

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

МАЛЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «УНИВЕРСИТЕТСКИЙ – ТАТЬЯНА-2»

Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов,
В. А. Кожевников, В. П. Ходненко

Представлена история создания малого космического аппарата (МКА) «Университетский – Татьяна-2». МКА предназначен для выполнения международной научно-образовательной молодежной программы в части исследования околоземного космического пространства. Приведены основные характеристики МКА «Университетский – Татьяна-2», состоящего из служебной платформы (комплекса обеспечивающих систем) и полезной нагрузки. Даны основные характеристики служебных систем и целевой научной аппаратуры. Приведены результаты научного эксперимента. В верхних слоях атмосферы Земли были зарегистрированы кратковременные атмосферные свечения (транзиенты), кроме того, научная аппаратура зафиксировала непонятное явление – слабые вспышки, наблюдающиеся в широком диапазоне долгот и частот. Дальнейшее исследование таких явлений продолжится на университетском спутнике «Ломоносов». Создание МКА «Университетский – Татьяна-2» в части проектирования малых спутников стало ценным опытом для молодых специалистов и студентов. В процессе функционирования МКА получено достаточно большое количество научной информации, представляющей интерес для научного сообщества.

Ключевые слова: малый космический аппарат, околоземное космическое пространство, транзиентные световые явления, радиационная обстановка, ультрафиолетовое излучение, центральный контроллер, навигационная аппаратура, метод сквозного проектирования, свечение ночной атмосферы, интенсивность потоков электронов.

Малый космический аппарат «Университетский – Татьяна-2» создавался в рамках научно-образовательного космического проекта Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова «МГУ-250», приуроченного к его 250-летию. Его основной задачей являлась организация научной и образовательной деятельности на основе использования данных, получаемых с малых космических аппаратов. Это первый в мире проект по использованию научной информации в широкомасштабных образовательных целях посредством интернет-технологий.

Научная программа была направлена на исследование проблем космической физики. В программу входили изготовление и запуск двух сверхмалых спутников, нацеленных, в основном, на изучение радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве.

Накануне 250-летия МГУ в январе 2005 г. был запущен МКА «Университетский – Татьяна-1», главной задачей которого являлось привлечение как можно большего числа студентов к работе с информацией, получаемой в реальном режиме времени. МКА предназначался для изучения радиации в околоземном космическом пространстве (ОКП), радиационных поясов, космических лучей, ультрафиолетовых свечений в верхней части атмосферы Земли.

Последующий МКА «Университетский – Татьяна-2» разработан и изготовлен АО «Корпорация «ВНИИЭМ» совместно с МГУ в соответствии с реализацией Федеральной космической программы России на 2006 – 2015 гг., а также совместным Решением Федерального космического агентства и МГУ

им. М. В. Ломоносова № АП-2 от 23.04.2007 о сотрудничестве по реализации приоритетного национального проекта «Образование» и об осуществлении запуска МКА «Университетский – Татьяна-2» попутно с КА «Метеор-М» № 1 от 29.02.2008.

Аппарат создавался начиная с 2007 г., в его создании, совместно с АО «Корпорация «ВНИИЭМ», принимал участие международный коллектив – МГУ, Национальный центральный университет (Тайвань), Женский университет Евха (Южная Корея), Автономный университет штата Пуэбла (Мексика).

От МГУ ответственным исполнителем является Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына.

Проект был открыт для участия любых российских учебных заведений, его результаты являлись достоянием всего российского университетского сообщества.

Учебный спутник «Университетский – Татьяна-2» заменил на орбите утраченный при столкновении с космическим мусором МКА «Университетский – Татьяна-1».

17 сентября 2009 г. в 19 ч 55 мин по московскому времени с космодрома Байконур был осуществлён запуск ракеты-носителя (РН) «Союз-2.1б» с разгонным блоком «Фрегат» и группой космических аппаратов, в числе которых находился и МКА «Университетский – Татьяна-2».

В 20 ч 04 мин орбитальный блок с космическим аппаратом успешно отделился от 3-й ступени РН «Союз-2». По информации сектора оперативно-технического контроля МКА «Университетский – Татьяна-2»



Рис. 1. МКА «Университетский – Татьяна-2»

был выведен на заданную орбиту, и в назначенное время (21 ч 45 мин) отделился от разгонного блока «Фрегат».

Назначение МКА «Университетский – Татьяна-2»

МКА «Университетский – Татьяна-2» (рис. 1) [1] предназначен для выполнения международной научно-образовательной молодежной программы под руководством МГУ им. М. В. Ломоносова. Программа направлена на привлечение студентов, аспирантов и молодых исследователей на всех этапах подготовки и проведения космического экспе-

римента, проведения исследований и развития дистанционных методов обучения.

Задача МКА «Университетский – Татьяна-2», кроме учебной, состояла в продолжении исследований транзиентного свечения. Это явление может создавать потенциальную опасность для космических ракет.

На спутнике установлено 8 приборов для изучения световых явлений в атмосфере Земли, возникающих под воздействием галактических космических лучей и энергичных заряженных частиц в авроральных и экваториальных областях; для исследования радиационной обстановки на трассе полёта спутника, мониторинга вспышечной активности Солнца и исследований вариаций параметров ионосферы и верхней атмосферы [2].

В целом спутник предназначался для изучения плазмы, радиации, космических лучей и УФ-свечения. Суммируя выше сказанное, задачами МКА «Университетский – Татьяна-2» в части исследования околоземного космического пространства являлись:

- исследование транзиентных световых явлений в верхних слоях атмосферы Земли;
- исследование радиационной обстановки на орбите спутника, а также стойкости бортовой электроники;
- исследование вариации гравитационного и магнитного полей Земли;
- исследование космических частиц высокой энергии;
- исследование ультрафиолетового фонового излучения ночной атмосферы и полярных сияний.

Основные характеристики МКА представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики МКА

Заказчик	МГУ им. М. В. Ломоносова, Межуниверситетская научно-образовательная программа космических исследований
Головной исполнитель	ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»
Тип орбиты	Околокруговая, солнечно-синхронная
Высота, км	~835
Период обращения, мин	~101,3
Наклонение, град.	~98,85
Масса микроспутника, кг	~98
Масса полезной нагрузки, кг	~25
Максимальные размеры (с учётом антенн и датчиков), мм	1400 × 570 × 950
Исполнение	Негерметичное
Ориентация	Трёхосная: Земля – Солнце
Тип системы ориентации	Электромаховичная
Точность ориентации на Землю, не хуже, угл. мин	15
Мощность солнечных батарей, Вт	150
Средневитковое потребление, Вт	Не менее 55
Среднее потребление полезной нагрузки, Вт	~35
Радиолиния передачи информации	1,7 ГГц, 665 бит/с
Объём передаваемой информации, Мбайт/сутки	До 100
Срок активного существования	1 год

Состав МКА «Университетский – Татьяна-2»

МКА «Университетский – Татьяна-2» состоял из служебной платформы (комплекса обеспечивающих систем) и полезной нагрузки (рис. 2).

В состав служебных систем входили:

- система ориентации и стабилизации;
- блок центральных контроллеров;
- система электроснабжения;
- аппаратура спутниковой навигации;
- блок распределения питания;
- телекомандная система;
- радиолиния передачи информации;
- система терморегулирования;
- антенно-фидерные устройства;
- система отделения.

Основные характеристики служебной платформы

Служебная платформа (рис. 2): 1 – приборы СО (датчик местной вертикали, датчик Солнца, ДУС – 3 шт., магнитометр, электромагниты – 3 шт., ДМ – 3 шт., КСО); 2 – БА управления (центральный контроллер, блок радиоканалов, контроллер питания и телеметрии, КСП, навигационная аппаратура); 3 – АФУ радиолиний управления и передачи научной информации; 4 – АБ; 5 – антенна навигационной аппаратуры. Полезная нагрузка: 6 – ДУФик; 7 – ДФЗК; 8 – прибор МТЕЛ на основе микроэлектромеханической кремниевой технологии (детектор изображения вспышки и спектрометр вспышки в УФ-диапазоне); 9 – детектор электронов ионосферы и магнитного поля Земли; 10 – микроакселерометр; 11 – экспериментальная бортовая цифровая вычислительная машина; 12 – блок сбора и хранения информации полезной нагрузки, передатчик скоростной информации. Фотоэлементы СБ, кабели и СТР не показаны.

Конструкция. Основными критериями при создании конструкции МКА «Университетский – Татьяна-2» являлось обеспечение:

- точностных и технических характеристик аппарата;
- полей обзора научных и служебных приборов;
- прочности конструкции;
- теплового режима бортовых систем;
- электромагнитной совместимости бортовых систем и приборов.

Было принято решение отказаться от типового варианта солнечной батареи и сделать её частью (одной из граней) несущей конструкции аппарата. При этом угол между нормалью к плоскости и направлением на Землю был оптимизирован по критерию максимального энергоприхода на витке.

Основная несущая конструкция МКА представляла собой пространственную раму (призма с трапецией в плане – рис. 3), выполненную из титана. Разработанная конструкция МКА обеспечивала технологичность изготовления и возможность многократной сборки – разборки.

При создании МКА был реализован метод сквозного проектирования, когда на базе единой 3D-модели осуществлялись все этапы разработки конструкции (формирование облика, компоновка, определение массогабаритных, прочностных, тепловых и динамических свойств, выпуск конструкторской документации и изготовление).

При проведении расчётов на прочность также была решена задача оптимизации конструкции по критерию масса – прочность – жёсткость (минимально возможная масса при запасе прочности не менее 2 и собственных частотах конструкции не ниже 20 Гц).

Кроме того, с помощью 3D-модели МКА была решена задача настройки упругих элементов системы отделения, чтобы минимизировать угловые скорости аппарата при отделении.

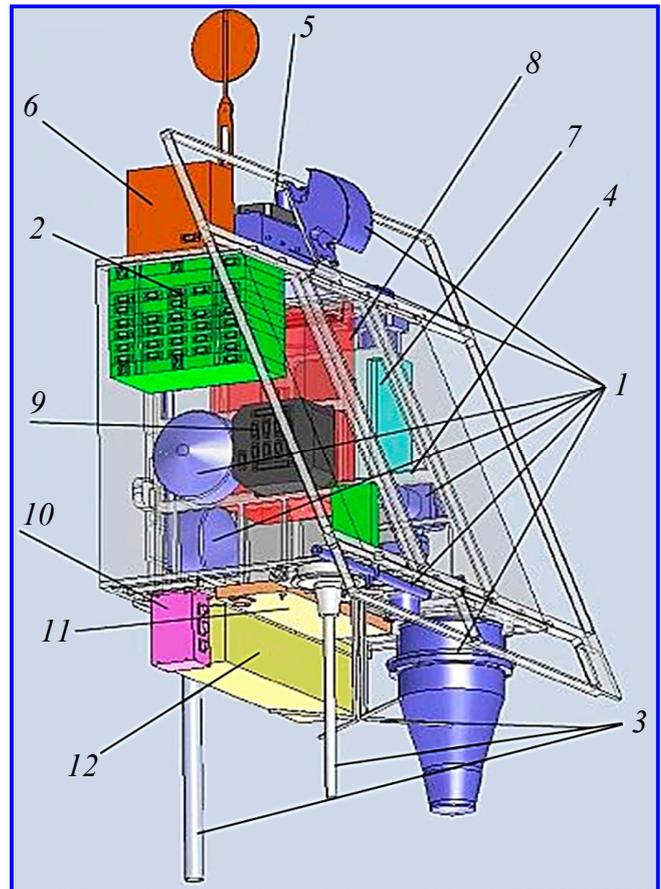


Рис. 2. Состав и компоновка МКА «Университетский – Татьяна-2»

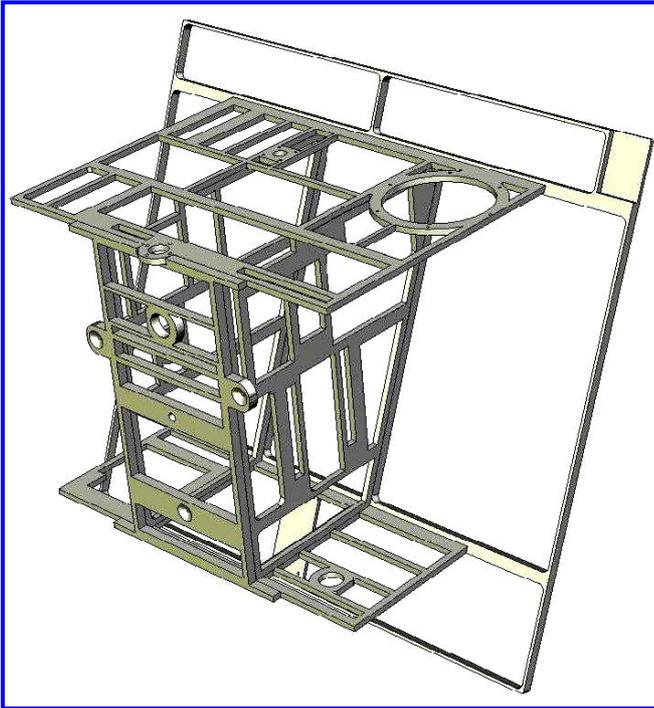


Рис. 3. Несущая конструкция МКА

Моделирование показало (и практика подтвердила), что угловые скорости после отделения будут не более 1,2 %/с.

Окончательная компоновка МКА «Университетский – Татьяна-2» показана на рис. 2.

Служебные системы

В состав служебных систем входили:

Блок центрального контроллера и телеметрии (БЦКТ), который содержал:

- микропроцессор и ОЗУ;
- шину информационного обмена CAN;
- каналы последовательного стартстопного стыка (UART);
- таймер, ведущий отсчёт бортового времени;

- средства ТМ-контроля электрических параметров и сигнальных датчиков;
- средства ТМ-контроля цифровых температурных датчиков.

Блок БЦКТ выполнял следующие функции:

- обработку входных командных и информационных сигналов;
- информационное взаимодействие с бортовой служебной и целевой аппаратурой МКА, приём информации, её накопление, хранение и выдачу в каналы связи;
- контроль и автоматизацию внутренних процессов жизнеобеспечения МКА;
- формирование, контроль и исполнение бортовых временных программ.

В целях повышения надёжности в построении БЦКТ использовано «холодное» резервирование и предусмотрен собственный автомат переключения полуконструктов.

Характеристики БЦКТ представлены в табл. 2.

Контроллер питания и телеметрии (КПТ) (табл. 3) обеспечивал:

- выдачу электропитания бортовым системам и устройствам полезной нагрузки (потребителям);
- защиту потребителей по токам нагрузки;
- отключение потребителей по сигналам снижения напряжения питания;
- обработку и выдачу телеметрии о состоянии потребителей.

Система электроснабжения (СЭС) обеспечивала питание бортовой аппаратуры МКА в соответствии с логикой работы и штатной циклограммой энергопотребления за счёт обеспечения согласованной работы аккумуляторной батареи (АБ) и батареи фотоэлектрической (БФ) на общую нагрузку.

В состав СЭС входили:

- первичный источник электроэнергии – батарея фотоэлектрическая (БФ), преобразующая энергию

Таблица 2

Характеристики БЦКТ

Количество интерфейсов типа CAN, шт.	2 (2 шины)
Количество внешних интерфейсов типа RS-232 (RS-422), шт.	4
Количество внутренних интерфейсов типа RS-232 TTL, шт.	2
Количество каналов ТМ-контроля датчиков, шт.	28
Количество линий цифровых термодатчиков, шт.	3 (по 8 датчиков в каждой)
Напряжение питания, В	24 – 34
Количество полуконструктов, шт.	2
Потребляемая мощность, Вт	0,8 – 1,2
Масса блока, кг	0,73 ± 10 %
Габаритные размеры, мм	246 × 150 × 20

Таблица 3

Характеристики контроллера питания и ТМ

Мощность потребления, Вт	2 – 2,5
Количество нагрузок, шт.	19
Коммутируемый ток, А	3
Общий коммутируемый ток, А	8
Масса, кг	0,73 ± 10 %
Габаритные размеры, мм	246 × 150 × 20

солнечного излучения в электрическую энергию (разделена на 10 секций – генераторов, которые имеют мощность 150 Вт, общая площадь БФ ~ 0,7 м², максимальный ток одной секции БФ – (0,49 ± 0,2) А;

– накопитель электроэнергии – аккумуляторная батарея ёмкостью 15 Ач;

– устройство контроля и регулирования параметров СЭС и согласования БФ и АБ с потребителями – контроллер системы питания (КСП).

Характерный вид изменения тока одной секции БФ приведён на рис. 4, а параметров бортовой сети – на рис. 5.

Кратковременное увеличение тока – сеансы связи.

Данные, полученные при эксплуатации, показали, что система электроснабжения имела примерно 10%-ный запас по мощности. За 4 месяца эксплуатации деградации БФ не зафиксировано (точность ~4%).

Система ориентации (СО) обеспечивала успокоение МКА после отделения от разгонного блока, поиск ориентиров (Земля, Солнце), управление ориентацией МКА в следующих режимах:

- ориентация «Земля – Солнце»;
- ориентация «Земля – курс» (для съёмочной аппаратуры);
- ориентация «Земля – Солнце» без датчиков угловой скорости;
- ориентация «Земля – Солнце» по данным магнитометра и навигационной аппаратуры;
- ориентация «Солнце».

В состав СО входили:

- датчик вертикали (ДВ) – 1 шт.;
- датчик Солнца (ДС) – 1 шт.;
- датчик угловых скоростей (ДУС) – 3 шт.;
- магнитометр (ММ) – 1 шт.;
- электромагнит (ЭМ) – 3 шт.;
- двигатель-маховик (ДМ) – 3 шт.;
- контроллер системы ориентации (КСО) – 2 шт. (один в холодном резерве).

Время установления штатного режима «Земля – Солнце» – не более 1,5 ч.

Точность ориентации на Землю – не хуже 15 угл. мин.

Программное обеспечение (ПО) системы обеспечивало полностью автономное управление от момента отделения МКА до построения режима



Рис. 4. Временная диаграмма тока одной из секций БС

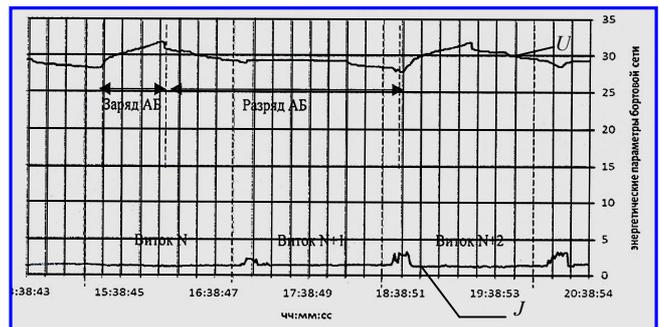


Рис. 5. Диаграмма изменения напряжения (U) и тока (J)

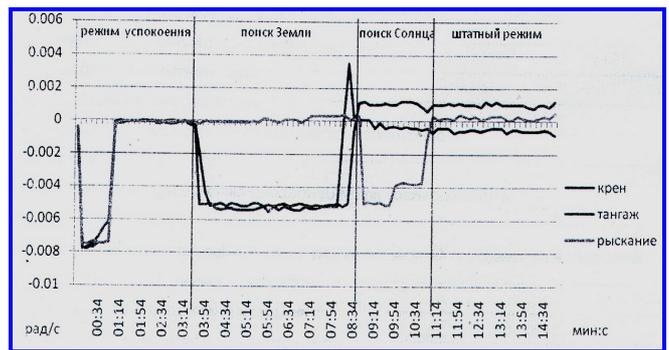


Рис. 6. Угловые скорости МКА после отделения по показаниям ДУС

штатной ориентации. Этот процесс в полёте занимал 11 мин (рис. 6), в том числе по фазам:

- успокоение – 3,5 мин;
- поиск Земли – 2 мин;
- поиск Солнца – 5 мин.

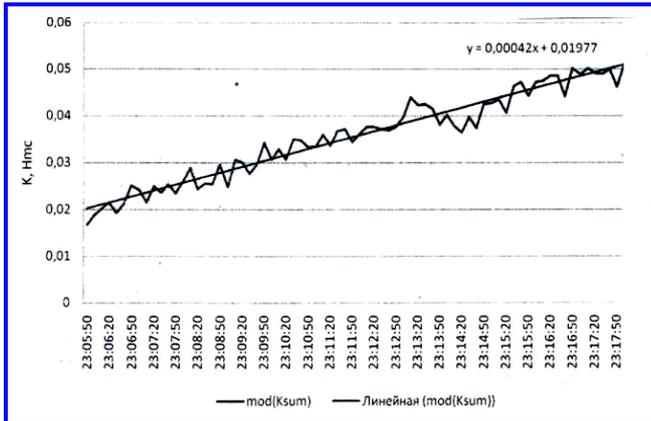


Рис. 7. Изменение модуля суммарного кинетического момента

Внешний возмущающий момент, действующий на МКА, был определён по скорости изменения модуля суммарного кинетического момента аппарата с использованием данных с датчиков угловой скорости и тахогенераторов ДМ.

Характерное изменение модуля суммарного кинетического момента МКА изображено на рис. 7.

Наземная отработка ПО системы ориентации и стабилизации, а также анализ результатов лётных испытаний, выполнялись на специальном стенде для полунатурного моделирования.

Система терморегулирования (СТР) – система пассивного типа. Она предназначалась для обеспечения рабочих температур блоков МКА и состояла из следующих элементов:

- термодатчики;
- радиатор;
- ЭВТИ,

а также трёх плёночных нагревателей мощностью 5 Вт каждый, установленных с целью поддержания необходимого температурного режима аккумуляторной батареи в аварийных ситуациях.

Навигационная аппаратура пользователя (НАП) (табл. 4) предназначалась для навигационного обеспечения взаимодействия МКА и наземных служб при эксплуатации.

Информация НАП накапливалась, сохранялась, доставлялась на Землю по служебным каналам связи и использовалась для:

- определения параметров орбиты МКА;
- прогнозирования движения МКА по орбите;
- планирования взаимодействия с МКА;
- пространственной и временной привязки данных научной аппаратуры.

НАП работала по двум системам спутниковой навигации – ГЛОНАСС и GPS.

Блок радиоканалов (БРК) предназначался для организации каналов радиосвязи системы командного управления, телеметрического контроля и информационного обслуживания МКА.

Основная целевая аппаратура и её характеристики

Детектор ультрафиолетового и красного излучений (ДУФиК) предназначался для регистрации свечения атмосферы Земли в ультрафиолетовом и красном диапазонах электромагнитного спектра.

Детектор флуктуаций потока заряженной компоненты (ДФЗК) предназначался для регистрации потока заряженных частиц («заряженной компоненты» космической радиации) на орбите.

Детектор изображения в ультрафиолетовом диапазоне – телескоп «Т» для измерения размера и формы пространственного распределения отдельных УФ-вспышек одновременно с показаниями детекторов ДФЗК и ДУФиК. Телескоп «Т» включал спектрометр «С» для изучения спектрального состава вспышек. Телескоп «Т» и спектрометр «С» составляли один прибор – МТЕЛ.

Электронный спектрометр для измерения температуры, плотности и электрического потенциала плазмы электронов ионосферы и магнитного поля Земли.

Микроакселерометр (МАС) для измерения вариаций изменения параметров гравитационного поля Земли по орбите.

Экспериментальная БЦВМ установлена на МКА для определения целесообразности применения подобных микроЭВМ в условиях негерметичного КА.

Таблица 4

Технические характеристики НАП

Спутниковые навигационные системы	ГЛОНАСС, GPS
Количество каналов приёма, шт.	12
Сигнал времени, с	1
Напряжение питания, В	9 – 36
Потребляемая мощность, Вт	6 – 8
Масса блоков, кг	0,63 ± 5 %
Габаритные размеры, мм	246 × 150 × 20
Габаритные размеры антенны, мм	102 × 60 × 240,29

Лётные испытания

С 12 по 20 октября 2009 г. на МКА «Университетский – Татьяна-2» проводились работы по проверке работоспособности средств обеспечения живучести аппарата.

По команде наземного комплекса управления БЦВМ системы ориентации была переключена на резервный канал управления. Анализ ТМ-информации показал нормальное функционирование системы ориентации на резервном канале, после чего управление было вновь передано основному каналу.

Проверена штатная процедура корректировки ПО БЦВМ системы ориентации. В качестве корректирующего кода в БЦВМ была заложена специальная программа, формирующая команды по CAN-шине МКА и обеспечивающая корректировку (при необходимости) ПО других систем МКА.

Анализ ТМ-информации подтвердил работоспособность как технологии корректировки ПО в полёте, так и нормальное функционирование новой программы.

МКА «Университетский – Татьяна-2» активно функционировал на орбите до 20 января 2010 г., однако, несмотря на сравнительно небольшой срок, с его помощью удалось обнаружить абсолютно новые физические явления (см. ниже результаты научного эксперимента).

После 4-х месяцев работы на орбите система ориентации и стабилизации МКА вышла из строя, в результате чего была отключена вся научная аппаратура.

Результаты научного эксперимента

На первом этапе лётных испытаний было проведено тестирование научных приборов, а в дальнейшем накопление данных и их обработки.

Микроакселерометр (МАК) был успешно разрегирован на 9-м витке 18 сентября 2009 г. и показал хорошую работоспособность.

Электронный спектрометр был впервые включен на 52-м витке 21 сентября 2009 г. на двух витках. Полученные данные свидетельствовали о полном функционировании прибора и соответствии заданным техническим характеристикам.

Детекторы ультрафиолетового и красного излучения (ДУФК) и фона заряженной компоненты (ДФЗК) были впервые включены 2 октября 2009 г. на двух последовательных витках в районе северных и южных широт и 105 – 170 градусов восточной долготы для проверки работоспособности в условиях космического полёта.

Данные испытаний показали, что технические характеристики приборов соответствуют ТЗ. Были зарегистрированы 4 сигнала от транзитных высотных разрядов, в том числе разряд с энергией,

превышающей десятки мегаджоулей были зарегистрированы случайные сигналы от одиночных частиц.

30 сентября 2009 г. в том же районе на двух последовательных витках был включён микротелескоп (MTEL). Технические характеристики прибора соответствовали ТЗ и им были зарегистрированы четыре события типа «голубая струя».

Анализ полученных данных показал, что приборы работоспособны и полностью соответствуют требованиям программы глобального изучения транзитных разрядов.

Первые научные данные со спутника «Университетский – Татьяна-2» относятся к транзитным явлениям, зарегистрированным над Индонезией через 20 мин после землетрясения.

Основной научной задачей МКА «Университетский – Татьяна-2» являлось исследование транзитных световых явлений в верхней атмосфере Земли и поиск корреляции этих разрядов с потоками электронов на орбите спутника.

Атмосферные вспышки регистрировались детектором (ДУФК) в двух диапазонах длин волн 240 – 400 нм (УФ) и 610 – 700 нм (К-ИК).

Интересным результатом явилось наблюдение серий вспышек на одном витке спутника (рис. 8).

Географическое распределение событий в сериях указывает на их связь с районами грозовой активности. Это означает, что в данных областях создаются благоприятные условия для возникновения быстрых электрических разрядов в верхних слоях атмосферы.

Однако серии вспышек на одном витке спутника наблюдались при пролёте не только над грозовыми областями, но и над безоблачными районами. Соотношение числа вспышек в безоблачных районах (25%) и в облачных районах (75%) превышает наблюдаемую долю количества молний в безоблачных районах (<5%).

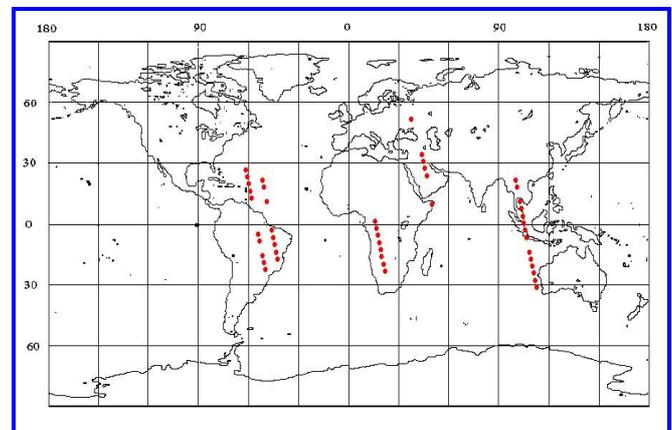


Рис. 8. Примеры серии вспышек на одном витке МКА

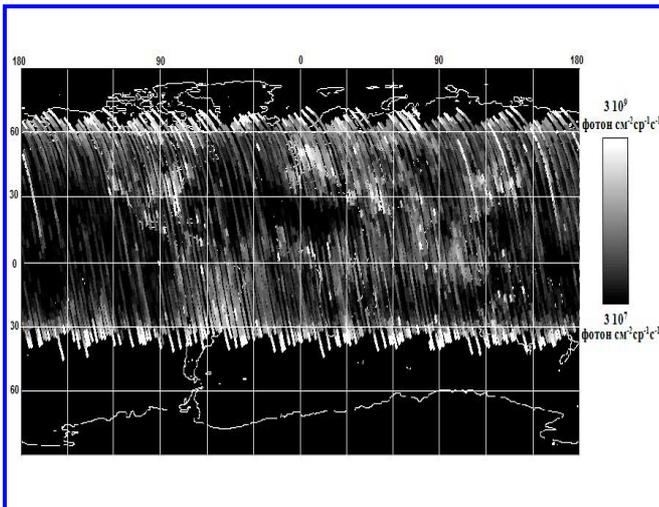


Рис. 9. Карта свечения ночной атмосферы в УФ-диапазоне

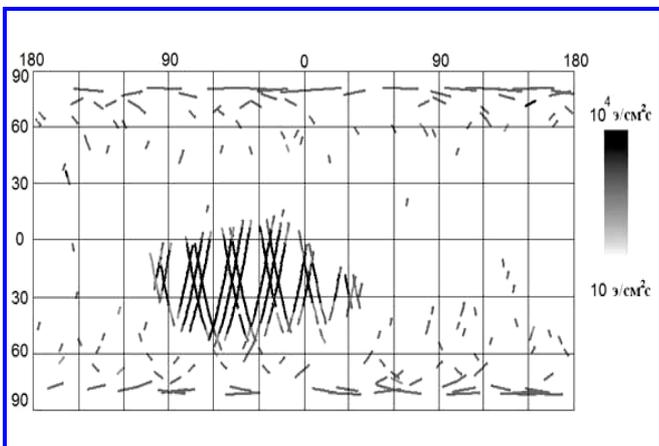


Рис. 10. Карта интенсивности потоков электронов на орбите

Наблюдение вспышек каждую минуту в течение длительного времени (одна из зарегистрированных серий имеет 15 событий) указывает на возможное возбуждение электрического поля в верхних слоях атмосферы на больших площадях (тысячи километров) далеко за пределами облачности.

Помимо регистрации быстрых – транзитных явлений, детектором осуществлялась запись и среднего фона УФ-свечения ночной атмосферы Земли вдоль траектории МКА.

На рис. 9 показана глобальная карта интенсивности УФ-свечения атмосферы в безлунные ночи, снятая в период с 20 октября 2009 г. по 16 января 2010 г. Видны наиболее «тёмные» и наиболее «светлые» районы Земли в УФ-свечении. С увеличением фазы луны растёт уровень УФ-излучения, рассеянного от атмосферы и от облачного покрова.

Шкала интенсивности свечения представлена справа.

Одновременно с детектором УФ- и К-ИК-излучений работал и детектор заряженных частиц. Полученная карта интенсивности потока электронов на орбите с пороговой энергией 1 МэВ показана на рис. 10.

На карте выделяется область Южно-Атлантической аномалии (ЮАА), где значения интенсивности потока электронов на протяжении тысяч километров вдоль траектории МКА превышают значение в других районах Земли. Менее интенсивные потоки электронов на высоких широтах, соответствующих внешнему и внутреннему радиационным поясам, измеряются лишь при достаточной интенсивности.

Установленная на МКА «Университетский – Татьяна-2» уникальная научная аппаратура позволила зарегистрировать в верхних слоях атмосферы Земли кратковременные атмосферные свечения (транзиенты) и подтвердить связь этих явлений с грозами (молниями).

Результаты миссии МКА «Университетский – Татьяна-2», оснащённого совершенным детектором ультрафиолетовых излучений и красного света (ДУФик), стали сенсационными: были обнаружены два новых класса физических явлений, которые могут быть не связаны с грозами.

Первым неожиданным результатом стали зафиксированные серии последовательных вспышек в ультрафиолетовом и красном свете, не всегда связанные с облачными регионами.

Кроме того, МКА «Университетский – Татьяна-2» получил ещё один совершенно новый результат: его аппаратура зафиксировала непонятное явление – слабые вспышки, которые наблюдались в широком интервале долгот и широт.

Общие выводы

1. В ходе создания и ЛИ МКА «Университетский – Татьяна-2» получен значительный опыт в проектировании, изготовлении и эксплуатации миниспутников, заключающийся в:

- моделировании различных режимов ориентирования МКА после отделения и при штатной работе;
- тщательной отладке ПО бортовой ЦВМ системы ориентации на стенде, а затем на спутнике;
- обеспечении успешной и полностью автоматической работы МКА, как на начальном этапе, так и при эксплуатации;
- применении метода сквозного проектирования, позволяющего объединить в один единый процесс все этапы разработки конструкции;
- контроле качества электроснабжения МКА. При этом состояние энергетики МКА было стабильным, с положительным балансом в несколько десятков ватт. Для

обеспечения энергоснабжения МКА было достаточно проведения заряда аккумуляторной батареи через виток;

– установлении температурного режима МКА примерно за 6 витков. При этом значения температуры приборов находились в установленных эксплуатационной документацией пределах;

– обеспечении нормального информационного обмена БЦВМ с бортовой аппаратурой управления и информационным блоком полезной нагрузки.

2. Определение параметров орбиты МКА осуществлялось по данным навигационной аппаратуры ГЛОНАСС и GPS, которая работала в штатном режиме (один 15-минутный сеанс в сутки) и полностью обеспечивала проведение баллистических расчётов.

3. В процессе функционирования МКА «Университетский – Татьяна-2» получено большое количество полезной информации, представляющей интерес для научного сообщества.

Литература

1. Экспериментальный научно-исследовательский малый космический аппарат «Университетский – Татьяна-2» / Под редакцией д-ра техн. наук Л. А. Макриденко, д-ра техн. наук С. Н. Волкова, д-ра физ.-мат. наук М. И. Панасюк [и др.]: справочные материалы. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 32 с.

2. Общие сведения о космическом аппарате «Университетский – Татьяна-2» // Новости космонавтики / Лаборатория космических исследований. Ульяновский государственный университет. – Ульяновск. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.spacephys.ru/tatjana-2>.

Поступила в редакцию 30.11.2017

Леонид Алексеевич Макриденко, доктор технических наук генеральный директор, т. (495) 365-56-10.

Сергей Николаевич Волков, доктор технических наук, 1-й заместитель генерального директора, т. (495) 366-42-56.

Александр Викторович Горбунов, кандидат технических наук, заместитель генерального директора, т. (495) 623-41-81.

Владимир Афанасьевич Кожневников, главный конструктор, т. (495) 366-24-55.

Владимир Павлович Ходненко, доктор технических наук, главный научный сотрудник, т. (495) 624-94-98.

E-mail: vniiem@orc.ru.

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

«UNIVERSITETSKY-TATYANA-2» SMALL SATELLITE

**L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov,
V. A. Kozhevnikov, V. P. Khodnenko**

The article deals with the history of development of the «Universitetsky-Tatyana-2» small satellite. The satellite was designed for the implementation of the international research and educational youth program of near-Earth space exploration. The main characteristics of the «Universitetsky-Tatyana-2» small satellite which consists of a service platform (support systems) and payload are provided in the article. The main characteristics of service systems and mission hardware are also given. The article contains the results of a scientific experiment. Short-time luminous events (transients) were detected in the upper atmosphere, moreover, the mission hardware detected an unknown phenomenon: weak bursts observed in a wide range of lengths and frequencies. Such phenomena will be further investigated with the use of university satellite «Lomonosov». The development of the «Universitetsky-Tatyana-2» small satellite has been a valuable experience in designing small satellites for young specialists and students. During the satellite operation a fairly large amount of data important for the scientific community was obtained.

Key words: *small satellite, near-Earth space, transient luminous events, radiation environment, UV radiation, master controller, navigation equipment, end-to-end design method, atmospheric night glow, electron flux intensity.*

List of References

1. Experimental research small satellite Universitetsky-Tatyana-2 / Edited by L. A. Makridenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), S. N. Volkov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), M. I. Panasiuk, Doctor of Physics and Mathematics (D. Sc.) [et al.]: reference information. – Moscow : FGUE «NPP VNIIEМ», 2009. – 32 p.

2. General information on the Universitetsky-Tatyana-2 satellite // Cosmonautics News / Space Research Laboratory. Ulyanovsk State University. – Ulyanovsk. [Electronic resource]. – Available at : <http://www.spacephys.ru/tatjana-2>.

Leonid Alekseevich Makridenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Director General, tel.: (495) 365-56-10.
Sergei Nikolaevich Volkov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), First Deputy Director General, tel.: (495) 366-42-56.
Aleksandr Viktorovich Gorbunov, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, tel.: (495) 623-41-81.
Vladimir Afanasievich Kozhevnikov, Chief Designer, tel.: (495) 366-24-55.
Vladimir Pavlovich Khodnenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Researcher, tel.: (495) 624-94-98, e-mail: vniiem@orc.ru.
(JC «VNIEM Corporation»).