

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КОМПЛЕКСА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ
ДЛЯ ПРОЕКТА «ФОБОС-ГРУНТ»

Т.Ю. Дроздова, И.Ю. Катасонов, М.И. Куделин

Институт космических исследований
Российской академии наук, Москва

Приведены описание и технические характеристики системы информационного обеспечения комплекса научной аппаратуры (СИОК) для задач проекта «Фобос-Грунт», представлены объем и результаты испытаний штатных образцов СИОК.

There are given a description and technical characteristics of the System for scientific payload information support (SIOK) for the Phobos-Grunt mission. Volume and results of the SIOK flight models testing are presented.

При осуществлении проектов по исследованию космического пространства на борт космического аппарата (КА) устанавливаются научные приборы, выполняющие различные эксперименты. Эти приборы, как правило, отличаются друг от друга не только своим функциональным назначением, но и информационными, управляющими и телеметрическими интерфейсами. Часто используются приборы, ранее разработанные для других проектов, доработка электрических интерфейсов которых под новый проект по разным причинам нецелесообразна.

Интегрирование таких разнообразных по своим интерфейсным характеристикам научных приборов в единый комплекс — типичная задача при реализации многих научных космических миссий. Объединение осуществляется с помощью одного или нескольких специальных приборов, играющих роль интеллектуального интерфейса между командно-управляющими, информационными, телеметрическими системами космического аппарата и несколькими научными приборами.

Такой подход позволяет упростить отработку аппаратных ресурсов КА и сократить сроки её выполнения, ведя параллельно работы на двух функционально независимых комплексах: служебных системах и научных приборах.

Необходимость объединения различных научных приборов в единый комплекс неоднократно возникала перед разработчиками бортовых систем планетных космических миссий, таких как «Вега», «Фобос», «Марс-96».

В проекте «Вега» эта задача решалась с помощью двух приборов: БУНА и БЛИСИ.

Блок управления научной аппаратурой — БУНА — осуществлял прием из радиоконспекса управляющих кодовых посылок, их дешифрирование и формирование соответствующих управляющих воздействий на 12 научных приборов. Кроме этого, БУНА коммутировал электропитание научных приборов. Для обеспечения высокой надёжности блок имел в своём составе два полуконспекта, один из которых находился в выключенном состоянии.

Блок логики и сбора информации — БЛИСИ — осуществлял приём информации от 12 научных приборов по практически однотипным последовательным синхронным интерфейсам, формирование выходного массива данных и передачу его в радиоканал для трансляции на Землю. Для обеспечения высокой надёжности прибор состоял из трех идентичных полностью независимых комплектов, из которых по специальной команде выбирался один рабочий, а остальные выключались.

Оба этих прибора были построены по принципу цифровых автоматов и не имели ни энергонезависимой памяти, ни процессора.

В проекте «Марс-96» управление и обмен данными с трёхосной стабилизированной платформой, навигационной камерой и камерой наблюдения высокого разрешения возлагались на мультипроцессорную вычислительную систему (МВС). Система МВС состояла из четырёх гальванически развязанных полностью независимых комплектов, конструктивно объединённых в моноблок. Функциональная задача решалась двумя взаимодействовавшими между собой комплектами: процессором наведения и процессором стабилизации. Для обеспечения надёжности дополнительно включался ещё один комплект — «горячий резерв», а четвёртый комплект — «холодный резерв» — находился в выключенном состоянии.

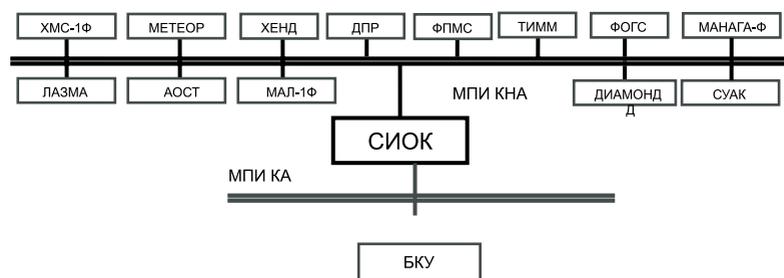


Рис. 1. Система информационного обеспечения комплекса научной аппаратуры (СИОК) в проекте «Фобос-Грунт»: ХМС-1Ф — хроматограф; ЛАЗМА — лазерный времяпролетный масс-рефлектор; МЕТЕОР — детектор космической пыли; АОСТ — фурье-спектрометр; ХЕНД — нейтронный спектрометр; МАЛ-1Ф — масс-спектрометр; ДПР — длинноволновый планетный радар; ФПМС — плазменный комплекс; ТИММ — ИК-спектрометр; ФОГС — гамма-спектрометр; ДИАМОНД — детектор пылевых частиц; МАНАГА-Ф — масс-спектрометр вторичных ионов; СУАК — система управления

В рамках миссии «Фобос-Грунт» задача объединения научных приборов решается с помощью Системы информационного обеспечения комплекса научной аппаратуры (СИОК, далее — прибор) (рис. 1). СИОК представляет собой дублированный компьютер с расширенной энергонезависимой памятью и двумя резервированными информационно-управляющими интерфейсами в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553B).

Прибор СИОК принимает и хранит цифровые команды и код бортового времени из бортового комплекса управления космического аппарата (БКУ КА) по информационной магистрали связи СИОК и БКУ КА (магистральный последовательный интерфейс космического аппарата — МПИ КА). На этой информационной магистрали связи СИОК выполняет функции оконечного устройства (ОУ), а БКУ КА — контроллера шины (КШ). СИОК передает цифровые команды управления научными приборами и код бортового времени по внутренней информационной магистрали связи СИОК и научных приборов (магистральный последовательный интерфейс комплекса научной аппаратуры — МПИ КНА). На

информационной магистрали связи с научными приборами СИОК выполняет функции контроллера шины, а научные приборы — оконечных устройств.

Прибор СИОК также выполняет функции сбора и хранения в энергонезависимой памяти информации, полученной от приборов научного комплекса КА. Эту информацию СИОК хранит до получения запроса из БКУ. Затем БКУ передает ее в радиокomплекс для трансляции на Землю.

Прибор СИОК рассчитан на работу в условиях открытого космического пространства и устанавливается вне гермоотсека под общей ЭВТИ. На рис. 2 приведен внешний вид штатного образца прибора СИОК.

В табл. 1 приведены основные параметры описанных выше приборов разных поколений.

После подачи электропитания или по специальным командам СИОК проводит контроль работоспособности своих аппаратных ресурсов. Управление приборами комплекса научной аппаратуры (КНА) СИОК осуществляет по внутренней информационной магистрали связи СИОК и научных приборов в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553B). По этой же магистрали СИОК принимает от научных приборов массивы научной и служебной информации в соответствии с циклограммой работы комплекса.

Передачу в БКУ массивов научной и служебной информации от приборов КНА СИОК осуществляет по внешней



Рис. 2. Система информационного обеспечения комплекса научной аппаратуры (СИОК), штатный образец

Таблица 1. Основные параметры приборов разных поколений

№ п/п	Параметр	Проект		
		«Вега» 1980–1986, БУНА и БЛИСИ	«Марс-96» 1990–1996, МВС	«Фобос-Грунт» 2006–2009, СИОК
1	Суммарное количество блоков	2	1	1
2	Масса, кг	12,6 + 9,0	10,5	1,7
3	Габариты, мм	300×250×225, 200×296×220	170×250×263	182×170×68
4	Энергопотребление, Вт	8 + 13	12	3,5
5	Наличие процессора	Нет	16-разрядный с «фиксированной точкой»	32-разрядный с «плавающей точкой»
6	Объем энергонезависимой памяти данных, Мбайт	Нет	Нет	2x16
7	Ресурс работы, ч	1000	29 900	20 000
8	Срок службы, лет	5	7	6
9	ВБР	0,999	0,99	0,99

информационной магистрали связи СИОК и БКУ КА. По этой же магистрали прибор принимает от БКУ команды, адресованные научным приборам, осуществляет хранение этих команд и трансляцию абонентам. СИОК выполняет адресованные ему команды, а также формирует массивы телеметрической информации и передает их в БКУ.

Функциональная схема СИОК представлена на рис. 3.

Конструктивно прибор представляет собой моноблок, объединяющий три функциональных модуля:

- основной модуль процессора (ОМП);
- резервный модуль процессора (РМП)
- модуль резервированного вторичного источника питания (МВИП).

Модули процессора (ОМП и РМП) представляют собой шестислойные печатные платы с размещенными на них электрорадиоизделиями (ЭРИ), закрепленные в рамках.

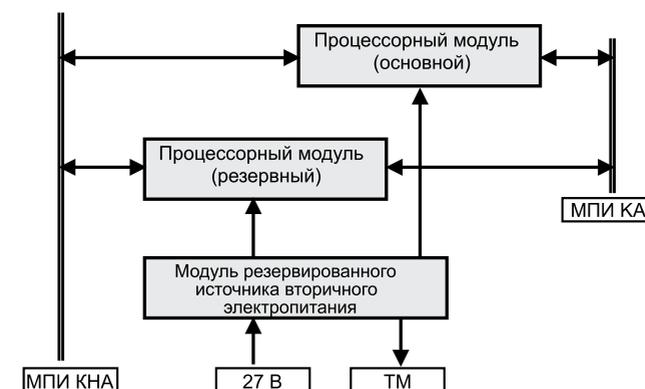


Рис. 3. Функциональная схема СИОК

Модули процессора соединены с модулем МВИП посредством кроссплаты.

Модуль резервированного вторичного источника питания (МВИП) представляет собой печатную плату с размещенными на ней электронными компонентами, установленную в рамку-основание прибора.

Каждый модуль процессора (основной и резервный) выполняет следующие функции:

- обмен по информационной магистрали связи с БКУ в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553);
- обмен по информационной магистрали связи с научными приборами в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553);
- трансляцию команд и кода бортового времени из БКУ к научным приборам;
- запись и хранение информации в энергонезависимой памяти, а также ее передачу в БКУ;
- начальное тестирование ресурсов процессорного модуля;
- обеспечение перепрограммирования энергонезависимой памяти программ без разборки прибора через технологический интерфейс JTAG.

Укрупненная структурная схема процессорного модуля СИОК представлена на рис. 4.

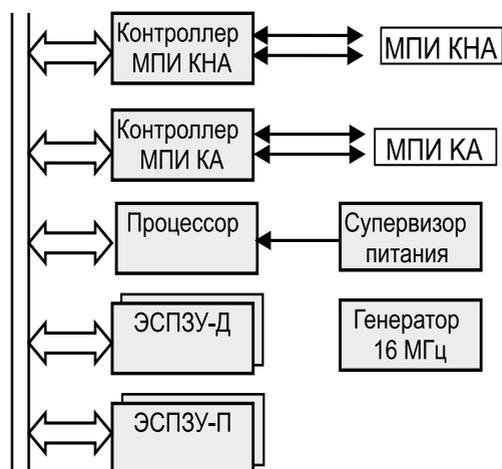


Рис. 4. Укрупненная структурная схема процессорного модуля (основного и резервного) СИОК

В состав модуля процессора входят следующие основные элементы:

- 32-разрядный однокристалльный цифровой сигнальный процессор ADSP-21060 с оперативной памятью объемом 512 кбайт;
- контроллер интерфейса с БКУ КА ВU-61580 в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553), работающий в режиме оконечного устройства;
- контроллер интерфейса с научными приборами ВU-61580 в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553), работающий в режиме контроллера шины;
- два энергонезависимых электрически стираемых постоянных запоминающих устройства для записи программ (ЭСПЗУ-П) AT28C010 объемом 128 кбайт каждое;
- два энергонезависимых электрически стираемых постоянных запоминающих устройства для записи данных (ЭСПЗУ-Д) WF4M32-100G2TC5 объемом 16 Мбайт каждое;
- генератор тактовой частоты 16 МГц;
- супервизор питания IS9-705RH.

Цифровой сигнальный процессор реализует различные режимы и программы работы СИОК и осуществляет форматирование получаемых данных от научных приборов и, в случае необходимости, их сжатие перед передачей в БКУ по МПИ КА для трансляции в радиокomплекс.

Контроллеры интерфейсов дублированного мультиплексного канала МПИ КНА и МПИ КА обеспечивают информационный обмен со служебными системами КА и научными приборами.

Электрически стираемое постоянное запоминающее устройство (ЭСПЗУ-П) предназначено для хранения бортового программного обеспечения СИОК, состоящего из программ форматирования данных от научных приборов, их сжатия, инициализации и начального тестирования ресурсов процессорного модуля СИОК, организации обмена со служебными системами КА и научными приборами по МПИ КНА.

Данные научных приборов хранятся в ЭСПЗУ-Д с момента их получения до сеанса связи с Землей.

Генератор формирует тактовую частоту 16 МГц для работы модуля процессора.

Супервизор питания формирует первоначальный импульс «Сброс» при подаче электропитания на процессорный модуль для начальной инициализации работы системы и выполняет функции сторожевого таймера по формированию импульса «Сброс» в случае возможного «зависания» процессора.

Модуль резервированного вторичного источника питания (МВИП) служит для преобразования бортового напряжения $(28,5 \pm 1,35)$ В во вторичное напряжение электропитания $+5$ и -15 В, необходимое для работы блоков прибора.

Функционально МВИП состоит из следующих узлов:

- узел фильтра;
- узлы преобразователей (основной и резервный);
- узел плавного запуска;
- узел телеметрии.

На выходной разъем узла телеметрии выведены сигналы, передающие информацию о температуре МВИП, наличии напряжения бортовой сети и правильности стыковки разъемов.

Основная форма контроля качества вновь выпущенного прибора — испытания, представляющие собой экспериментальное определение количественных и качественных показателей свойств изделия электронной техники. Такие испытания помогают оценить правильность конструкторских и схемотехнических решений прибора.

Первый изготовленный по учётной документации прибор подвергается предварительным испытаниям (ПРИ): конструкторско-доводочным, ресурсным и граничным.

Конструкторско-доводочные испытания (КДИ) приборов проводят в целях проверки их соответствия требованиям технического задания (ТЗ), технических условий (ТУ), нормативной, конструкторской (КД) и эксплуатационной (ЭД) документации, обнаружения отклонений от выбранной конструкции или принятой технологии, выявления скрытых дефектов материалов или элементов конструкции в условиях, максимально приближенных к условиям его реальной эксплуатации. По результатам испытаний КДИ в случае необходимости проводится коррекция конструкторской документации.

Ресурсные испытания (РИ) проводят для подтверждения назначенного ресурса прибора, а граничные (ГИ) — для выявления конструктивных запасов функциональных характеристик.

Образец, прошедший полный комплекс предварительных испытаний, к дальнейшей эксплуатации не допускается.

Каждый поставочный образец прибора проходит приемосдаточные испытания (ПСИ) с целью определения соответствия продукции ТЗ, ТУ и эксплуатационной документации перед отправкой заказчику.

Испытания проводятся по соответствующим программам и методикам испытаний, разработанным на основе требований ТЗ и конструкторской документации с использованием типовых программ, стандартизованных методик и других нормативных документов.

Для прибора СИОК выпущены ТУ, в которых определены и критерии оценки его работоспособности. В соответствии с этими критериями разработаны тесты ресурсов прибора, позволяющие оценивать его исправность во время испытаний.

Для проведения испытаний в память прибора записывалось тестовое программно-алгоритмическое обеспечение (ПО СИОК). Для симуляции реакции приборов научного комплекса и БКУ использовалась контрольно-испытательная аппаратура КИА СИОК.

Программное обеспечение СИОК позволяет выполнять следующие тесты аппаратных ресурсов:

1. *Начальное тестирование ресурсов процессорного модуля* выполняется после подачи электропитания на прибор. В процессе теста проверяется:

- целостность программного обеспечения (значение контрольной суммы ПО), записанного в ЭСПЗУ-П;
- исправность оперативных запоминающих устройств (ОЗУ);
- исправность цифрового сигнального процессора;
- исправность контроллера интерфейса МПИ КА;
- исправность контроллера интерфейса МПИ КНА.

Результат теста (одно шестнадцатиразрядное слово) записывается в ОЗУ контроллера интерфейса МПИ КА и содержит результаты проверок целостности ПО (сравнение значения контрольной суммы ПО с заданным), ОЗУ процессора, а также номер банка ЭСПЗУ-П, использованного при загрузке, и информацию о «холодном»/«горячем» старте.

2. *Проверка контроллера интерфейса МПИ КА в режиме оконечного устройства (ОУ).*

Обобщённый тест функционирования интерфейса прибора в режиме ОУ позволяет проверить правильное функционирование ОУ при информационных обменах, реализованных в форматах передачи данных «1» и «2» по ГОСТ Р 52070-2003. При выполнении этой проверки с контроллера шины КИА СИОК производится запись в память ОУ 32 шестнадцатиразрядных слов, их чтение с последующим сравнением массивов переданных и принятых данных, а также контроль статусной информации, формируемой контроллером шины КИА СИОК на аппаратном уровне.

3. *Проверка контроллера интерфейса МПИ КНА в режиме КШ.*

Обобщённый тест функционирования интерфейса прибора в режиме контроллера шины (КШ) позволяет проверить

правильное функционирование КШ при информационных обменах, реализованных в форматах передачи данных «1» и «2» по ГОСТ Р 52070-2003. При выполнении этой проверки с КШ КИА СИОК производится инициализация выполнения теста с последующим контролем результатов информационного обмена и контроль статусной информации, формируемой КШ СИОК на аппаратном уровне.

4. *Проверка сторожевого таймера и переключения банков памяти.* Тест позволяет оценить работоспособность сторожевого таймера, а также контроль загрузки процессора из разных банков программ. Командой по шине БКУ производится останов формирования сигнала «Сброс» сторожевого таймера, вследствие чего примерно через 2 с происходит перезагрузка процессора из другого банка памяти. Результат контролируется анализом битов слова внутреннего теста.

5. Проверка ЭСПЗУ научных данных (ЭСПЗУ-Д).

Проверяется работоспособность ЭСПЗУ в режимах записи, хранения и стирания данных. По командам, передаваемым по шине МПИ КА, выполняется инициализация тестов записи тестовых данных, чтения и сравнения с исходными данными, стирания и проверки стирания.

Тестирование аппаратных ресурсов СИОК и контроль результатов проводились непрерывно во время испытаний всех образцов прибора. В рамках ПСИ и других видов испытаний СИОК подвергался воздействиям — климатическим и механическим, пониженного атмосферного давления, электромагнитного излучения и помех по цепям питания; проводились измерения электромагнитного излучения самого прибора.

В табл. 2 представлены виды испытаний и характеристики воздействий, которым были подвергнуты приборы.

Приемо-сдаточным испытаниям подвергаются образец для ПРИ, а также поставочные образцы, изготовленные по учётной документации с литерой «О» и прошедшие технологический прогон; КДИ, РИ и ГИ — образец для ПРИ.

К настоящему времени полностью завершены конструкторско-доводочные, ресурсные и граничные испытания прибора СИОК, а также изготовлены два поставочных образца.

Начало летных испытаний прибора СИОК в рамках проекта «Фобос-Грунт» запланированы на октябрь 2009 г.

Таблица 2. Виды испытаний и характеристики воздействий

Виды воздействий	ПСИ	КДИ	РИ	ГИ
Климатические:				
• температурные	1. Функционирование (техпрогон) при -10°C (40 ч), $+40^{\circ}\text{C}$ (200 ч) и НКУ (160 ч) 2. Термоциклирование $-10...+40^{\circ}\text{C}$ (3 цикла по 3 ч при каждой температуре) 3. Термоудары -40 и $+50^{\circ}\text{C}$ (3 цикла по 3 ч при каждой температуре)	Термоциклирование $-10...+40^{\circ}\text{C}$ (8 циклов по 3 ч при каждой температуре) До 95 %	Функционирование при -10°C (588 ч), $+40^{\circ}\text{C}$ (589 ч) и в НКУ (1177 ч)	Функционирование при -20°C (3 ч) и $+50^{\circ}\text{C}$ (3 ч)
• влажностные	—	—	—	—
• пониженного давления	10^{-6} мм рт.ст.	—	—	—
Механические:				
• вибрационные	До 6,7g в диапазоне частот от 20 Гц до 2,5 кГц	До 10g в диапазоне частот от 20 Гц до 2,5 кГц	—	До 10g в диапазоне частот от 20 Гц до 2,5 кГц
• ударные	—	7 ударов 40g по каждой оси	—	7 ударов 40g по каждой оси
• линейные	—	10g 10 мин по каждой оси	—	10g 10 мин по каждой оси

Окончание табл. 2

Виды воздействия	ПСИ	КДИ	РИ	ГИ
ЭМС:				
• электрическое поле	Не менее 120 дБ·мкВ/м в диапазоне частот от 1 кГц до 300 МГц	—	—	Уровень воздействия ПСИ увеличен в 1,5 раза для всех видов ЭМС
• магнитное поле	Не менее 100 дБ·мкА/м в диапазоне частот от 1 до 300 кГц	—	—	
• помехи по цепям питания	До 100 дБ·мкА/м в диапазоне частот от 1 кГц до 30 МГц	—	—	

Примечание. Полный объем проводимых испытаний приведен в ТУ на прибор СИОК. НКУ — нормальные климатические условия

Секция 3

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ