

УДК 629.78

ЛЁТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «АИСТ»

© 2015 А. Н. Кирилин¹, С. И. Ткаченко², В. В. Салмин², Н. Д. Сёмкин²,
А. П. Папков³, В. И. Абрашкин¹, И. С. Ткаченко², Ю. Е. Железнов¹, Е. Ю. Галаева¹

¹АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара

²Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

³ООО «НИЛАКТ ДОСААФ», г. Калуга

Малые космические аппараты (МКА) «АИСТ» – совместная разработка Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (СГАУ) и акционерного общества «РКЦ «Прогресс» (до 01.07.2014 г. – государственного научно-производственного ракетно-космического центра «ЦСКБ-Прогресс») при поддержке правительства Самарской области. В настоящей работе представлены результаты лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ) и опытной эксплуатации малых космических аппаратов научного и образовательного назначения, а также проведён анализ телеметрической информации (ТМИ) о работоспособности обеспечивающих систем МКА и получаемых с орбиты данных научной аппаратуры. Рассматриваются возможности дальнейшего использования МКА типа «Аист» в научно-образовательных целях.

Малый космический аппарат, лётно-конструкторские испытания, научная аппаратура, орбита, наземные средства управления, телеметрическая информация.

doi: 10.18287/2412-7329-2015-14-4-58-71

Введение

Маломассогабаритный космический аппарат научного назначения «АИСТ» разработан АО «РКЦ «Прогресс» при непосредственном участии специалистов СГАУ в части проектирования аппарата и создания бортовой научной аппаратуры МАГКОМ и МЕТЕОР.

Запуск лётного образца (ЛО) МКА «АИСТ» (RS43as) был осуществлён 19 апреля 2013 года с космодрома «Байконур» попутной полезной нагрузкой КА «Бион-М» №1, выведенного РН «Союз-2» на околокруговую орбиту высотой 570 км и наклоном 64,9°. Режим орбитального полёта МКА – неориентированный, время активного существования – до трёх лет.

Запуск опытного образца (ОО) МКА «АИСТ» (RS41at) был осуществлён 28 декабря 2013 года РН «Союз2-1в» с БВ «Волга» с космодрома «Плесецк» на околокруговую орбиту высотой 625 км и наклоном 82,42°. Режим орбитального

полёта МКА – неориентированный, время активного существования до трёх лет.

На борту МКА установлена командно-управляющая навигационная система (КУНС) разработки НИЛАКТ ДОСААФ, которая обеспечивает информационное обеспечение МКА и их взаимодействие с наземными средствами управления (НСУ) МКА «АИСТ» (г. Самара).

1. Назначение и задачи МКА «АИСТ»

Проведённый специалистами и учёными СГАУ и РКЦ «Прогресс» анализ актуальных задач научных исследований в космическом пространстве, возможности выведения на орбиту малого космического аппарата, его массы, энергетики, финансовых возможностей проекта, а также образовательных задач привел к следующему определению назначения МКА «АИСТ» [1]:

– отработка необходимой для перспективных КА научного назначения типа

«БИОН-М», «ФОТОН-М» магнитной системы компенсации микроускорений;

– исследования на орбите энергетического состава и характера движения микрочастиц;

– решение ряда технологических задач производства малых космических аппаратов;

– ввод в эксплуатацию наземного комплекса управления малыми космическими аппаратами ДОКА-Н;

– включение разработки, создания, эксплуатации МКА «АИСТ» в учебный процесс СГАУ.

При этом для МКА «АИСТ» были поставлены следующие задачи:

- разработка унифицированной малогабаритной космической платформы массой до 100 кг для проведения длительных (до трёх лет) научных исследований, технологических экспериментов и реализации образовательных программ;

- создание информационного канала связи в радиолобительских диапазонах частот с целью передачи информации учебного и научного характера из вузов Самарской области в российские и зарубежные вузы;

- мониторинг магнитного поля Земли и исследование проблем микрогравитации; реализация в течение длительного времени режимов компенсации низкочастотной составляющей микроускорений на борту аппарата до минимальной величины, не превышающей диапазона значений от $10^{-5}g_0$ до $10^{-7}g_0$ (научная аппаратура «МАГКОМ»);

- исследование поведения высокоскоростных механических частиц естественного и искусственного происхождения, взаимодействующих с поверхностью ионизационного датчика и оценка их параметров – массы и скорости; периодическое измерение пространственного положения Солнца относительно связанных координат МКА с последующей оценкой возможных потоков заряженных частиц на его поверхность;

- исследование уровня электризации аппарата и динамики изменения по-

верхностного заряда (научная аппаратура «МЕТЕОР»);

- экспериментальная отработка в космосе перспективных типов батарей фотоэлектрических (БФ) из арсенида галлия (GaAs), созданных с использованием нанотехнологий;

- отработка технологии попутного выведения малого космического аппарата на рабочую орбиту с помощью тяжёлого исследовательского КА-носителя.

- отработка технологий производства маломассогабаритных негерметичных КА с глубоководнокомплексированной бортовой аппаратурой.

Реализация перечисленных выше задач привела к разработке МКА «АИСТ», внешний облик и технические характеристики которых приведены в работах [1,2].

2. Общие положения телеметрических измерений МКА «АИСТ»

Настоящая работа посвящена телеметрическому контролю бортовой аппаратуры МКА, которая осуществляется командно-управляющей навигационной системой ДОКА-Б276, обеспечивающей в части телеметрического контроля сбор телеметрической информации от бортовых устройств обеспечивающей и научной аппаратуры по информационным стыкам в виде последовательности кадров.

Телеметрическая информация аппаратов делится:

- на сборную (TMS), содержащую основные параметры, характеризующие состояние МКА;

- накопительную (TMN), содержащую последовательность кадров сборной телеметрии;

- телеметрию замеров (TMZ), содержащую результаты измерений различных величин, характеризующих состояние МКА и отдельных блоков, которые проводятся бортовым центральным контроллером телеметрии (БЦКТ);

- ТМ «МАГКОМ» (TmMag) – целевую информацию и данные, полученные в

результате работы научной аппаратуры (НА);

- НАП (NAP) – навигационные данные, получаемые в результате работы навигационной аппаратуры пользователя (НАП) по прямому запросу;

- НАП-ГБВ (NAP-GBV) – навигационные данные, полученные в результате работы НАП по запросу генератора бортового времени;

- телеметрию контроля питания и телеметрии (КПТ), которая делится на основную (ТмКРТ1, ТмКРТ2) и дополнительную (ТmdКРТ1, ТmdКРТ2) и содержит данные о текущем энергопотреблении систем и коммутации потребителей.

Передача ТМИ на наземную систему командно-телеметрического взаимодействия (НСКТВ) производится путём выдачи команд. ТМИ запрашивается и передается на НСКТВ секторами. Сохранение основной и дополнительной ТМИ КПТ осуществляется в единой области оперативного запоминающего устройства (ОЗУ).

Телеметрические накопители ТМ-информации «кольцевые». Место текущей записи индицируется указателем накопителя, который входит в состав сборной ТМИ. Так как накопители ТМИ кольцевые, то возможна ситуация, когда весь накопитель будет заполнен. При этом новая ТМИ записывается в накопитель поверх ранее записанной ТМИ.

Периодичность опроса телеметрических датчиков с запоминанием полученных результатов может принимать значения 1, 3, 5, 10, 60 с и 3, 10 мин и изменяется по командам с НСКТВ.

ТМИ сохраняется в отдельных областях ОЗУ, откуда может быть считана и передана на НСКТВ по командам. Одна команда передает на НСКТВ один сектор ОЗУ.

ТМИ передается в НСКТВ кадрами. Состав ТМ-кадров различен в зависимости от вида накопленной и передаваемой ТМИ. Структура ТМ-кадров, передаваемых с борта МКА на НСКТВ, имеет внутреннее значение системы КУНС и пред-

ставляет собой последовательность определённого количества байт с заголовком в начале блока и с контрольной суммой в конце.

На Земле ТМ-кадры декодируются НСКТВ в процессе приёма, и телеметрическая информация отображается оператору (кроме ТМИ НА, которая обрабатывается отдельно).

Сохранение информации после приёма производится в файловой системе компьютера в нескольких форматах: бинарном, защитном, текстовом, табличном.

ТМИ является базой оценки работоспособности МКА и выполнения им заданной программы работы. При этом решаются следующие задачи:

- выявление признаков, характеризующих нештатную работу МКА;

- оценка выполнения МКА заданной программы работы;

- оценка правильности функционирования бортовой аппаратуры МКА;

- идентификация предусмотренных отказов, неисправностей бортовой аппаратуры (БА), систем агрегатов;

- учет параметров в журнале учёта технического состояния МКА.

Источниками информации для проведения оценки МКА являются:

- данные о результатах запуска КА-носителя и отделения МКА;

- результаты проведения сеансов связи (СС);

- результаты обработки телеметрической информации, передаваемой КУНС.

Оценка ТМИ проводится в два этапа:

1) оперативно (в темпе поступления информации на средства отображения в СС) с целью выявления отклонений от штатной работы и оценки выполнения МКА заданной программы работы;

2) углублённо, в целях оценки правильности функционирования и нахождения ТМ-параметров в допустимых пределах.

В процессе работы аппаратов ведётся постоянный контроль:

- наличия (отсутствия) радиосвязи;

- отключения нагрузки (ОН);
- напряжения аккумуляторной батареи;
- общего токопотребления, токопотребления бортовой аппаратуры (БА), токов батареи фотоэлектрической;
- теплового режима МКА, БФ;
- работы системы терморегулирования (СТР);
- функционирования БА КУНС.

В результате анализа работы КУНС решаются задачи:

- оценка работоспособности радиоканала по приёму управляющей информации на борт МКА, выдаче её потребителю и передаче с борта ТМ-информации;
- оценка обеспечения электропитанием БА функционально входящей в КУНС батареями фотоэлектрической;
- оценка приёма, хранения и передачи в наземный комплекс управления информации от НА;
- оценка правильности управления СТР;
- оценка накопления ТМИ;
- оценка проведения навигационных измерений по глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС) ГЛОНАС, GPS и выдача потребителям навигационной информации.

Источниками информации являются результаты проведения СС и результаты обработки ТМИ.

При отсутствии отклонений от норм параметров, характеризующих работу КУНС, делается заключение о её нормальном функционировании.

3. Лётные испытания и эксплуатация МКА «Аист»

21.04.2013 г. первый МКА «АИСТ» успешно отстыковался от КА «Бион-М» и перешёл на собственную орбиту. 22.04.2013 г. была получена первая телеметрическая информация, свидетельствующая о штатной работе всех бортовых систем аппарата. 23.04.2013 г. был осуществлён переход на собственные навигационные измерения МКА. 25.04.2013 г. на борту МКА «АИСТ»

начала работу научная аппаратура «МАГКОМ» и «МЕТЕОР». 30.03.2014 г. были завершены лётные испытания ОО МКА «АИСТ», ведётся его штатная эксплуатация.

Управление МКА «АИСТ» осуществляется из аккредитованного Центром сертификации космической техники Роскосмоса зала управления МКА, Центра приёма и обработки информации (ЦПОИ) «Самара» АО «РКЦ «Прогресс» сотрудниками центра, аспирантами и студентами СГАУ. С 01.08.2015 г. управление аппаратами передано созданному в СГАУ наземному комплексу управления (НКУ) МКА «АИСТ».

В сутки с обоими аппаратами проводится 5-7 сеансов связи длительностью от 32 до 640 с, в ходе которых получают данные телеметрических измерений (файл ТМИ содержит 1440 измерений 126 параметров) обеспечивающих систем, регистрируются массивы данных научной аппаратуры.

До 30.04.2015 г. ЛО МКА «АИСТ» совершил 11129 витков вокруг Земли и с ним проведено 5166 сеансов связи; ОО МКА «АИСТ» совершил 7256 витков и с ним проведено 2543 сеанса связи. ТМИ, полученные ЦПОИ «Самара», обработаны РКЦ и научно-образовательным комплексом МКА СГАУ, аспирантами и сотрудниками институтов «Космическое приборостроение» и «Космическое машиностроение» СГАУ.

4. ТМИ космической платформы МКА «АИСТ»

Малый космический аппарат «АИСТ» включает в свой состав космическую платформу и комплект научной аппаратуры.

Космическая платформа содержит:

- командно-управляющую навигационную систему (КУНС), имеющую в своём составе аккумуляторную батарею (АБ);
- батарею фотоэлектрическую;
- систему обеспечения теплового режима;

- конструкцию и бортовую кабельную сеть.

В состав научной аппаратуры входят:

- научная аппаратура «МАГКОМ» – для компенсации микроускорений на борту МКА;

- научная аппаратура «МЕТЕОР» – для регистрации космических частиц естественного и искусственного происхождения.

КУНС имеет следующий состав технических средств:

- микропроцессорный контроллер обработки информации управления и контроля;

- таймер-календарь бортового времени;

- аналого-цифровой преобразователь;

- средства телеметрического контроля;

- микропроцессорные контроллеры обработки сигналов радиоканалов (2 шт.);

- микропроцессорные контроллеры формирования сигналов модуляции радиоканалов (2 шт.);

- навигационный приёмник;

- радиоприёмные устройства связи диапазона 145 МГц;

- радиопередающие устройства связи диапазона 435 МГц;

- антенно-фидерные устройства диапазонов 145 и 435 МГц;

- средства электроснабжения и автоматики МКА, в том числе АБ;

- средства управления СОТР МКА, в том числе термодатчики;

- средства управления и контроля пиросредствами и подвижными элементами конструкции;

- антенный блок НАП.

КУНС может функционировать в следующих режимах:

- автономного функционирования;

- дежурный;

- сеансный;

- работы НАП;

- аварийной работы.

Одновременно КУНС может работать только в одном режиме.

Телеметрические измерения осуществляются внутрисистемными средствами КУНС (напряжения, токи в элементах системы электропитания) а также с использованием комплекта датчиковой аппаратуры в СОТР.

Рассмотрим последовательно данные ТМИ бортовых систем и научной аппаратуры МКА.

Работа командно-управляющей навигационной системы. Состав технических средств КУНС свидетельствует о её многофункциональности и важности как центрального звена космической платформы. Полученные в ходе сеансов связи квитанции показывают, что применённая на МКА «АИСТ» КУНС является достаточно надёжной системой его жизнеобеспечения. Так, штатная устойчивая работа системы ЛО МКА «АИСТ» продолжалась 14 месяцев с момента отделения аппарата от базового КА до 27 июня 2014 г., когда после прохождения над ядром Бразильской магнитной аномалии МКА, выполнивший программу лётных испытаний, перестал воспринимать команды включения научной аппаратуры, и телеметрия в настоящее время отражает работоспособность только собственных компонентов КУНС. Система связи функционирует штатно. КУНС ОО МКА «АИСТ» в течение 17 месяцев функционирует без замечаний, его эксплуатация успешно продолжается. Ведётся накопление информации аппаратуры НАП, сравнение её данных с данными системы NARAD. За время пребывания ЛО МКА «АИСТ» на орбите её высота снизилась на 30 км.

Работа системы электропитания (СЭП). СЭП включает в свой состав никель-металлгидридную аккумуляторную батарею (АБ), батарею фотоэлектрическую (арсенид галлия) и систему распределения электропитания КУНС. Телеметрические измерения (рис.1) показывают, что система отслеживает движение МКА по орбите в части его нахождения в освещё-

щённой и теневой зонах, устойчиво поддерживается номинальное напряжение в сети, отсутствует заметное падение напряжения при подключении аппаратуры НАП и научной аппаратуры (НА). Анализ телеметрии СЭП за период работы на орбите обоих МКА привёл к выводу, что после годичной эксплуатации СЭП включение НА на период до 6 часов непрерывной работы приводит к падению напряжения в сети до минимально допустимого уровня (11В). Для полного восстановления заряда аккумулятора необходимо не менее суток (при сохранении работоспособности всех систем КУНС в штатном режиме).

Опыт эксплуатации МКА «АИСТ» привёл к ряду существенных изменений в построении СЭП МКА «АИСТ-2Д», а именно:

- применение литий-ионных аккумуляторов;
- применение схемы зарядки аккумуляторов, обеспечивающей её прекращение при достижении заданного максимума ёмкости;
- применение системы БАКУР, обеспечивающей оптимальное распределение питания между потребителями с учётом возможности оперативной перестройки порядка и времени их включения.

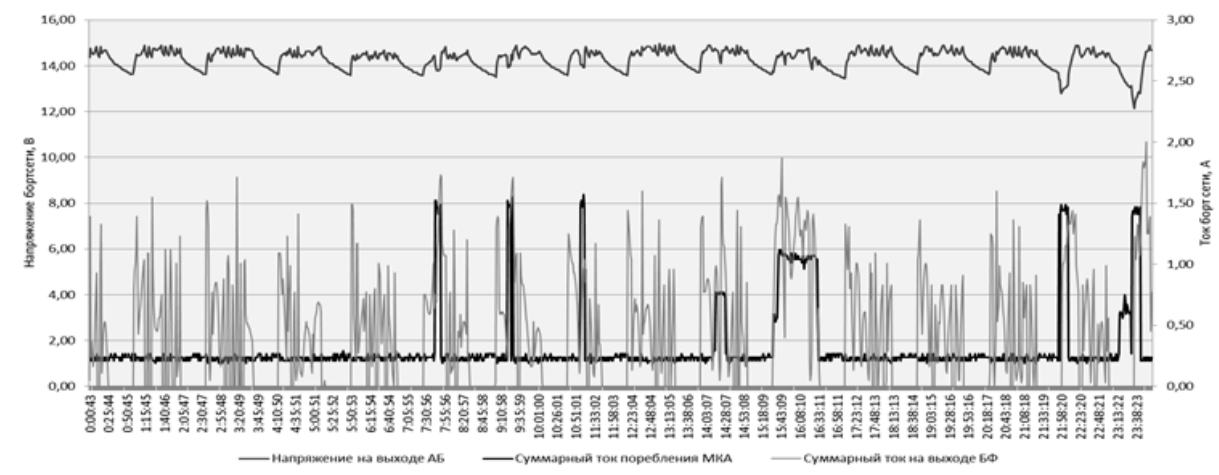


Рис. 1. ТМИ системы электропитания МКА, 05.05.2015 г.

Работа системы обеспечения теплового режима (СОТР). На МКА типа «АИСТ» применена пассивная система обеспечения теплового режима, базирующаяся на использовании тепловых труб, размещённых в сотовых панелях на гранях аппарата, термоплат для установки БА, плёночных нагревателей (ПЭН). Сброс тепла ведётся через грани корпуса МКА, управление тепловым балансом осуществляет КУНС в автоматическом режиме. Температурные датчики – как управляющие, так и измерительные (48 шт.) – размещены как на термоплатах установки БА, так и на сотовых панелях в непосредственной близости к элементам БФ. Образец размещения датчиков на одной из панелей МКА представлен на рис. 2.

Образец обработанной телеметрической информации о работе СОТР пред-

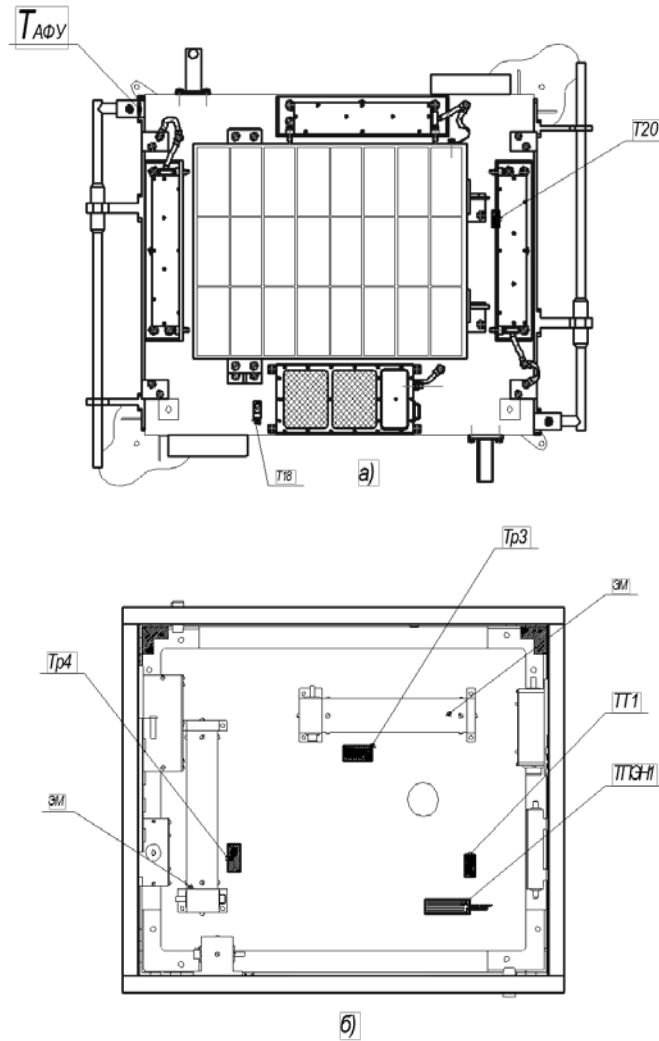
ставлен на рис.3. В течение всего периода эксплуатации аппаратов велась обработка данных СОТР и строились графики среднесуточных температурных показаний БФ на гранях МКА, а также АБ, БЦКТ, НАП, КПТ, НА (рис.4).

Анализ проведённых ТМИ привёл к следующим предварительным, поскольку полёт МКА продолжается, выводам:

- бортовая аппаратура обоих МКА в периоды полёта без теневых участков работает при повышенных (>60°С) температурах, что является признаком недостаточности отвода тепла (плёночные нагреватели не включались в течение всего полёта МКА);
- разброс температур на гранях зависит от вектора вращения и скорости закрутки МКА;

- по мере эксплуатации МКА температура его поверхности на солнечных участках повышается, что свидетельствует о снижении эффективности отвода теп-

ла за счет снижения отражающей способности участков конструкции, предназначенных для этой цели.



а) вид снаружи МКА
б) вид изнутри МКА

Рис. 2. Схема расположения температурных датчиков на панели «+X»

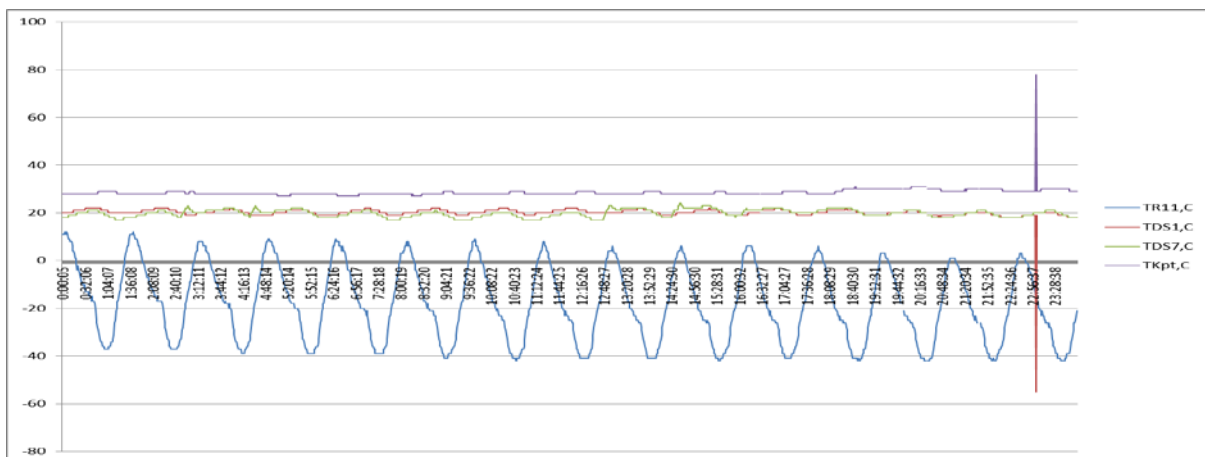


Рис. 3. ТМИ температур АБ, БРК, Крт МКА, 26.09.2014 г.

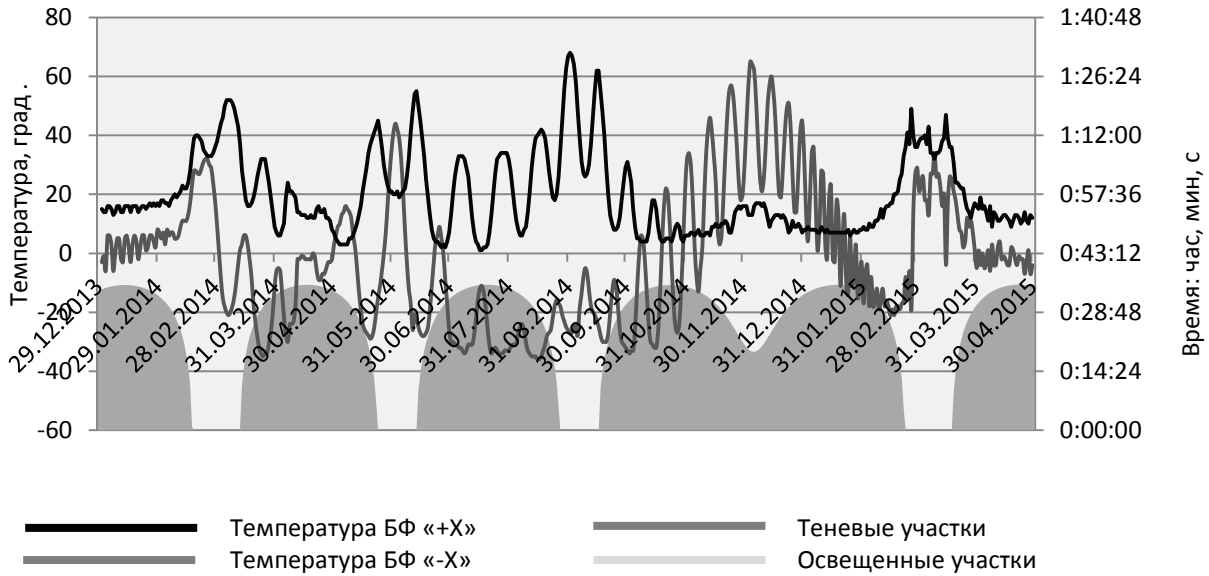


Рис. 4. График среднесуточных температурных показаний БФ ОО МКА «АИСТ» за период 29.12.2013-01.05.2015 гг.

Работа научной аппаратуры. В состав научной аппаратуры «МАГКОМ» входит блок электроники (БЭ), два трёхкомпонентных магнитометра (ДМ №1, ДМ №2), блок управления электромагнитами (БУЭМ), три ортогонально расположенных электромагнита (ЭМ-Х, ЭМ-У, ЭМ-З).

НА функционирует в следующих режимах: 1 – информационный обмен; 2 – измерения вектора магнитного поля; 3 – компенсация микроускорений аппаратурой «МАГКОМ» (РКМ); 4 – работа аппаратуры «МЕТЕОР» (МР); 5 – совместная работа НА (РКМ+МР); 6 – резервный режим (загрузка режима доступна с Земли в полёте МКА).

Измерения индукции магнитного поля Земли с интервалом 6 с проводятся посредством двух трёхкомпонентных магнитометров. На рис. 5 в качестве иллюстрации работоспособности МКА в части изучения магнитного поля Земли приведены данные измерений, произведённых магнитометрами 16.05.2013 г. с 20 ч 25 мин. 9 с до 23 ч 59 мин. 34 с. Всего каждым магнитометром проведено 2100 измерений.

Температурные датчики в магнитометрах необходимы для определения их рабочей температуры с целью обеспече-

ния, в случаях превышения заданного уровня температуры, возможности отключения магнитометров и перевода их в режим ожидания. Зависимость угловой скорости МКА от времени в режиме компенсации микроускорений представлена на рис. 6. На рис. 7 показан график изменения модуля вектора магнитного поля в режиме компенсации микроускорений. Реконструкция неуправляемого вращательного движения малого спутника «АИСТ» рассмотрена в [3].

Регистрация процесса электризации МКА с помощью НА «МЕТЕОР» представлена на рис. 8.

Постоянному контролю подвергается температура БА, солнечных батарей, антенно-фидерных устройств и датчиков научной аппаратуры. Для дальнейшего сравнения с данными наземных тепловакуумных испытаний накапливается информация о тепловом балансе обоих аппаратов с учётом существенной разницы в параметрах их орбит.

По реальным данным измерений магнитного поля Земли ведётся отладка алгоритмов магнитной системы ориентации МКА, постоянно анализируются показания НА «МЕТЕОР». Зарегистрировано около 20 соударений высокоскоростных микрочастиц с МКА «АИСТ».

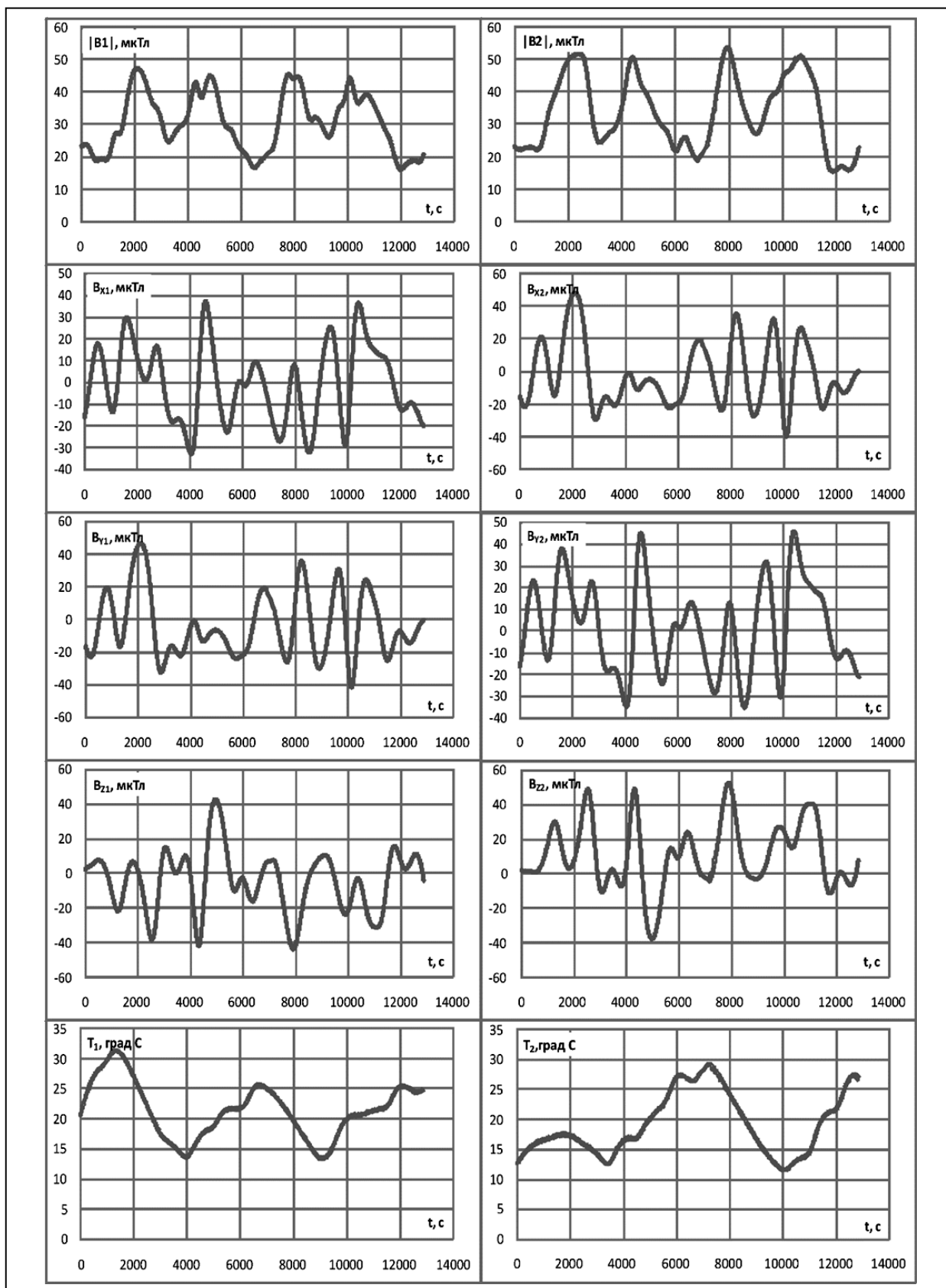


Рис. 5. Данные измерения магнитного поля и температуры

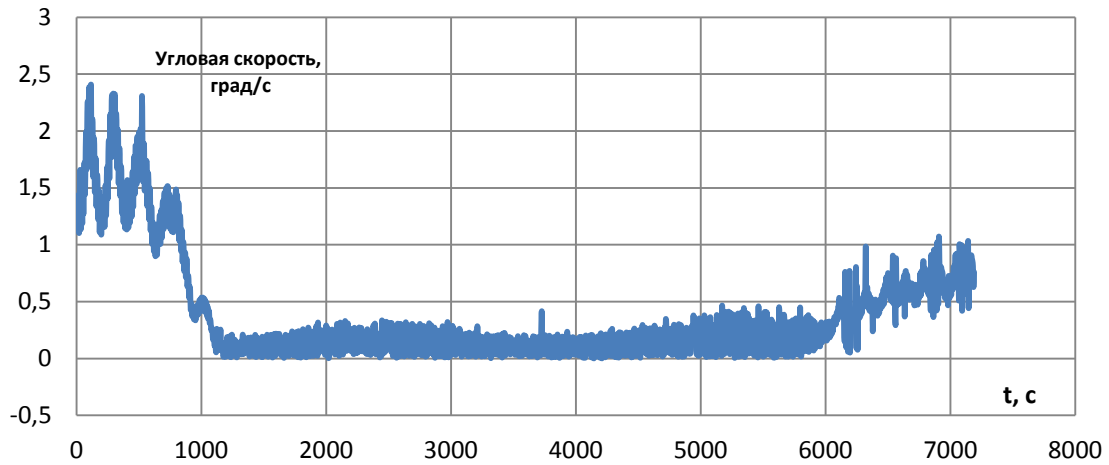


Рис. 6. Зависимость угловой скорости МКА от времени в режиме компенсации микроускорений

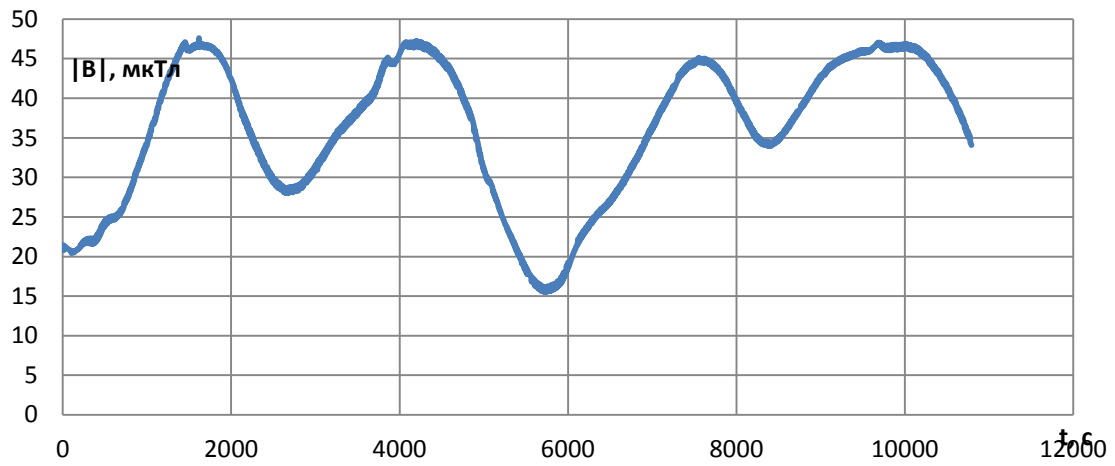


Рис. 7. Модуль вектора магнитного поля в режиме компенсации микроускорений

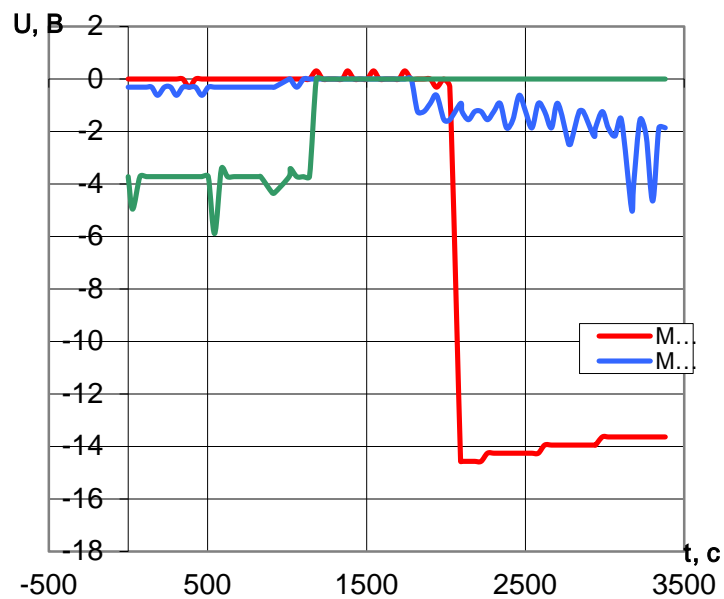


Рис. 8. Регистрация процесса электризации МКА «АИСТ»

Заключение

Разработка, вывод на орбиту и эксплуатация двух МКА способствовали созданию ряда технологий в области проектирования, изготовления и испытаний маломассогабаритных космических аппаратов. Успешно прошла лётные испытания космическая платформа массой до 50 кг, обеспечивающая работу на орбите высотой до 650 км комплекса научно-технологической аппаратуры, предназначенной для изучения космического пространства, а также испытаний новых технологических процессов. Создан наземный комплекс управления, позволяющий эксплуатировать МКА, а также решать задачи подготовки высококвалифицированных специалистов.

Проведённые на орбите эксперименты показывают, что аппаратура «МАГКОМ» позволяет уменьшить угловые скорости МКА массой в 38 кг с 2,5 до 0,2 град/с менее чем за 20 минут, и такой уровень угловой скорости можно поддерживать в течение всего срока его активного существования. Научная аппаратура «МЕТЕОР» способна регистрировать микрометеороиды в околоземном космическом пространстве с регистрацией направления их движения и обеспечивает возможность адаптивной обработки сигналов с многофункциональных датчиков.

Оба МКА обеспечивают накопление телеметрической и научной информации.

В планах научно-образовательного комплекса МКА СГАУ предусмотрена разработка на базе космической платформы типа «АИСТ» малых космических аппаратов для:

- отработки алгоритмов управления МКА, оснащённого двигательной установкой малой тяги на базе электрореактивных двигателей типа СПД-60;
- отработки в натурных условиях космического пространства и сертификации электрорадиоизделий по программе импортозамещения;
- отработки новых наноматериалов для радио-теплоотражающих и поглощающих покрытий;
- отработки элементов тросовых технологий;
- отработки узлов, агрегатов, алгоритмов систем управления движением.

В реализации проекта с 2006 года приняли участие более 100 студентов. В разные годы по теме создания научно-образовательных МКА было защищено более 50 дипломных проектов, подготовлено более 20 выпускных работ бакалавров, защищено 9 магистерских и 5 кандидатских диссертаций.

Библиографический список

1. Kirilin A., Shakhmatov E., Soifer V., Akhmetov R., Tkachenko S., Prokofev A., Salmin V., Stratilatov N., Semkin N., Abrashkin V., Tkachenko I., Safronov S., Zheleznov Y. Small Satellites «AIST» Constellation - Design, Construction and Program of Scientific and Technological Experiments // *Procedia Engineering*. 2015. V. 104. P. 43-49.
doi: 10.1016/j.proeng.2015.04.095

2. Ткаченко С.И., Салмин В.В., Семкин Н.Д., Куренков В.И., Абрашкин В.И., Прохоров А.Г., Ткаченко И.С., Петрухина К.В. Проектный облик и основные характеристики малого космического ап-

парата СГАУ – ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*. 2010. № 2(22). С. 154-165.

3. Абрашкин В.И., Воронов К.Е., Пияков А.В., Пузин Ю.Я., Сазонов В.В., Семкин Н.Д., Филиппов А.С., Чебуков С.Ю. Реконструкция неуправляемого вращательного движения малого спутника «АИСТ» // Тезисы докладов третьей международной конференции «Научные и технологические эксперименты на автоматических космических аппаратах и малых спутниках». Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. С. 177-180.

Информация об авторах

Кирилин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, генеральный директор АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара. E-mail: mail@samspace.ru. Область научных интересов: проектирование, производство, экспериментальная отработка, эксплуатация ракетно-космических комплексов.

Ткаченко Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры космического машиностроения, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: sitkach@mail.ru. Область научных интересов: проектирование, производство, экспериментальная отработка, эксплуатация малых космических аппаратов.

Салмин Вадим Викторович, доктор технических наук, профессор, директор института космического машиностроения, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: sputnik@ssau.ru. Область научных интересов: проектирование малых космических аппаратов, динамика полёта с малой тягой, оптимизация сложных технических систем.

Сёмкин Николай Данилович, доктор технических наук, профессор, директор института космического приборостроения, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ikp@ssau.ru. Область научных интересов: проектирование и создание научной аппаратуры для малых космических аппаратов.

Папков Александр Павлович, кандидат технических наук, главный конструктор ООО «НИЛАКТ ДОСААФ», г. Калуга. Область научных интересов: проектирование и создание бортовой командно-управляющей радиоаппаратуры для малых космических аппаратов и наземных комплексов управления.

Абрашкин Валерий Иванович, кандидат технических наук, начальник отдела АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара. E-mail: mail@samspace.ru. Область научных интересов: проектирование космических аппаратов научного назначения.

Ткаченко Иван Сергеевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры космического машиностроения, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: innovatore@mail.ru. Область научных интересов: проектирование малых космических аппаратов, системный анализ и управление.

Железнов Юрий Евгеньевич, кандидат технических наук, начальник центра приёма и обработки информации «Самара» АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара. E-mail: mail@tspoi.com. Область научных интересов: управление космическими аппаратами; приём, сбор, обработка и хранение информации дистанционного зондирования Земли.

Галаева Екатерина Юрьевна, инженер-конструктор, АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара. E-mail: mail@samspace.ru. Область научных интересов: приём, сбор, обработка и хранение телеметрической информации с космических аппаратов.

FLIGHT DEVELOPMENT TESTS AND ATTEMPTED OPERATION OF «AIST» SMALL SATELLITES

© 2015 A. N. Kirilin¹, S. I. Tkachenko², V. V. Salmin², N. D. Semkin², A. P. Papkov³, V. I. Abrashkin¹, I. S. Tkachenko², Yu. E. Zheleznov¹, E. Yu. Galaeva¹

¹Space Rocket Center «Progress», Samara, Russian Federation

²Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

³Joint Stock Company «NILAKT DOSAAF», Kaluga, Russian Federation

Small satellites «AIST» is a joint project of Samara State Aerospace University and Space Rocket Centre «Progress» (till 01.07.2014 – State research and production space-rocket center «TsSKB-Progress») with the support of the Government of the Samara region. The paper presents the results of flight development tests and operation of small satellites designed for scientific and educational purposes. Telemetric information on the operability of the small satellites' support systems and the data of the scientific equipment obtained from the orbit is analyzed. Possibilities of further use of «AIST» small satellites for scientific and educational purposes are considered.

Small satellites, flight development tests, scientific equipment, orbit, ground control facilities, telemetric information.

References

- 1 Kirilin A., Shakhmatov E., Soifer V., Akhmetov R., Tkachenko S., Prokofev A., Salmin V., Stratilatov N., Semkin N., Abrashkin V., Tkachenko I., Safronov S., Zheleznov Y. Small Satellites «AIST» Constellation - Design, Construction and Program of Scientific and Technological Experiments. *Procedia Engineering*. 2015. V. 104. P. 43–49. doi: 10.1016/j.proeng.2015.04.095
- 2 Tkachenko S.I., Salmin V.V., Semkin N.D., Kurenkov V.I., Abrashkin V.I., Prokhorov A.G., Tkachenko I.S., Petrukhina K.V. The design shape and basic performances of small satellite of SSAU and SRP SRC «TSSKB-Progress». *Vestnik of Samara State Aerospace University*. 2010. No. 2 (22). P. 154-165. (In Russ.)
- 3 Abrashkin V.I., Voronov K.E., Piyakov A.V., Puzin Yu.Ya., Sazonov V.V., Semkin N.D., Filippov A.S., Chebukov S.Yu. Reconstruction of an uncontrollable rotary motion of the small satellite «AIST». *Abstracts of the Third International Conference «Scientific and Technological Experiments on Automated Space Vehicles and Small Satellites»*. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2014. P. 177-180.

About the authors

Kirilin Alexander Nikolaevich, Doctor of Science (Engineering), Professor, General Director of JSC «Space-Rocket Centre «Progress», Samara, Russian Federation. E-mail: mail@samspace.ru. Area of Research: design, production, experimental development, operation of space-rocket complexes.

Tkachenko Sergey Ivanovich, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Space Engineering, Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation. E-mail: sitkach@mail.ru. Area of Research: design,

production, experimental development, operation of small spacecraft.

Salmin Vadim Viktorovich, Doctor of Science (Engineering), Professor, Director of Institute of Space Engineering, Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation. E-mail: sputnik@ssau.ru. Area of Research: design of small spacecraft, low-thrust flight dynamics, optimization of complex technical systems.

Semkin Nikolay Danilovich, Doctor of Science (Engineering), Professor, Director of Institute of Space Device Engineering,

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation. E-mail: ikp@ssau.ru. Area of Research: design and production of scientific equipment for small spacecraft.

Papkov Alexander Pavlovich, Candidate of Science (Engineering), Chief Designer of JSC «NILAKT DOSAAF», Moscow, Russian Federation. Area of Research: design and production of onboard command and control radio equipment for small spacecraft and ground control complexes.

Abrashkin Valery Ivanovich, Candidate of Science (Engineering), Head of Department, JSC «Space-Rocket Centre «Progress», Samara, Russian Federation E-mail: mail@samspace.ru. Area of Research: design of spacecraft for scientific purposes.

Tkachenko Ivan Sergeyeovich, Candidate of Science (Engineering), assistant of the Department of Space Engineering, Sama-

ra State Aerospace University, Samara, Russian Federation. E-mail: innovatore@mail.ru. Area of Research: design of small spacecraft, system analysis and control.

Zheleznov Yury Evgenyevich, Candidate of Science (Engineering), Head of the Data Receiving and Processing Center «Samara», JSC «Space-Rocket Center «Progress», Samara, Russian Federation. E-mail: mail@tspoi.com. Area of Research: spacecraft control, reception, acquisition, processing and storage of information of Earth remote sensing.

Galayeva Ekaterina Yurievna, design engineer, JSC «Space-Rocket Center «Progress», Samara, Russian Federation. E-mail: mail@samspace.ru. Area of Research: reception, acquisition, processing and storage of telemetric information from spacecraft.