

УДК 551.50:629.78:681.3:378

ПРОЕКТ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС» В СОСТАВЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

*В.Н. Ангаров¹, М.Б. Добриян¹, Л.М. Зеленый¹, Р.Р. Назиров¹,
В.Г. Родин¹, А.В. Марков², Н.А. Брюханов², С.И. Климов¹,
В.Е. Корепанов⁶, В.М. Линкин¹, Е.А. Луян¹, О.И. Кораблев¹,
В.М. Готлиб¹, Н.А. Эйсмонт¹, В.Г. Лякишев¹, А.В. Калюжный¹,
В.М. Козлов¹, В.В. Летуновский¹, А.П. Папков³, Н.Н. Иванов⁴,
О.Ю. Седых⁴, А.А. Лизунов⁵, Г.Ф. Реиш⁵*

¹ Институт космических исследований РАН, Россия, Москва

² Ракетно-космическая корпорация (РКК) «Энергия»,
Королев, Московская область

³ Научно-исследовательская лаборатория аэрокосмической
техники (НИЛАКТ) РОСТО, Россия, Калуга

⁴ ЗАО КБ «Полет», Россия, Омск

⁵ ЗАО НПО «Факт», Россия, Реутов

⁶ Львовский центр Института космических исследований
НАНУ-НКАУ, Украина

Космический мониторинг открывает большие возможности для обнаружения и оценки потенциально опасных и катастрофических явлений на поверхности Земли, в атмосфере, ионосфере и магнитосфере. Некоторые задачи, такие как, например, детектирование лесных пожаров, уже с успехом решаются при помощи космических средств. Из ряда возможностей космического мониторинга следует особо остановиться на большой роли, которую могут в решении этой задачи сыграть микроспутники.

С одной стороны, создание больших КА, несущих широкий набор разнообразных физических инструментов, является делом сложным, дорогим, длительным и доступным только специализированным предприятиям космической индустрии. С другой стороны, при современном уровне развития космической техники и электроники появляется возможность разработки и изготовления силами научно-исследовательских институтов сравнительно небольших КА — микроспутников. Такие КА, несущие несколько килограммов современной научной аппаратуры, могут эффективно решать большинство задач космического мониторинга [20, 21, 30].

Кратко рассмотрим несколько основных направлений исследований, а также предлагаемую программу работ, развитие которых критически необходимо для успешного решения задач прогноза и предотвращения катастрофических явлений.

1. Мониторинг атмосферы: контроль распределения и трендов парниковых газов (CO_2), детектирование крупных выбросов опасных веществ в атмосферу

Мониторинг атмосферы из космоса проводится при помощи широкого спектра методов дистанционного зондирования. Так, например, для мониторинга содержания озона используется, как правило, спектроскопия в УФ- и видимом диапазонах, мониторинга осадков — в радиодиапазоне, температурных профилей — в тепловом диапазоне спектра. Такие наблюдения постоянно ведутся с ряда зарубежных КА. В то же время остается ряд задач, имеющих большое практическое значение, которые до сих пор не решались вообще или по которым уже давно нет свежих данных.

Пример такой задачи — мониторинг полного содержания CO_2 в атмосфере. Атмосферная углекислота, как основной парниковый газ, играет важнейшую роль в климате Земли, поглощая тепловое излучение земной поверхности и препятствуя его испусканию в пространство. Кругооборот CO_2 и вообще углерода в атмосфере, океане и биосфере в большой степени контролируется естественными факторами, но в то же время известно, что 30%-ное увеличение концентрации этого газа в атмосфере за последние 100 лет в результате сжигания органического топлива и другой деятельности человечества привело к заметным изменениям климата. Общеизвестен и политический аспект этой проблемы. В настоящий момент в мире нет спутников, позволяющих решать эту задачу как глобально, так и в региональном разрезе.

Другой важнейшей задачей является мониторинг малых составляющих и вредных примесей в атмосфере. Измерения методом солнечного просвечивания позволят получать данные о рассеянных загрязнениях за счет высокой чувствительности. Подобные эпизодические измерения проводились с борта «Шаттла» только в начале 90-х гг. Измерения на базе микроспутников

с высоким спектральным разрешением в широком спектральном диапазоне в сочетании с теоретическим рассмотрением процессов переноса вредных веществ позволят внести серьезный вклад в решение этой задачи.

2. Космическая погода: наблюдения за состоянием ионосферы, радиационных поясов, солнечного ветра

В настоящее время общепризнано, что исследования по физике солнечно-земных связей не только дают важные фундаментальные результаты, но и находятся в центре практического внимания из-за наблюдаемого влияния солнечной активности и земных магнитных бурь как на работоспособность современных технических систем, так и на биосферу (включая и человека). Эти исследования подтвердили необходимость обеспечения прикладной информацией о космической погоде широкого круга отечественных потребителей в науке, народном хозяйстве, медицине и в других сферах. В связи с развитием средств космической связи и навигации, освоением северных территорий, трансполярных перелетов гражданской авиации и пр., в будущем зависимость от солнечно-космических факторов только усилится.

Для успешного прогноза [9, 11] развития и мониторинга магнитных бурь и других подобных катастрофических возмущений наряду с наземными наблюдениями необходимы измерения межпланетной среды (солнечного ветра), излучения Солнца, магнитосферы и ионосферы, выполняемые специализированными КА. На микроспутниках предполагается устанавливать полный комплекс плазменных приборов [19, 28, 29]: феррозондовый магнитометр [4, 7], анализатор спектра электромагнитных колебаний [8, 10, 13], детекторы плазмы и энергичных частиц [5], позволяющие с высоким временным разрешением определять характеристики [12] околоземного пространства, как в спокойное время, так и во время катастрофических событий [17, 31], связанных с вариациями космической погоды. Немаловажно то, что микроспутники обеспечивают максимально низкий уровень бортовых электромагнитных помех, обычно затрудняющих измерения на больших КА.

3. Мониторинг пожаров, других опасных явлений и объектов на земле

Сегодня существуют достаточно хорошо разработанные спутниковые методы, позволяющие обеспечить мониторинг различных опасных явлений на поверхности Земли и оценку их последствий. К таким явлениям относятся как природные катаклизмы, так и результаты человеческой деятельности, которые могут привести к необратимым изменениям окружающей среды. Технологии позволяют использовать спутниковые данные, например, для мониторинга лесных пожаров и наводнений, контроля незаконных вырубок, оценки влияния промышленных объектов на окружающую среду и т.д. Для решения всех этих задач в короткие сроки необходимо создание достаточно дешевых и оперативных систем. В настоящее время мониторинг земной поверхности и лесных пожаров, в частности, проводится по данным зарубежных спутников. Применение микроспутников с современной аппаратурой позволит создать отечественную систему с высокими характеристиками [3].

4. Астрометрические наблюдения

Бортовая камера предназначена также и для оптических наблюдений болидов и метеорных потоков в атмосфере Земли с борта микроспутника.

Задача исследования статистических распределений и эволюции метеорных потоков, определения населенности метеорных и болидных потоков крупными фрагментами, прогнозирования вспышечной активности нестационарных потоков, установление структуры метеорного вещества и корреляции метеорных потоков (метеорных роев) с родительскими прототелами представляет собой одно из важнейших направлений современной космогонии.

Метеорные потоки (метеороиды) являются своеобразными каналами, по которым кометное вещество попадает на Землю и становится доступным для исследования. Кометы состоят из остатков протопланетного вещества, практически не изменившегося в их ядрах, поэтому исследование метеорных потоков (метеороидов) проливает свет на происхождение Солнечной системы.

В связи с проблемой кометно-астероидной опасности и со все возрастающим количеством запусков космических аппаратов

исследование распределения малых тел в околоземном пространстве представляется весьма актуальным. Непосредственное наблюдение этих тел в космическом пространстве является на сегодняшний момент трудновыполнимой задачей из-за их малых размеров. И только при вхождении в атмосферу частицы, сгорая, становятся видимыми для наблюдателя в виде метеора. Если метеорный поток обильный, задачи выявления распределения частиц в пространстве решаются за счет наблюдений большого количества метеоров. Однако ярких метеоров, т. е. болидов, из одного земного пункта может быть зарегистрировано слишком мало для выявления их распределения. Существует даже понятие болидного потока, однако эти исследования недостаточно распространены.

Американскими исследователями налажено наблюдение болидов из космоса. Поскольку с орбиты наблюдается значительно больший объем верхнего слоя атмосферы, чем из одного земного пункта, то из космоса может обнаруживаться довольно значительная часть болидов, входящих с ночной стороны планеты. Отечественным исследователям, по нашему мнению, также следует налаживать свои космические наблюдения, поскольку, во-первых, американцы предоставляют не всю информацию и предоставляют ее с задержкой (а здесь важна оперативность). Во-вторых, возможно дальнейшее развитие техники подобных наблюдений, когда могут быть наблюдаемы и более слабые метеоры, а также, что очень важно, и их спектры.

Метеорные потоки хорошо наблюдаемы с Земли. Однако ярких метеоров (болидов) из одного земного пункта может быть зарегистрировано слишком мало для выявления их распределения (обозреваемая площадь атмосферы порядка 10^4 км²). Находясь на земной орбите, широкоугольный объектив может обозревать существенно большую площадь рассматриваемого атмосферного слоя.

Наблюдения с борта космического аппарата позволяют выявить абсолютную численность болидов с целью оценки притока метеорной материи на Землю (для болидов -8^m и ярче можно ожидать появления их несколько раз в сутки при наблюдении с высоты ~ 500 км), а также определить радианты и скорости болидов для вычисления их орбит. После пролета некоторых очень ярких болидов остаются светящиеся ионизационные следы, которые несколько секунд практически неподвижны, и для

базисного наблюдения такого следа его можно зафиксировать из нескольких точек орбиты космического аппарата.

При этом удастся оценить максимальную массу и пространственную плотность частиц наблюдающегося метеорного потока, что является важной характеристикой метеорного роя и может быть полезно для оценки метеорной обстановки при космических полетах внутри данного метеорного роя.

Планируется также проведение статистических исследований распределений метеорных потоков и метеороидов, определение пространственной формы и плотности метеороидных роев и населенности метеорных и болидных потоков крупными фрагментами, прогнозирование вспышечной активности нестационарных потоков, а также получение оценки средних расстояний между метеорными частицами, показателя светимости, распределения частиц по массам (размерам) и т. д.

Предполагается применение полученных результатов космических исследований метеорного вещества для решения космогонических проблем, а также ряда прикладных задач.

5. Этапы программы развития микроспутниковых исследований

Для решения поставленных задач предлагается следующая программа работ, выполнение которой в настоящее время уже началось:

1-й этап (2000–2002) — первый экспериментальный научно-образовательный российско-австралийский микроспутник «Колибри- 2000». Спутник был успешно выведен на орбиту МКС и функционировал вплоть до момента входа в атмосферу. Разработка, изготовление, наземные испытания, а также управление спутником осуществлялись силами ИКИ РАН с участием НИИ-ЯФ МГУ и организаций космической отрасли.

Основные технические характеристики микроспутника «Колибри-2000»

Масса микроспутника	20,5 кг
Масса научной аппаратуры (магнитометр и анализатор энергичных частиц и электрического поля)	3,5 кг
Орбита	круговая ~ 380 км
Система ориентации:	
— типы:	магнитодинамическая (электромагниты), гравитационная (штанга)
— точность определения ориентации	$\pm 10^\circ$

Система передачи данных:

- борт – Земля 9 кбит/с
- объем бортовой памяти 1 Мбайт
- объем принимаемой с борта информации ~ 10 Мбайт/сутки
- радиочастоты командной и телеметрической
линий 145 и 435 МГц

Система бортового энергопитания:

- мощность ~ 20 Вт круглосуточно
- напряжение 12 ± 3 В
- емкость буферных химических батарей (БХБ)
суммарная 3,5 А·ч
- суммарная площадь солнечных батарей 0,5 м²

2-й этап (2003–2007). В настоящее время в ИКИ РАН ведется разработка второго микроспутника — «Чибис» (запуск планируется на 2006–2007 гг.). Микроспутник выполнен с использованием опыта «Колибри», со значительными доработками.

На спутнике «Чибис» будет установлен комплекс научной аппаратуры, включающий:

- спектрометр для измерения полного содержания CO₂;
- камеру оптического диапазона;
- низкочастотный феррозондовый магнитометр;
- комбинированный волновой зонд;
- анализатор электромагнитных излучений;
- детектор ионосферной плазмы.

Предполагается, что на этом спутнике будет проведена отработка комплекса современной научной аппаратуры, ряда методик наблюдения, а также нескольких новых служебных систем.

Компоновка МС «Чибис»

МС представляет собой прямоугольную призму, по двум граням которой располагаются раскрывающиеся панели батарей фотопреобразователей (БФП 1-8). Призма образуется двумя фланцами и двумя приборными панелями. К этим элементам осуществляется крепление практически всех узлов и систем МС, т. е. они являются несущими элементами конструкции МС. Снаружи приборный модуль закрыт ЭВТИ и радиаторами системы обеспечения теплового режима (СОТР).

Вдоль корпуса МС (вдоль призмы) проходят две раскрывающиеся антенны радиокомплекса, штанги гравитационных устройств (ГУ 1, ГУ 2) системы ориентации и стабилизации.

Выход спутника из транспортно-пускового контейнера и фазы развертывания приведены на рис. 1–6.

Компоновка МС представлена на рис. 7.

Приборный модуль

Конструктивная схема приборного модуля включает:

- два фланца, вписанные в круг $\varnothing 370$ мм, с двумя технологическими разъемами, предназначенными для подзарядки аккумуляторной батареи и подключения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) при наземных испытаниях;
- силовой (конструктивно) блок приборных панелей, связывающий передний и задний фланцы, перегородки и радиаторы.

На приборных панелях установлены научные приборы и приборы служебных систем МС:

- универсальный блок ДОКА-Б 15У, который осуществляет сбор, обработку и подготовку для передачи на Землю всей научной и служебной информации и включает блок автоматики системы электроснабжения (БА СЭС), а также выполняет другие функции управления МС;
- радиокomплекс, состоящий из двух дублированных приемника и передатчика командной (КРЛ) и телеметрической (ТРЛ) радиолоний, работающих на частотах 145 и 435 МГц;
- блок управления системой ориентации и стабилизации (БУ СОС);
- блок электроники трехкомпонентного феррозондового магнитометра (ТФМ) научной аппаратуры (БЭ ФМ);
- радиокomплекс быстрого канала (Прд БК), состоящий из двух дублированных передатчиков телеметрической (ТРЛ) радиолоний, работающий на частоте 401 МГц;
- блок электроники навигационной системы GPS ГЛО-НАСС (ДОКА-НАП);
- блоки электроники маховика СОС (БЭ УДМ 1, БЭ УДМ 2, БЭ УДМ 3, БЭ УДМ 4);
- блок механики УДМ СОС (БМ УДМ 2 — по оси +Y);
- датчик феррозондового магнитометра (ДФМ), расположен на поворотном кронштейне штанги ГУ 2;



Рис. 1. Микроспутник «Чибис» в сложенном состоянии упакован в транспортно-пусковом контейнере (схема)



Рис. 2. Расчеховка и развертывание двух гравитационных устройств (ленточных штанг) системы ориентации спутника СОС ГУ приводит к выталкиванию микроспутника «Чибис» из транспортно-пускового контейнера

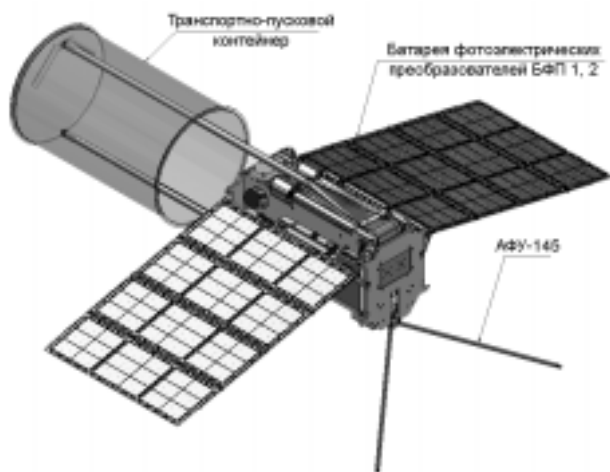


Рис. 3. После выхода основной конструкции микроспутника «Чибис» из транспортно-пускового контейнера автоматически раскрываются: антенно-фидерное устройство АФУ-145 и батареи фотоэлектрических преобразователей (солнечные панели) БФП 1, 2

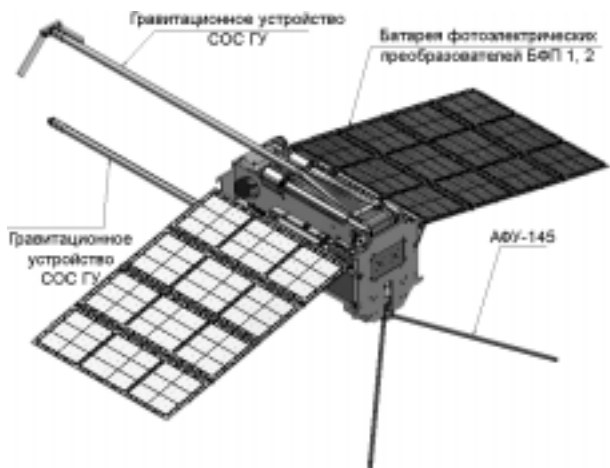


Рис. 4. Гравитационные устройства СОС ГУ полностью раскрылись. Микроспутник «Чибис» начинает автономную работу на орбите



Рис. 5. Гравитационные устройства СОС ГУ автоматически разворачиваются на 90° , образуя «гравитационную гантель». Автоматически разворачиваются датчики магнитно-волнового комплекса



Рис. 6. Все внешние механические системы полностью раскрыты

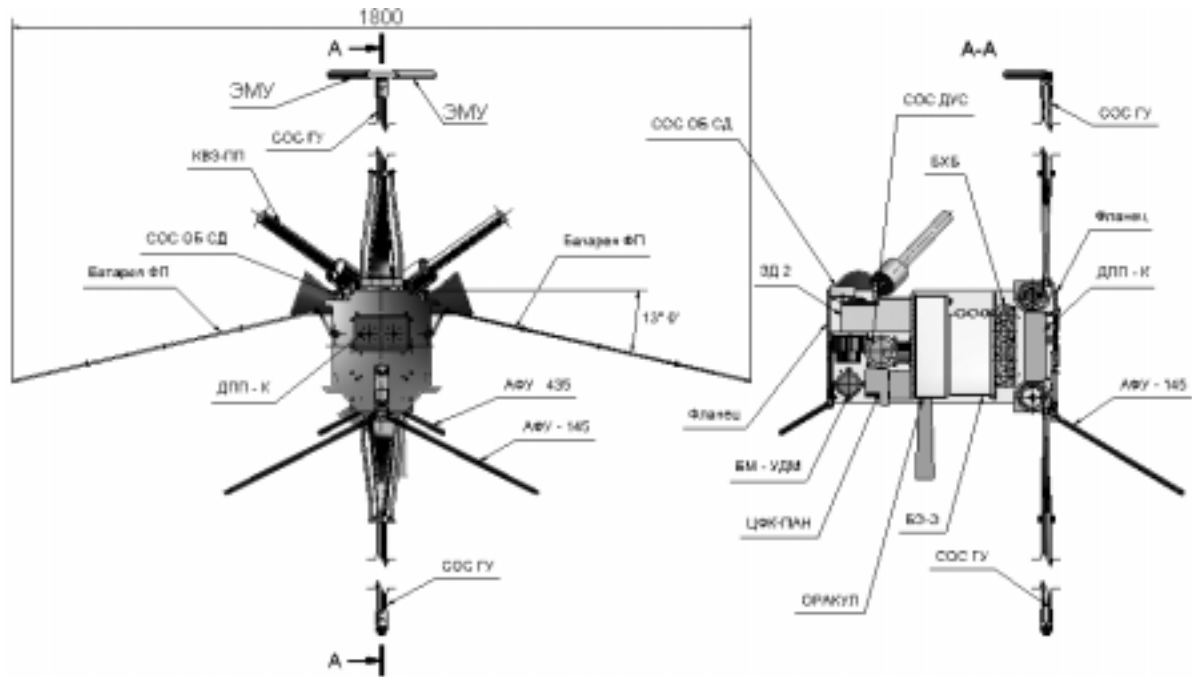


Рис. 7. Схема пространственного размещения служебных систем и научной аппаратуры

- трехкомпонентный датчик угловых скоростей (ДУС);
- датчики феррозондового магнитометра СОС (ДММ 1, 2);
- оптические блоки солнечного датчика СОС (ОБ1 СД, ОБ2 СД), направленные по осям $+X / +Z$ и $-X / +Z$, соответственно;
- гравитационное устройство СОС (ГУ 1 — штанга в раскрытом положении направлена по оси $-Z$ (надир)), с установленным на конце штанги (внутри стержня) индукционным датчиком ДМ;
- гравитационное устройство СОС (ГУ 2 — штанга в раскрытом положении направлена по оси $+Z$ (зенит)), с установленным на конце штанги блоком электромагнитных устройств СОС (ЭМУ 1 — по оси $+X$, ЭМУ 2 — по оси $+Z$, ЭМУ 3 — по оси $+Y$).

На переднем фланце приборного модуля (ориентированного по направлению полета МС — ось $+X$) размещаются:

- датчик потока плазмы (ДПП-К);
- антенно-фидерное устройство диапазона 145 МГц; антенна представляет собой два штыревых вибратора, раскрывающихся под углом 30° к продольной оси $+X$ МС (ось $+X$ по направлению полета МС);
- технологические разъемы.

На заднем фланце приборного модуля (ориентированного против направления полета МС), размещаются:

- антенно-фидерное устройство диапазона 435 МГц; антенна представляет собой два штыревых вибратора, раскрывающихся под углом 30° к продольной оси $+X$ МС (ось $-X$);
- система фиксации и расчеховки батарей фотопреобразователей (БФП 1-8); на торцевых поверхностях каркаса БФП размещены датчики электрического поля (ДЭП 1, 2);
- система фиксации и расчеховки ГУ 1 и индукционного датчика (ДМ);
- система фиксации и расчеховки ГУ 2 и блока ЭМУ 1-3;
- концевые выключатели инициализации МС после расчеховки.

На перегородках приборного модуля размещаются:

- буферные химические батареи (БХБ 1, БХБ 2);

- блок электроники (БЭ-Э);
- спектрометр углекислого газа «ОРАКУЛ»;
- цифровая фотокамера панорамная (ЦФК_{пан} — по оси $-Z$);
- блоки механики УДМ СОС (БМ УДМ 1 — по оси $+X$, БМ УДМ 3 — по оси $+Z$);
- звездный датчик (ЗД-2) — объективы направлены под углом 20° к оси $\pm Y$.

На верхнем радиаторе (по оси $+Z$) установлены:

- антенно-фидерное устройство навигационной системы GPS ГЛОНАСС (блок АУ), направленной по оси $+Z$;
- комбинированные волновые зонды, блоки первичных преобразователей (КВЗ-ПП 1, КВЗ-ПП 2), раскрывающиеся под углом 45° к оси $+X$ МС (направление полета МС);
- система фиксации и расчеховки комбинированных волновых зондов (КВЗ-ПП 1, КВЗ-ПП 2).

На нижнем радиаторе (по оси $-Z$) установлено:

- антенно-фидерное устройство диапазона 401 МГц; антенна диаметром 200 мм, высотой 10 мм, направленная по оси $-Z$.

Вдоль приборного модуля между передним и задним фланцем установлены два блока батарей двухсторонних фотопреобразователей с приводом раскрытия (БФП 1 — БФП 8). После расчеховки батареи раскрываются под углом 13° к оси $\pm Y$.

Система ориентации и стабилизации

Система ориентации и стабилизации предназначена для обеспечения заданной ориентации на орбите. Система является условно выделенной конструктивной единицей, фактически это часть приборного модуля.

В состав системы входят следующие элементы:

- механический интерфейс с транспортно-пусковым контейнером (ТПК);
- блоки управления системой ориентации и стабилизации (БУ СОС 1, 2);
- блоки электроники маховика СОС (БЭ УДМ 1, БЭ УДМ 2);

- блоки механики УДМ СОС (БМ УДМ 1, БМ УДМ 2, БМ УДМ 3);
- феррозондовый магнитометр СОС (ММ);
- датчики феррозондового магнитометра СОС (ДММ 1, 2);
- оптические блоки солнечного датчика СОС (ОБ 1, 2 СД), направленные по осям $+X / +Z$ и $-X / +Z$, соответственно;
- электромагнитные устройства СОС (ЭМУ 1 — по оси $+X$, ЭМУ 2 — по оси $+Z$, ЭМУ 3 — по оси $+Y$);
- гравитационное устройство СОС (ГУ 1 — штанга в раскрытом положении направлена по оси $-Z$ (надир)) с установленным на конце штанги, в дополнение к грузу-противовесу, индукционным датчиком ДМ;
- гравитационное устройство СОС (ГУ 2 — штанга в раскрытом положении направлена по оси $+Z$ (зенит)), с установленным на конце штанги, в дополнение к грузу-противовесу, блоком электромагнитных устройств СОС (ЭМУ 1, ЭМУ 2, ЭМУ 3).

Исполнительными элементами системы ориентации являются:

- штанги гравитационных устройств;
- маховики;
- электромагнитные устройства (ЭМУ 1, ЭМУ 2, ЭМУ 3).

Штанги ГУ после расчеховки выдвигают МС на расчетное расстояние от ТПК и разворачиваются на заданный угол по отношению к оси $+X$.

Точность ориентации на Землю должна быть не хуже ± 6 угл. мин (в условиях возмущенной атмосферы), а точность определения параметров ориентации — не хуже ± 1 угл. мин.

Система ориентации и стабилизации существенно отличается от используемой в МС «Колибри-2000». Это вызвано высокими требованиями к точности и стабильности ориентации МС.

Основные технические характеристики микроспутника «Чибис»

Масса	40 кг
– научные приборы	12,5 кг
– служебная аппаратура	18,2 кг
– конструкция и система терморегулирования	9,3 кг
Орбита	круговая высотой ~ 480 км
Время активного существования	не менее 1 года

Система ориентации:

- типы электромеханическая (электромаховики),
магнитодинамическая (электромагниты),
гравитационная (штанга)
- точность определения ориентации по датчикам
(звездный, солнечный, горизонта) и системе
GPS – ГЛОНАСС до 2 угл. мин
- точность наведения (электромаховики
и оптоволоконный ДУС) ± 3 –15 угл. мин

Система передачи данных:

- борт – Земля 128 кбит/с
- объем бортовой памяти 8 Мбайт
- объем принимаемой с борта информации ~ 50 Мбайт/сутки
- радиочастоты командной и телеметрической линий 145 и 435 МГц

Система бортового энергопитания:

- мощность ~ 50 Вт круглосуточно
- напряжение 12 ± 3 В
- емкость БХБ, суммарная 5,0–8,0 А·ч
- суммарная площадь солнечных батарей 0,54 м²

Габариты микроспутника

- в сложенном состоянии
(прямоугольная призма) 370 (диаметр описанной
окружности шестиуголь-
ника) × 605 (длина) мм
- в раскрытом состоянии
(антенны и солнечные батареи) 1250 (описанный диаметр)
× 966 (длина) мм
- в раскрытом состоянии с учетом
гравитационных штанг 1250 (описанный диаметр)
× 4187(длина) мм

Управление полетом и прием информации, включая изображения и спектры, осуществляется пунктом приема и передачи информации ИКИ РАН, расположенным в Специальном конструкторском бюро космического приборостроения ИКИ РАН (г. Таруса, Калужская область).

3-й этап (2005–2006). По результатам эксперимента «Чибис» будет создана универсальная современная микроспутниковая платформа, пригодная для реализации в сжатые сроки и с низкими затратами специализированных космических аппаратов, полезная нагрузка, орбитальные характеристики, а также программа наблюдений которых будут определяться требованиями потребителей информации мониторинга.

6. Образовательные задачи

Космос сегодня — среда активной практической деятельности человека. Результаты освоения космоса используются в науке и технике; назрела необходимость внедрения их в образование. Естественный способ донести достижения космических исследований до широкой общественности — **образование** и его первая ступень — **школа**. Микроспутники (МС) в данном аспекте представляют собой своеобразные учебные пособия, составленные по принципу от простого к сложному и предназначенные для современной системы школьного образования [26].

Разработка, создание и использование МС требует подготовки новых специалистов по их производству и обслуживанию. Направленную подготовку таких специалистов крайне необходимо начинать, как факультатив, уже в средней школе, совершенствуя в последующем эти знания в вузе [1, 6, 15, 22]. Участвуя в этой программе, школьники, а затем и студенты более глубоко изучают физику, математику, компьютеры, прикладные предметы в форме специализированного лабораторного практикума. Техническая же сторона — создание микроспутника — реализуется при прямом участии организаций передовых отраслей космической науки и техники. Данная техническая концепция реализована в первом научно-образовательном микроспутнике «Колибри-2000» [2].

На данном этапе применение микроспутников направлено на решение трех задач:

- образовательных;
- научно-исследовательских;
- технических, включая технологические и конструкторские.

Образовательные задачи. Задачи решаются, исходя из того, что микроспутник — это высокотехнологичное учебное пособие, достаточно дорогое и сложное, в первую очередь из-за применения космических технологий, недоступных для системы среднего школьного образования.

Важным элементом является развертывание Школьных пунктов управления (ШПУ), оснащенных как базовой аппаратурой, широко используемой радиолюбителями, так и специальной, создаваемой участниками проекта, включая программное

обеспечение. ШПУ являются важнейшим объединяющим звеном. Успех в решении образовательных задач определяется тем, насколько тесной и творческой будет совместная работа ученых, преподавателей и школьников. Отработка этих задач началась на самых ранних этапах подготовки проекта «Колибри-2000» силами его участников из ИКИ РАН, НИИЯФ, ИЗМИРАН, ИАТЭ, Физико-технической школы (г. Обнинск) и двух школ в г. Сидней (Австралия).

Научно-исследовательские задачи разрабатываются и реализуются на основе того, что получаемые с микроспутников данные [25] должны:

- давать школьникам дополнительные знания о современных проблемах фундаментальной физики;
- быть привлекательными и доступными для понимания школьниками;
- давать ученым новые фундаментальные данные об исследуемых явлениях и тем самым усовершенствовать образовательный процесс.

«Космическая погода» может являться стержневой задачей образовательного процесса. С этой задачей связан и широкий спектр научно-исследовательских задач как фундаментальных, так и прикладных [24]. Широкое поле для творческой научно-технической деятельности предоставлено школьникам по созданию баз данных физических измерений и распространению их по сети Интернет всем участникам проекта.

Технические и конструкторские задачи ставятся, в первую очередь, исходя из того, что бортовые высокотехнологичные приборы и устройства разрабатываются научно-техническими организациями, а школьники привлекаются к постановке и разработке технических, технологических и конструкторских аспектов образовательных задач [23]. Технические и конструкторские задачи проекта школьники решают, в первую очередь, участвуя в работе ШПУ. Они непосредственно включаются в процесс разработки алгоритмов и программного обеспечения для бортового сбора данных и управления на орбите, передачи информации на Землю, приема информации на ШПУ. Непосредственное участие российских, и через Интернет — зарубежных школьников

в процессах разработки конструкторской и текстовой документации, изготовления систем и микроспутников в целом, наземных испытаниях дает им ясное и широкое представление об организации и «технологии» космической промышленности.

Важным элементом изучения школьниками и студентами космической техники и технологии является их участие в процессе автономных и комплексных испытаний систем и МС в целом, при квалификационных термовакуумных, механических, климатических и других испытаниях МС. Так, в Физико-технической школе (г. Обнинск) силами школьников создан стенд и проводятся исследования угловых характеристик датчиков освещенности микроспутника «Колибри-2000».

Вывод МС на орбиту является для школьников и студентов наглядным примером разнообразия технических средств выведения космических аппаратов. Важным и привлекательным элементом здесь является кратковременное внутрикорабельное участие космонавтов и возможность проведения ими «предстартового тестирования» МС. Вывод же МС непосредственно на орбиту может осуществляться несколькими вариантами, расширяющими кругозор школьников и студентов.

Для реализации образовательной программы необходимо закладывать в программе полета сброс информации на ШПУ, которые могут располагаться на территории стран-участниц проекта. В целях снижения стоимости оборудования ШПУ необходимо максимально использовать готовые (покупные) устройства, а не специализированные модемы, которые применялись, например на МС «Колибри-2000».

7. Наземная поддержка проекта

В ходе реализации проекта большое внимание должно уделяться наземным наблюдениям, позволяющим более подробно исследовать процессы «воздействия снизу» [14, 16, 18, 27].

Литература

1. Александров В.В., Беляев А.А., Григорян О.Р., Михалев А.В., Радченко В.В., Климов С.И., Санько Н.Ф., Игнатьев Н.Н. Научно-методические аспекты формирования научно-образовательных программ, реализуемых на малых спутниках // II Междунар. конф.-выставка

- «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке». Секция 4. Июнь 2000. Королев. 2000. С. 66–67.
2. *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 // Полет. 2002. № 11. С. 35–40.
 3. *Арумов Г.П., Батищев Ю.А., Беляев Б.И., Денисенко П.Ф., Егоров В.В., Зубков С.Г., Иванов В.В., Казимиров Д.А., Качан М.В., Климов С.И., Костенко В.И., Кравцов Ю.А., Кушнир В.Г., Липатов А.Н., Мазиков В.М., Манагадзе Г.Г., Миронов В.Л., Митрофанов И.Г., Новиков В.К., Парамонов А.А., Пустовойт В.И., Рослик Л.А., Сторожев П.П., Тараканова О.Н., Трахов Э.М., Чумиков А.Е., Шемякин В.Г.* Региональная система управления природопользованием, состоянием окружающей среды и здоровья населения: принципы построения и планирования эксперимента. Препринт ИКИ РАН, Пр-2012, 1999. 38 с.
 4. *Афанасьев Ю.В.* Феррозондовые приборы. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 188 с.
 5. *Вайсберг О.Л., Климов С.И., Корепанов В.Е.* Измерение плотности тока на ударной волне шелевым зондом Ленгмюра // Космич. исслед. 1989. Т. 27. № 3. С. 461–465.
 6. *Григорьев Ю.И., Громов С.К., Григорян О.Р., Радченко В.В., Добрян М.Б., Егоренков О.В., Елисов Н.В., Курилов В.А., Казанский Ю.А., Климов С.И., Ноздрачев М.Н., Суханов А.А., Тамкович Г.М.* Программа создания и использования научно-образовательных микроспутников // Космонавтика и ракетостроение. 2003. Т. 2(31). С. 49–56.
 7. *Грачев Е., Григорян О., Riedler W., Schwingenschuh K., Magnes W., Berghofer G., Koren W., Zhang T., Glassmeier K.-H., Auster H.-U., Fornacon K.-H., Rustenbach J., Грушин В., Климов С.И.* Магнитометрическая система аппаратуры СПРУТ-VI // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 1. С. 127–133.
 8. *Климов С.И.* Анализ методов измерений напряженности электрического поля в магнитосфере // Межпланетная среда и физика магнитосферы. М.: Наука, 1972. С. 50–58.
 9. *Климов С.И.* Исследования влияния космической погоды на состояние среднеширотной и приэкваториальной ионосферы. (Researches of influence of space weather on a condition of middle latitude and near-equator ionosphere) // Tenth Jubilee Intern. Scientific Conf. “Contemporary problems of solar-terrestrial influences”. 20–21 Nov. 2003. Sofia, Bulgaria 2003. P. 12–13.

10. *Климов С.И., Корепанов В.Е., Юхневич Ю., Афанасенко М.П., Грушин В.А., Добровольский И.А., Грачев Е.А., Григорян О.Р., Марусенков А.А.* Волновой комплекс аппаратуры СПРУТ-VI // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 1. С. 122–126.
11. *Петрукович А.А., Климов С.И.* Использование измерений солнечного ветра для анализа и прогноза геомагнитной активности // Космич. исслед. 2000. Т. 38. №5. С. 463-468.
12. *Романов С.А., Климов С.И., Мироненко П.А.* Пространственные характеристики и дисперсионные соотношения КНЧ-излучений на околоземной ударной волне по результатам измерений на ИСЗ «Прогноз-10» // Космич. исслед. 1990. Т. 28. Вып. 6. С. 903–918.
13. *Сопрунюк П.М., Климов С.И., Корепанов В.Е.* Электрические поля в космической плазме. Киев: Наукова думка, 1994. 189 с.
14. *Сорокин В.М., Федорович Г.В.* Физика медленных МГД-волн в ионосферной плазме. М.: Энергоатомиздат, 1982. 136 с.
15. *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) // III Международный конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке». 27–31 мая 2002. Королев. Кн. 1. 2002. С. 72–80.
16. *Черногор Л.Ф.* Энергетика процессов на Земле, в атмосфере и околоземном космосе в свете проекта «Попередження» // Космічна наука і технологія. 1999. Т. 5. № 1. С. 38–47.
17. *Galperin Yu., Hayakawa M.* On a possibility of parametric amplifier in the stratosphere-mesosphere suggested by active MASSA experiments with the AUREOL-3 satellite // Earth Planets Space. 1998. V. 50. P. 827–832.
18. *Hines C.O.* Internal gravity waves at ionospheric heights // Can. J. Phys. 1960. V. 38. P. 1441–1481.
19. *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 // Abstr. COSPAR Colloquium'96 Magnetospheric Research with Advanced Techniques, Beijing, China 15–19 Apr. 1996. P. 18–19.
20. *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., Ruster*

- nbach J.* Research of solar-terrestrial connections on new orbits solved by the small satellites with electric propulsion system. // 2nd Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) "Small Satellites for Earth Observation". Berlin. Apr. 12–16, 1999. P. 67–70.
21. *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. // 2nd Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) "Small Satellites for Earth Observation". Berlin. April 12-16, 1999. P. 359–362.
 22. *Klimov S.I., Nozdrachev M.N., Petrukovitch A.A., Tamkovitch G.M., Alexandrov V.V., Belyaev A.A., Grigoryan O.R., Mikhalev A.V., Radchenko V.V., Sanko N.F.* Scientific and methodological aspects of microsatellite-based educational programs // Abst. 33rd COSPAR Scientific Assembly. Warsaw, Poland. 16–23 July, 2000. Special-005. 2000.
 23. *Klimov S.I., Angarov V.N., Dobriyan M.B., Nozdrachev M.N., Rodin V.G., Tamkovitch G.M., Belaev A.A., Grachov Ye.A., Grigoryan O.R., Radchenko V.V.* Technological aspects of microsatellite based educational programs. // 3rd Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) "Small Satellites for Earth Observation". Berlin. April 2–6, 2001 / Ed. H.P. Roser, R. Sandau, A. Valenzuela. P. 283–286.
 24. *Klimov S.I., Grushin V.A., Lissakov Yu.V., Nozdrachev M.N., Petrukovich A.A., Grachev E.A., Grigoryan O.R., Lysakov D.S., Schwingenschuh K., Auster H.U., Fornakon K.-H., Rustenbach J., Korepanov V.E., Juchniewicz J., Afanasjev Yu.V., Kudela K.* INTERBALL-1 and MIR Orbital Station coordinated magnetic field and energetic particles measurements // Adv. Space Res. 2002. V. 30. N. 7. P.1847-1853.
 25. *Klimov S.I., Afanasyev Yu.V., Eismont N.A., Grachev E.A., Grigoryan O.R., Grushin V.A., Lysakov D.S., Nozdrachev M.N.* Result of in flight operation of scientific payload on micro-satellite "Kolibri-2000". Small Satellite for Earth Observation // 4th Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) "Small Satellites for Earth Observation". Berlin. Apr. 7–11, 2003 / Ed. H.P. Roser, R. Sandau, A. Valenzuela. P. 95–98.
 26. *Klimov S.I., Tamkovitch G.M., Angarov V.N., Grigoriev Yu.I., Grigoryan O.R., Dobriyan M.B., Nozdrachev M.N., Papkov A.P., Pharnakeev I.V., Radchenko V.V., Vasiliev S.I., Zelenyi L.M.* Aerospace education program realization by means of the micro-satellite. // 4th Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) "Small Satellites for Earth Observation". Berlin. Apr. 7–11, 2003. / Ed. H.P. Roser, R. Sandau, A. Valenzuela. P. 387–390.

27. *Klos Z., Kiraga A., Pulinets S.A.* Broad-band Hectometric emission in the topside ionosphere created by ground-based transmitters // *Adv. Space Res.* 1990. V. 10. P. (7)1777–(7)180.
28. *Korepanov V., Berkman R.* Electromagnetic sensor for microsattellites // *Digest of the 2nd Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) “Small Satellites for Earth Observation”*. Berlin. Nov. 4–8, 1996. P. 104–108.
29. *Korepanov V., Dudkin F.* Three independent techniques to study spatial current density // *Digest of the 2nd Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) “Small Satellites for Earth Observation”*. Berlin. Apr. 12–16, 1999. P. 235–238.
30. *Rodin V.G., Galeev A.A., Gotlib V.M., Eismont N.A., Klimov S.I., Linkin V.M., Lyakishev V.G., Prudkoglyad A.V., Sukhanov A.A., Zakharov A.V., Bryukhanov N.A., Chernyavsky A.G., Gorshkov L.A., Garkusha V.I., Semenkin A.V., Tverdokhlebov S.O.* New small spacecraft type assembled on-board the International Space Station // *Digest of the 2nd Intern. Symp. of the Intern. Academy of Astronautics (IAA) “Small Satellites for Earth Observation”*. Berlin. Apr. 12–16, 1999. P. 299.
31. *Tronyn A.A., Hayakawa M., Molchanov O.A.* Terminal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China // *Geodynamics*. 2002. V. 33. P. 519–534.