членов ОГУ КНА  
с космонавтами О.Д. Кононенко и А. Н. Шаплеровым

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учёный совет Института космических исследований Российской академии наук 10 февраля 2015 г. выдвинул на соискание премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники 2015 г. работу **«Создание, эксплуатация микроспутника «Чиби́с-М» в инфраструктуре Российского сегмента Международной космической станции и комплексный анализ физических данных о грозовых разрядах в атмосфере Земли»**.

Основываясь на результатах и уроках как проекта ЧИБИС-М, так и КОЛИБРИ-2000, в основную часть «Долгосрочной программы НПИ и экспериментов на РС МКС» включены КЭ:

- «Чиби́с-АИ» (Исследование природы высотных молний и сопутствующих им процессов в атмосфере и ионосфере Земли на базе микроспутника «Чиби́с» с использованием грузового корабля «Про-



гресс»). Научный руководитель — академик РАН Зеленый Л. М. (ИКИ РАН).

На Международной научно-технической конференции «Академический микроспутник „Чибис-М“. Результаты, уроки, перспективы» (3—7 февраля 2014 г., Москва, ИКИ РАН) был представлен доклад Л. М. Зеленого, С. И. Климова, В. М. Готлиба, В. Г. Родина, Д. И. Новикова, М. С. Долгоносова «Космический эксперимент «Исследование природы высотных молний и сопутствующих им процессов в атмосфере и ионосфере Земли на базе микроспутника „Чибис-АИ“ с использованием грузового корабля „Прогресс”».

В докладе отмечено, что «...Несмотря на большой объём выполненных исследований, касающихся разнообразных аспектов физики гроз, полного понимания физических процессов формирования электрической структуры грозовых облаков, инициирования пробоя и распространения молний, генерации в атмосфере химических соединений, роли грозовых генераторов в глобальной электрической цепи не достигнуто до сих пор. В частности, молниевые разряды являются основным источником генерации окисей азота, особенно в тропосфере. Однако свойства этого источника являются наименее изученными. Как показали измерения, проведённые на микроспутнике „Чибис-М“, характерные условия, возникающие в наэлектризованном грозовом облаке из-за их большой размерности, не воспроизводимы в лабораторных условиях. Данные „Чибис-М“ показали, что фрактальные свойства распределения зарядов в облаке, не учитываемые ранее при изучении атмосферного электричества, могут существенным образом скорректировать оценки скорости генерации окисей азота в грозовой области и вклад молний в атмосферную химию и климат. Измерения электрической активности прибором РЧА показали, что на самом деле пространственная структура грозового фронта имеет многомасштабный характер, а, если быть более точным, распределение заряженных ячеек случайно и может быть описано в рамках фрактальной топологии, в каком-то смысле происходит самоорганизация электризованного слоя.

Помимо разностороннего изучения сугубо молниевой активности комплекс научной аппаратуры микроспутника „Чибис-АИ“ даст возможность исследовать довольно широкий круг явлений, связывающих атмосферу и ионосферу Земли. Здесь стоит отметить как изучение собственных вариаций параметров ионосферной плазмы, так и, например, определение ионосферного критерия, отражающего процессы тропического циклогенеза».

В докладе приведено сравнение основных параметров «Чибис-М» и «Чибис-АИ» (табл. 2).



**Таблица 2. Служебные системы**

	«Чибис-М»	«Чибис-АИ»	Примечание
Масса [кг]	40	40	
Масса НА [кг]	10,8 кг	12,5 кг	
Тип фотоэлектрического преобразователя (ФЭП)	Арсенид галлия		
Ёмкость аккумуляторной батареи [А·ч]	9,5	22	Увеличение наблюдательного времени
Точность системы ориентации	Единицы угловых градусов	Единицы угловых минут	Повышение качества измерений, позиционирование приборов
Система выработки триггера события	От трёх приборов	От пяти приборов	Повышение надёжности триггера события, точности взаимной временной привязки данных не хуже 1 мкс
		Образец для КДИ (прецизионные ЭМС-испытания)	Реализация высокой чувствительности датчиков (антенн) научной аппаратуры

В КЭ «Чибис-АИ» увеличивается наблюдательное время, повышается номенклатура, качество, позиционирование измерений.

• «Трабант» (Мониторинг окружающей космической среды электромагнитно чистыми микроспутниками). Научный руководитель — профессор Климов С. И. (ИКИ РАН).

Доклад Д. Новикова и Д. Вавилова «Космический эксперимент „Трабант“» был представлен на Международной научно-технической конференции «Академический микроспутник „Чибис-М“». Результаты, уроки, перспективы» (3—7 февраля 2014 г., Москва, ИКИ РАН). В докладе отражены научные задачи микроспутника «Трабант» (рис. 67):

- исследование механизмов возникновения и динамики ионосферных неоднородностей различного масштаба в зависимости от активных процессов на Солнце и на Земле;
- поиск закономерностей изменений плазменно-волновых и электромагнитных параметров в ионосфере природного и техногенного характера в широком динамическом и частотном диапазонах;

- проведение долгосрочных непрерывных высокочувствительных комплексных измерений спектра электромагнитных КНЧ-УНЧ-ОНЧ-ВЧ-излучений природного и техногенного характера;
- проведение измерений параметров плазмы;
- разработка методов прогнозирования состояния ионосферы и верхней атмосферы Земли на основе долговременного мониторинга;
- научно-образовательная программа.

#### Основные параметры микроспутника «Трабанти»

Масса, в том числе: . . . . . 40 кг

- масса научной аппаратуры. . . . . 10,8 кг
- масса служебной аппаратуры. . . . . 12,6 кг
- масса конструкции и системы терморегулирования . . . 16,6 кг

Круговая орбита

- высота . . . . . ~500 км
- наклонение . . . . . ~52°

Время активного существования, не менее . . . . . 2 года

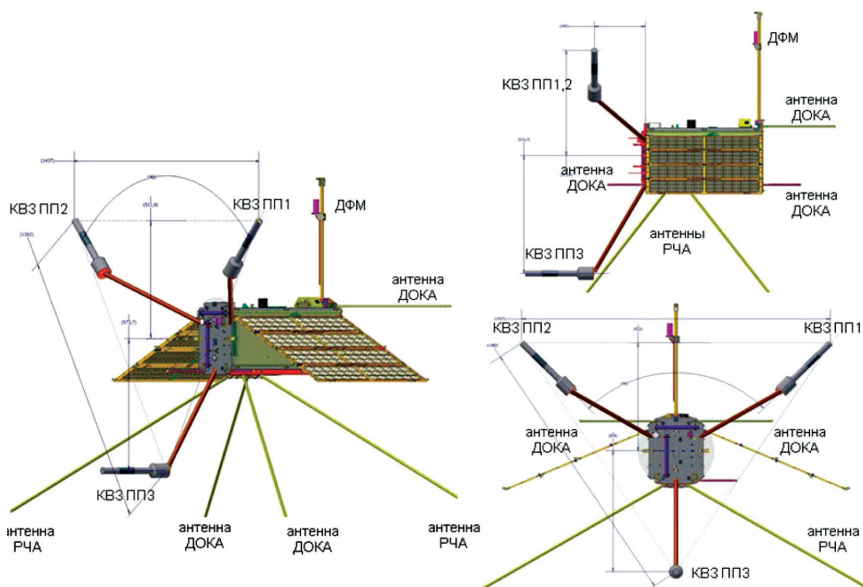


Рис. 67. Модельный вид микроспутника «Трабанти»

## БЛАГОДАРНОСТИ

Большим энтузиастом использования микроспутников в космическом образовании, в первую очередь школьников, был рано ушедший из жизни заместитель директора ИКИ РАН, генерал-майор Тамкович Геннадий Михайлович, сумевший создать временный творческий коллектив по микроспутнику «Колибри-2000».

Создание первого микроспутника Российской академии наук в значительной степени стало возможным благодаря героическим усилиям Льва Матвеевича Зеленого, особенно в первый период нахождения в должности директора ИКИ РАН, по поиску источников финансирования в рамках РАН.

В разработку, создание, работу на орбите МС «Колибри-2000» и «Чибис-М» особый вклад внесли коллеги из ряда организаций:

- ИКИ РАН — И. В. Козлов, А. А. Суханов, В. Г. Родин, Р. Р. Назиров, В. Н. Назаров, А. Д. Рябова, Л. Д. Беякова, О. В. Батанов, Н. А. Эйсмонт, А. Б. Беликова, А. А. Ледков, А. П. Мельник, В. А. Грушин, Д. И. Новиков, А. Е. Третьяков, А. М. Бородкин, Г. Е. Баранова, А. С. Григорьев;
- СКБ КП ИКИ РАН — М. Б. Добриян, В. Н. Ангаров, А. В. Калужный, В. М. Козлов, А. Н. Наумов, В. В. Летуновский, С. А. Шестаков, С. А. Новиков;
- НИИЯФ МГУ имени М. В. Ломоносова — Д. И. Панасюк, О. Р. Григорян, П. Грачёв, С. И. Свертилов, Г. К. Гарипов, И. В. Яшин;
- ФИАН — А. В. Гуревич, М. О. Птицын, К. Б. Зыбин;
- РКК «Энергия» им. С. П. Королёва — Ю. И. Григорьев, В. А. Соловьёв, В. П. Легостаев, С. И. Васильев, А. В. Марков, В. П. Коношенко, И. В. Чурило, Д. М. Сурин, В. Н. Голубев, А. Ю. Калери, С. Ю. Новикова, О. В. Дёмин, А. С. Ермак, С. С. Кириевичев, А. И. Манжелей;
- НИИ ЦПК им. Ю. А. Гагарина — С. К. Крикалёв, космонавты Ю. И. Онуфриенко, О. Д. Кононенко и А. Н. Шкаплеров;
- НИЛАКТ ДОСААФ (Калуга) — А. П. Папков, В. Е. Жук, И. Б. Батов;
- НПОмаш (Научно-производственное объединение машиностроения) — Г. Ф. Реш, А. А. Лизунов;
- ИТЦ (Инженерно-технологический центр) «СКАНЭКС» — С. О. Карпенко, Н. А. Ивлев;
- ЛЦ ИКД НАНУ-ГКАУ (Львовский центр Института космических исследований Национальной академии наук Украи-

ны и Государственного космического агентства Украины) — В. Е. Корепанов, С. В. Беляев, А. Н. Демидов;

- VL-Electronics (Шоймар, Венгрия) — Л. Боднар, П. Сегеди;
- Университет имени Лоранда Этвёша (Будапешт, Венгрия) — Ч. Ференц, Я. Лихтенбергер.

Важную роль в информировании широкой научной и общественной аудитории сыграло высокое информационное и художественное оформление докладов и постеров, обеспечиваемое сотрудниками ИКИ РАН Ю. И. Зайцевым, А. Н. Захаровым, О. В. Закутней и коллегами отдела № 31 ИКИ РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

- [Александров и др., 2000] Александров В. В., Беляев А. А., Григорян О. Р., Михалев А. В., Радченко В. В., Климов С., Санько Н., Игнатъев Н. Научно-методические аспекты формирования научно-образовательных программ, реализуемых на малых спутниках // 2-я Международ. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке». Секция IV. Июнь 2000, г. Королёв: сб. тр. 2000. С. 66–67.
- [Ангаров и др., 2002а] Ангаров В. Н., Васильев С. И., Григорьев Ю. И., Громов С. К., Климов С. И., Папков А. П., Тамкович Г. М. Проект «Колибри-2000» — начало реализации программы научно-образовательных микроспутников // Полёт. 2002. № 11. С. 35–40.
- [Ангаров и др., 2002б] Ангаров В. Н., Высоцкий В. В., Добрян М. Б., Калюжный А. В., Козлов В. М., Климов С. И., Родин В. Г., Тамкович Г. М., Васильев С. И., Григорьев Ю. И., Казанский Ю. А., Грачев Е. А., Григорян О. Р., Радченко В. В., Папков А. П., Курилов В. А. «Колибри-2000» — первый в Программе научно-образовательных микроспутников // 3-я Международ. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке. 27–31 мая 2002, г. Королёв. 2002. Кн. 2. С. 279–286.
- [Афанасьев и др., 2002] Афанасьев Ю. В., Люлик В. П., Смирнов Б. М., Климов С. И., Беликова А. Б., Грушин В. А., Добровольский И. А., Ноздрачев М. Н., Романов С. А., Эйсмонт Н. А., Иванов Н. Н., Лопатенко Л. Е., Седых О. Ю., Ангаров В. Н., Калюжный А. В., Козлов В. М., Папков А. П. Магнитометрические измерения и магнитно-гравитационной система для ориентации микроспутника «Колибри-2000» // 3-я Международ. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке. 27–31 мая 2002, г. Королёв. 2002. Кн. 3. С. 318–325.
- [Грачёв и др., 2002] Грачёв Е. А., Григорян О. Р., Климов С. И., Лысаков Д. С., Нечаев О. Ю., Радченко В. В. Анализатор частиц и полей — комплекс научной аппаратуры микроспутника «Колибри-2000» // 3-я Международ. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффек-

- тивного применения в XXI веке. 27–31 мая 2002, г. Королёв. 2002. Кн. 2. С. 300–306.
- [Гуревич и др., 2009] *Гуревич А. В., Зеленый Л. М., Климов С. И.* Научные задачи миссии «Чибис-М» // Миссия «Чибис-М»: сб. тр. выездного семинара / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 7–25. Сер. «Механика, управление и информатика». URL: <http://www.cosmos.ru/books/2009chibis-m.pdf>.
- [Дудкин и др., 1996] *Дудкин Ф. Л., Климов С. И., Корепанов В. Е.* Оценка возможности электромагнитного зондирования ударной волны солнечного ветра с использованием тросовых связных систем // Юбилейная научно-технич. конф. профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технич. состава МТУСИ: тез. докл. 1996. С. 39–40.
- [Климов, Григорян, 1996] *Климов С. И., Григорян О. Р.* Сверхмалые электромагнитно-чистые спутники для экологического мониторинга // Инженерная экология. 1996. № 1. С. 112–125.
- [Климов и др., 1986] *Климов С. И., Ноздрачев М. Н., Триска П., Войта Я., Галеев А. А., Алексевич Я. Н., Афанасьев Ю. В., Баскаков В. Е., Бобков Ю. Н., Дунец Р. Б., Жданов А. М., Корепанов В. Е., Романов С. А., Савин С. П., Соколов А. Ю., Шмелев В. С.* Исследование плазменных волн с помощью комплекса комбинированной волновой диагностики БУД-ВАР («Прогноз-10»–«Интеркосмос») // Космич. исслед. 1986. Т. 24. № 2. С. 177–184.
- [Климов и др., 1987] *Климов С. И., Кравчик З., Корепанов В. Е., Савин С. П., Балебанов В. М., Симоненко Г. Б., Новак К., Алексевич Я. Н., Соколов А. Ю.* Исследования плазменных волн на АМС «Вега» // Космич. исслед. 1987. Т. 25. Вып. 6. С. 943–951.
- [Климов и др., 1989] *Климов С. И., Савин С. П., Соколов А. Ю.* Микротурбулентность плазмы в окрестности комет // Плазменные процессы в космосе. Т. 2. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ АН СССР, 1989. С. 78–118.
- [Климов и др., 1996] *Климов С. И., Пивоваров М. Л., Алексеева Е. Н., Прудкогляд А. В., Родин В. Г.* Использование тросовых систем для фундаментальных исследований магнитосферы. Динамика раскрытия и функционирования тросовой системы // Космич. исслед. 1996. Т. 34. № 1. С. 106–109.
- [Лисов, 2002] *Лисов И.* Колибри-2000 // Новости космонавтики. 2002. № 5(222). С. 42–45.
- [Тамкович и др., 2000] *Тамкович Г., Климов С., Высоцкий В., Ноздрачев М., Суханов А., Беляев А. А., Григорян О. Р., Радченко В. В., Ангаров В. Н., Добриян М., Козлов В., Курилов В., Папков А. П.* Научно-исследовательские школьные микроспутники (НИШС) // 2-я Международ. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке». Секция IV. Июнь 2000, г. Королёв: сб. тр. 2000. С. 83.
- [Тамкович и др., 2002а] *Тамкович Г. М., Климов С. И., Ангаров В. Н., Зайцев А. Н.* Применение сверхмалых космических аппаратов для науки и образования // Земля и Вселенная. 2002. № 2. С. 86–94.
- [Тамкович и др., 2002б] *Тамкович Г. М., Казанский Ю. А., Климов С. И., Ноздрачев М. Н., Добриян М. Б., Суханов А. А., Григорьев Ю. И., Васильев С. И., Григорян О. Р., Радченко В. В., Елисов Н. В., Егоренков О. В., Курилов В. А.* Программа научно-образовательных микроспутников (2000–2006) // 3-я Международ. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке». 27–31 мая 2002, г. Королёв. 2002. Кн. 1. С. 72–80.

- [Agafonov et al., 1996] *Agafonov Yu. N., Eismont N. A., Klimov S. I., Prudkoglyad A. A., Savin S. P., Zelenyi L. M.* The electromagnetic-clean small satellites for studies on plasma-wave phenomena caused by operations of the electrodynamic tethered system in space plasmas // COSPAR COLLOQUIUM'96 Magnetospheric Research with Advanced Techniques. Beijing China, 15–19 April 1996: Abstr. 1996. P. 18–19.
- [Grard et al., 1989] *Grard R., Pedersen A., Klimov S., Savin S., Skalsky A., Trotignon J. G., Kennel C.* First measurements of plasma waves near Mars // *Nature*. 1989. V. 341. No. 6243. P. 607–609.
- [Grigoryan et al., 1995] *Grigoryan O. R., Klimov S. I., Kuznetsov S. N., Savin S. P.* Equatorial zone: stationary and ac fields, energetic particles // Intern. Symp. Satellite studies of ionospheric and magnetospheric processes: theses of reports. M. 1995. P. 5.
- [Klimov et al., 1986] *Klimov S., Savin S., Aleksevich Ya., Avanesova G., Balebanov V., Balikhin M., Galeev A., Gribov B., Nozdrachev M., Smirnov V., Sokolov A., Vaisberg O., Oberz P., Krawczyk Z., Grzedzielski S., Juchniewicz J., Novak K., Orłowski D., Parfianovich B., Wozniak D., Zbyszynski Z., Voita Ya., Triska P.* Extremely-low-frequency plasma waves in the environment of comet Halley // *Nature*. 1986. V. 321. No. 6067. P. 292–293.
- [Klimov et al., 1994] *Klimov S. I., Savin S. P., Agafonov Yu. N., Lyakishev V. G., Korepanov V. Ye., Turin L. S.* Small satellite for the electromagnetic investigations (SPELIS) // Small Spacecraft and Launchers: Workshop Proc. ASCONT, Moscow. 1994. P. 55–60.
- [Klimov et al., 1995a] *Klimov S. I., Petrukovich A. A., Pivovarov M. L., Prudkoglyad A. V., Rodin V. G., Skalsky A. A., Korepanov V. E.* Tethered systems in the magnetospheric studies // Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Conf. Tethers in Space. Smithsonian Institution, Washington, D. C., 10–14 April. 1995. P. 1259–1268.
- [Klimov et al., 1995b] *Klimov S. I., Agafonov Yu. N., Skalsky A. A., Rodin V. G.* The electromagnetic clean subsatellite SPELIS for studies on plasma-wave phenomena caused by operations of the electrodynamic tethered systems (EDTS) in space plasmas // Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Conf. Tethers in Space. Smithsonian Institution, Washington, D. C., 10–14 April. 1995. P. 1643–1652.
- [Klimov et al., 1996a] *Klimov S. I., Nozdrachev M. N., Petrukovich A. A., Romanov S. A., Savin S., Skalsky A., Grushin V. A., Ryb'eva N. E., Korepanov V. E., Juchniewicz J., Blecki J., Triska P., Amata E., Buechner J., Woolliscroft L. J. C.* Combined wave diagnostics — a new tool for the plasma turbulence studies // COSPAR COLLOQUIUM'96 Magnetospheric Research with Advanced Techniques. Beijing China, 15–19 April 1996: Abstr. 1996. P. 18–19.
- [Klimov et al., 1996b] *Klimov S. I., Agafonov Yu. N., Eismont N. A., Lisakov Yu. V., Savin S. P., Skalsky A. A., Petrukovich A. A., Prudkoglyad A. V., Rodin V. G., Romanov S. A., Auster U., Rustenbach J., Korepanov V. E., Turin L. S.* The electromagnetic clean small satellite for the monitoring of the low-frequency electromagnetic emissions in the near environment of space stations. Spacecraft and sub-systems concept. Small satellites for Earth observation // Digest Intern. Symp. Intern. Acad. Astronautics. Berlin, Nov. 4–8, 1996 / Ed. H. P. Ro'ser, R. Sandau, A. Valenzuela. Walter de Gruyter, Berlin, New York. 1996. P. 231–235.
- [Klimov et al., 1997] *Klimov S., Romanov S., Amata E., Blecki J., Buechner J., Juchniewicz J., Rustenbach J., Triska P., Woolliscroft L. J. C., Savin S., Afanas'yev Yu., de Angelis U., Auster U., Bellucci G., Best A., Farnik F., Formisano V., Gough P., Grard R., Grushin V., Haerendel G., Ivchenko V., Korepanov V., Lehmann H., Nikutowski B., Nozdrachev M., Orsini S., Parrot M., Petrukovich A., Rauch J. L., Sauer K., Skalsky A.,*



- Slominski J., Trotignon J. G., Vojta J., Wronowski R.* ASPI Experiment: measurements of fields and waves on board the INTERBALL-1 spacecraft // *Ann. Geophysicae*. 1997. V. 15. No. 5. P. 514–527.
- [Klimov et al., 1999a] *Klimov S.I., Breus T.K., Galeev A.A., Gotlib V.M., Eismont N.A., Linkin V.M., Lyakishev V.G., Petrukovich A.A., Prudkoglyad A.V., Rodin V.G., Savin S.P., Skalsky A.A., Sukhanov A.A., Zakharov A.V., Bryukhanov N.A., Chernyavsky A. G., Gorshkov L.A., Korepanov V.E., Juchniewicz J., Buechner J., Auster H.-U., Musmann G., Riedler W., Schwingenschuh K., Rustenbach J.* Research of solar-terrestrial connections on new orbits solved by the small satellites with electric propulsion system // *Small Satellites for Earth Observation*. 2<sup>nd</sup> Intern. Symp. Intern. Acad. Astronautics (IAA). Berlin, April 12–16. 1999. P. 67–70.
- [Klimov et al., 1999b] *Klimov S.I., Eismont N.A., Linkin V.M., Lipatov A.N., Lissakov Yu.V., Lyakishev V.G., Petrukovich A.A., Rodin V.G., Bryukhanov N.A., Gorshkov L.A., Sorokin I.V., Grigoryan O.R., Korepanov V.E., Rustenbach J., Juchniewicz J., Parrot M., Rauch J.L., Riedler W., Schwingenschuh K., Auster H.-U., Musmann G., Alleyne H.* St-C. K. The conception of the nano-satellite orbital grouping for space weather monitoring // *Small Satellites for Earth Observation*. 2<sup>nd</sup> Intern. Symp. Intern. Acad. Astronautics (IAA). Berlin, April 12–16. 1999. P. 359–362.
- [Klimov et al., 2000] *Klimov S., Nozdrachev M.N., Petrukovich A., Tamkovitch G., Alexandrov V.V., Belyaev A.A., Grigoryan O.R., Mikhalev A.V., Radchenko V.V., Sanko N.* Scientific and methodological aspects of microsatellite-based educational programs // 33<sup>rd</sup> COSPAR Scientific Assembly. Warsaw, Poland, 16–23 July 2000: Abstr. 2000. Special-005.
- [Klimov et al., 2001a] *Klimov S.I., Angarov V.N., Eismont N.A., Nozdrachev M.N., Ivanov N.N., Lopatenko L.P., Sedykh O. Yu., Afanasyev Yu.V., Rustenbach J.* Attitude control and stabilization system for the school microsatellite // *Small Satellite for Earth Observation*. 3<sup>rd</sup> Intern. Symp. Intern. Acad. Astronautics (IAA). Berlin, April 2–6 2001 / Eds. H. P. Roser, R. Sandau, A. Valenzuela. 2001. P. 121–124.
- [Klimov et al., 2001b] *Klimov S.I., Angarov V.N., Dobriyan M.B., Nozdrachev M.N., Rodin V.G., Tamkovich G.M., Belaev A.A., Grachov Ye.A., Grigoryan O.R., Radchenko V.V.* Technological aspects of microsatellite based educational programs // *Small Satellite for Earth Observation*. 3<sup>rd</sup> Intern. Symp. Intern. Acad. Astronautics (IAA). Berlin, April 2–6 2001 / Eds. H. P. Roser, R. Sandau, A. Valenzuela. 2001. P. 283–286.
- [Klimov et al., 2005a] *Klimov S.I., Afanasyev Yu.V., Grachev E.A., Grigoryan O.R., Grushin V.A., Lysakov D.S., Nozdrachev M.N., Savin S.P.* Results of in-flight operation of scientific payload on micro-satellite Kolibri-2000 // *Planet. Space Sci.* 53. 2005. P. 349–356.
- [Klimov et al., 2005b] *Klimov S.I., Grigoryan O.R., Grushin V.A., Novikov D.I., Petrov V.L., Savin S.P.* Result of space weather research on scientific-educational micro-satellite Kolibri-2000 // *Selected Proc. 5<sup>th</sup> Intern. Symp. Intern. Acad. Astronautics*. Berlin, April 4–8 2005 / Eds. H.-P. Roeser, R. Sandau, A. Valenzuela. Walter de Gruyter, Berlin, New York. 2005. P. 119–127.
- [Trotignon et al., 1989] *Trotignon J. G., Hamelin M., Grard R., Pedersen A., Klimov S., Savin S., Skalsky A., Kennel C.* Plasma-wave observations near the Earth's and Mars' bow shocks: abstr // *First results of the Phobos-Mars mission and future space exploration of Mars*. 23–27 Oct. 1989, Paris, France, CNES. 1989. P. 69.

055(02)2

Ротап rint ИКИ РАН  
Москва, 117997, Профсоюзная ул., 84/32

Подписано к печати 11.06.2015 г.

Заказ 3350

Формат 60×90/16

Тираж 250

4,5 усл.-печ. л.