

ОСОБЕННОСТИ НАЗЕМНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ИНТЕРФЕЙСОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА КОМПЛЕКСОВ ЦЕЛЕВОЙ И НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ

М. В. Кишко, К. В. Ануфрейчик, А. А. Корчагина,
Д. В. Стрельников, А. В. Семенов

В настоящее время современные комплексы целевой и научной аппаратуры требуют особого внимания во время отработки информационного обмена между приборами комплексов. В статье описаны особенности проведения проверок работы информационного обмена в рамках комплексных испытаний на примере комплекса целевой аппаратуры «Ионосфера», а также приведена статистика и результаты проведения испытаний.

Ключевые слова: информационный обмен, комплексные испытания, комплекс целевой аппаратуры, комплекс научной аппаратуры.

Современные комплексы целевой и научной аппаратуры космических систем и комплексов представляют собой сложную в управлении, высокоинформативную по научным и служебным данным систему. Зачастую такие комплексы представляют собой систему из нескольких целевых (научных) приборов, управление и сбор информации с которых осуществляет один из приборов.

Прежде чем комплекс целевой или научной аппаратуры будет работать в условиях космического пространства, приборы, входящие в состав комплекса, проходят наземную экспериментальную отработку, которая заключается в проведении автономных (отработка и проверка отдельного изделия) и комплексных (отработка и проверка двух и более функционально связанных изделий комплекса) испытаний.

Один из примеров современного комплекса целевой аппаратуры космических систем и комплексов – комплекс целевой аппаратуры (КЦА) «Ионосфера» [1].

КЦА «Ионосфера» предназначен для проведения мониторинга геофизической обстановки («космической погоды») путем измерения основных параметров процессов в атмосфере, ионосфере и магнитосфере. В состав летного первого и второго образцов КЦА «Ионосфера» входит блок бортового комплекса управления и сбора научной информации (БКУСНИ), который осуществляет сбор и дальнейшую передачу информации в бортовой компьютер космического аппарата (КА) со следующих приборов КЦА «Ионосфера»:

- бортовой ионозонд в диапазоне 0,1 – 20 МГц с передатчиком 137 МГц (ЛАЭРТ);
- низкочастотный волновой комплекс (НВК2);
- гамма-спектрометр (СГ/1);
- GPS измеритель полного электронного содержания (ПЭС);
- спектрометр галактических космических лучей (ГАЛС/1);
- спектрометр плазмы и энергичной радиации (СПЭР/1);
- двухчастотный (150/400 МГц) передатчик (МАЯК).

Как и во многих современных комплексах целевой и научной аппаратуры [2], информационный обмен между блоком БКУСНИ и другими приборами КЦА «Ионосфера» осуществляется по высокоскоростным (ВСИ) и низкоскоростным (НСИ) линиям интерфейсов, построенным на основе стандартов RS-422/485 с помощью сообщений [3]. Сообщения от БКУСНИ в приборы КЦА «Ионосфера» называются командными сообщениями (команда), а сообщения от приборов КЦА «Ионосфера» в БКУСНИ – ответными (ответ). Вид интерфейса и скорость информационного обмена с приборами КЦА «Ионосфера» определяются протоколами согласования информационных интерфейсов с блоком БКУСНИ.

Для повышения надежности информационного обмена в ВСИ и НСИ предусмотрено резервирование. Структурная схема информационного обмена между блоком БКУСНИ и приборами КЦА «Ионосфера» представлена на рис. 1 [1].

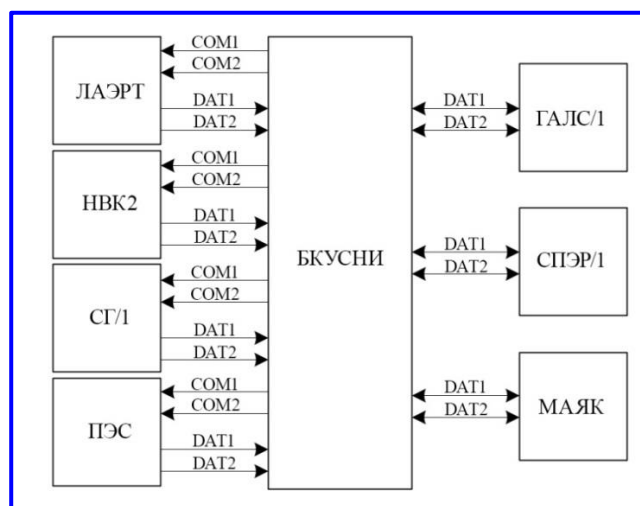


Рис. 1. Структурная схема информационного обмена между блоком бортового комплекса управления и сбора научной информации и приборами комплекса целевой аппаратуры «Ионосфера»

Информационный обмен по линиям ВСИ осуществляется по четырем однонаправленным шинам: основным (COM1 – линия команд, DAT1 – линия данных) и резервным (COM2 и DAT2). По двум командным линиям (COM1 и COM2) от блока БКУСНИ к приборам КЦА «Ионосфера» передаются командные сообщения, по двум линиям данных от приборов к БКУСНИ передаются ответные сообщения.

Информационный обмен по линиям НСИ осуществляется по двум двунаправленным шинам: основной (DAT1) и резервной (DAT2). Блок БКУСНИ выдает в приборы КЦА «Ионосфера» командное сообщение по основной (DAT1) или по резервной (DAT2) шине. Приборы КЦА одновременно отвечают по основной (DAT1) и резервной (DAT2) шине.

По командам от служебных систем КА указывается, по какой шине (основной или резервной) НСИ и ВСИ блок БКУСНИ должен отправлять команды и принимать ответы от каждого из приборов КЦА «Ионосфера».

Для эффективной обработки корректной работы информационного обмена по интерфейсам НСИ и ВСИ между блоком БКУСНИ и приборами КЦА «Ионосфера» в рамках комплексных испытаний используется комплекс контрольной испытательной аппаратуры (ККИА), в состав которой входит система контроля информационных интерфейсов приборов КЦА «Ионосфера» (МИО-2).

МИО-2 используется в качестве монитора шин ВСИ и НСИ, по которым происходит информационный обмен между БКУСНИ и приборами КЦА «Ионосфера», а также выполняет следующие функции:

- оперативный контроль информационного обмена по основным и резервным линиям ВСИ и НСИ между блоком БКУСНИ и всеми приборами КЦА «Ионосфера»;
- оперативный вывод информации на экран оператора о событиях на магистралях, в том числе индикацию ошибок обмена;

– сохранение потока информации на каждой магистрали в ЛОГ-файлы для дальнейшего анализа.

МИО-2 состоит из следующих частей:

- блок интерфейсов (БИ) МИО-2 (рис. 2);
- разветвитель МИО-2 (рис. 3);
- блок управления (БУ) МИО-2 – персональный компьютер для управления БИ МИО-2 с помощью программного обеспечения (ПО).

В разветвителе МИО-2 реализованы приемопередатчики ВСИ и НСИ. Разветвитель МИО-2 соединяется через кабель питания с БИ МИО-2. БИ МИО-2 передает всю информацию по информационному обмену через интерфейс USB в БУ МИО-2. В БУ МИО-2 с помощью специально разработанного ПО отображается ход информационного обмена по ВСИ и НСИ между блоком БКУСНИ и приборами КЦА «Ионосфера». Вид главного окна ПО представлен на рис. 4.



Рис. 2. Блок интерфейсов МИО-2



Рис. 3. Разветвитель МИО-2

Управление монитором информационного обмена

Сбросить флаг ошибок | Обновить счетчик кадров | Обновить счетчик ошибок | Настройки по умолчанию

Обозначение	Интерфейс	Разъем	Скорость [КОМ] (кБит/сек)	Скорость [ДАН] (кБит/сек)	КВБ ОСНОВНАЯ линия	КВБ РЕЗЕРВНАЯ линия	Команды ОСНОВНАЯ линия		Команды РЕЗЕРВНАЯ линия		Данные ОСНОВНАЯ линия		Данные РЕЗЕРВНАЯ линия		УКС		Запись в файл	Анализ / ошибки
							Сообщения	Ошибки	Сообщения	Ошибки	Сообщения	Ошибки	Сообщения	Ошибки	ОСНОВНАЯ линия	РЕЗЕРВНАЯ линия		
ВСИ3	ПЭС	XM12/1	1 000	1 000	Не передается	Не передается	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ВСИ4	СТ/1	XM12/2	1 000	6 000	Не передается	Не передается	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ВСИ5	НБК2	XM13/1	125	6 000	Не передается	Не передается	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ВСИ6	ЛАЗРТ	XM13/2	1 000	1 000	Не передается	Не передается	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
НСИ1	ГАЛС/1	XM11/3	9,6	9,6			0	0	0	0							<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
НСИ2	СПЭР/1	XM12/3	9,6	9,6			0	0	0	0							<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
НСИ3	МАРК	XM13/3	9,6	9,6			0	0	0	0							<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Монитор

Обновить Запись ЛОГ-файла 20230821_160017_monitor.log

Очистить монитор

Монитор УКС

Обновить Запись ЛОГ-файла 20230821_160017_cmds.log

Очистить монитор

Монитор ошибок

Обновить Запись ЛОГ-файла 20230821_160017_errors.log

Очистить монитор

Рис. 4. Вид программного обеспечения системы МИО-2

С помощью ПО МИО-2 можно выбрать один или несколько приборов КЦА, с которым будет осуществляться обмен информацией с блоком БКУСНИ, наблюдать за количеством переданных кадров на линиях команд и данных. Также ПО МИО-2 отображает количество и тип ошибок, возникших при информационном обмене, отображает количество выданных управляющих кодовых слов (УКС), сохраняет информацию по работе каждой магистрали в ЛОГ-файлы.

Также для каждого прибора КЦА в ПО МИО-2 предусмотрены дополнительные окна с более детальной информацией по линиям команд и данных информационного обмена, а также счетчик различных типов ошибок.

В соответствии с планом-графиком выполнения работ КА «Ионосфера» в период с ноября 2022 года по февраль 2023 года в ИКИ РАН были проведены комплексные испытания для первого и второго летнего КЦА «Ионосфера» [1]. Для полноценной отработки работы приборов КЦА «Ионосфера» комплексные испытания с помощью системы МИО-2 проводились в следующем объеме:

- проверка электрических параметров сигналов информационного обмена между блоком БКУСНИ и прибором КЦА по интерфейсу ВСИ/НСИ;
- проверка совместной работы блока БКУСНИ и прибора КЦА по циклограмме;
- проверка функционирования КЦА «Ионосфера».

По результатам проведения каждой из проверок принимается решение о допуске к проведению дальнейших проверок и испытаний. При возникновении ошибок при проведении проверок – проводится анализ причин возникновения несоответствий и принимается решение об их устранении и проведении дальнейших проверок и испытаний совместно с разработчиком прибора КЦА. При необходимости выполняется доработка приборов.

Проверка электрических параметров сигналов информационного обмена между блоком БКУСНИ и прибором КЦА «Ионосфера» по интерфейсу ВСИ/НСИ. Данная проверка предназначена для контроля информационного обмена по ВСИ/НСИ на соответствие протоколу информационного обмена между блоком БКУСНИ с каждым из приборов КЦА «Ионосфера» в отдельности.

Для проведения данной проверки необходимо использовать систему МИО-2 (для контроля хода информационного обмена), перестыковочную колодку и осциллограф (для проверки параметров сигналов информационного обмена).

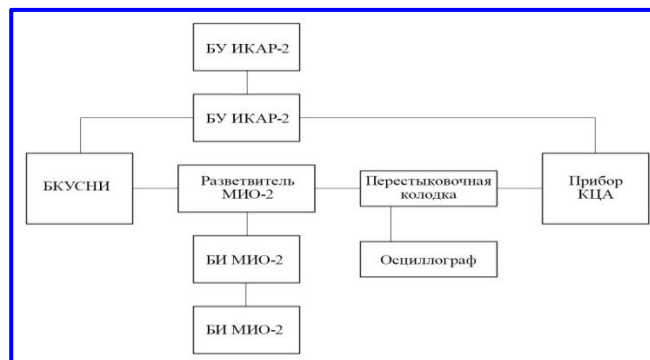


Рис. 5. Схема для проведения проверки электрических параметров сигналов информационного обмена

Разветвитель МИО-2 подключается между блоком БКУСНИ и прибором КЦА «Ионосфера» в разрыв линии информационного обмена, таким образом «подслушивая» его. Блок БКУСНИ с помощью кабеля подключается к разветвителю МИО-2. Прибор КЦА «Ионосфера» подключается с помощью кабеля к разветвителю МИО-2 через перестыковочную колодку. К необходимым контактам линий информационного обмена на перестыковочной колодке, в соответствии с протоколом информационного обмена между блоком БКУСНИ и прибором КЦА «Ионосфера», подключается осциллограф.

В ПО МИО-2 устанавливается нужный прибор КЦА, с которым будет проведена проверка.

Прежде чем начать информационный обмен между блоком БКУСНИ и прибором КЦА «Ионосфера», необходимо включить питание и установить нужные линии работы по интерфейсу информационного обмена блока БКУСНИ. Для этого используется еще одна из составных частей ККИА – имитатор интерфейсов КА (ИКАР-2), состоящая из БИ ИКАР-2 и БУ ИКАР-2 (персональный компьютер с установленным ПО для управления БИ ИКАР-2).

Таким образом, на рис. 5 представлена схема для проведения испытания электрических параметров сигналов информационного обмена между блоком БКУСНИ и прибором КЦА «Ионосфера».

После включения питания блока БКУСНИ и прибора КЦА «Ионосфера», установки параметров информационного обмена и его запуска, выполняются следующие действия:

1. В окне ПО МИО-2 контролируется:
 - работа линий информационного обмена блока БКУСНИ и прибора КЦА «Ионосфера» в соответствии с протоколом информационного обмена, количество переданных кадров от блока БКУСНИ и прибора КЦА «Ионосфера»;
 - наличие/отсутствие ошибок в информационном обмене.

2. На осциллографе контролируется вид сигнала информационного обмена, проводится измерение значений электрических параметров сигнала в соответствии с требованиями протокола информационного обмена.

В рамках проведения комплексных испытаний первого и второго летного КЦА «Ионосфера» данная проверка позволила выявить следующие несоответствия:

- некорректная длина сообщения от прибора КЦА «Ионосфера» по НСИ (несоответствие протоколу согласования интерфейсов между целевой аппаратурой и БКУСНИ);
- отсутствие данных от прибора КЦА «Ионосфера» во время информационного обмена по ВСИ;
- уровни сигнала ВСИ прибора КЦА «Ионосфера» ниже нормы (несоответствие протоколу информационного обмена по высокоскоростному интерфейсу между БКУСНИ и научными приборами КА «Ионосфера»).

Проверка совместной работы блока БКУСНИ и прибора КЦА «Ионосфера» по циклограмме. Проверка проводится по итогу успешного проведения проверки электрических параметров сигналов информационного обмена между блоком БКУСНИ и прибором КЦА «Ионосфера» по интерфейсу ВСИ/НСИ. Схема для проведения испытаний аналогична с рис. 5, но в данном случае подключение осуществляется напрямую, без использования перестыковочной колодки и осциллографа.

Данная проверка предназначена для отработки совместной работы блока БКУСНИ и прибора КЦА «Ионосфера» по командам циклограммы, которые впоследствии будут использоваться в штатной циклограмме при работе всего КЦА «Ионосфера».

Запуск циклограммы производится с помощью системы ИКАР-2. Во время работы циклограммы с помощью ПО МИО-2 контролируется работа по интерфейсу информационного обмена: количество запросов от блока БКУСНИ, количество полученных данных от прибора КЦА «Ионосфера» и количество возникших ошибок. При отсутствии ошибок в работе интерфейса информационного обмена во время работы циклограммы прибор КЦА «Ионосфера» допускается к испытаниям в составе КЦА «Ионосфера».

В рамках проведения комплексных испытаний первого и второго летного КЦА «Ионосфера» данная проверка позволила выявить следующие несоответствия:

- некорректная работа резервной линии ВСИ прибора КЦА «Ионосфера» после выдачи УКС;
- в ответ на запрос данных прибор КЦА «Ионосфера» передает некорректное число байт данных;
- недочеты в синтаксисе циклограмм совместной работы БКУСНИ с каждым из приборов КЦА «Ионосфера».

После успешного завершения предыдущих испытаний каждым из приборов КЦА «Ионосфера» с БКУСНИ проводится **проверка функционирования КЦА «Ионосфера»**. Проверка функционирования КЦА «Ионосфера» предназначена для отработки взаимодействия всех приборов КЦА «Ионосфера». По результатам данной проверки дается заключение о проведении комплексных испытаний и допуске КЦА «Ионосфера» к дальнейшим испытаниям.

Проверка функционирования КЦА «Ионосфера» заключается в контроле работы приборов КЦА «Ионосфера» по циклограмме функционирования. Система МИО-2 позволяет проконтролировать ход информационного обмена между блоком БКУСНИ и всеми остальными приборами КЦА «Ионосфера».

Схема для проведения проверки функционирования КЦА «Ионосфера» приведена на рис. 6.

Методика для проведения испытаний аналогична с проверкой совместной работы блока БКУСНИ и прибора КЦА «Ионосфера» по циклограмме.

При отсутствии ошибок в работе интерфейсов информационного обмена во время работы циклограммы КЦА «Ионосфера» допускается к дальнейшим испытаниям, запланированным в соответствии с планом-графиком выполнения работ КА «Ионосфера».

В рамках проведения комплексных испытаний первого и второго летного КЦА «Ионосфера» данная проверка позволила выявить следующие несоответствия:

- отсутствие ответов от прибора КЦА по резервной линии ВСИ;
- отсутствие ответа от прибора КЦА «Ионосфера» на запрос статуса БКУСНИ по основной и резервной линиям ВСИ;
- прекращение информационного обмена (отсутствие данных) через неопределенное время от одного из приборов КЦА «Ионосфера»;
- недочеты в синтаксисе циклограммы проверки функционирования.

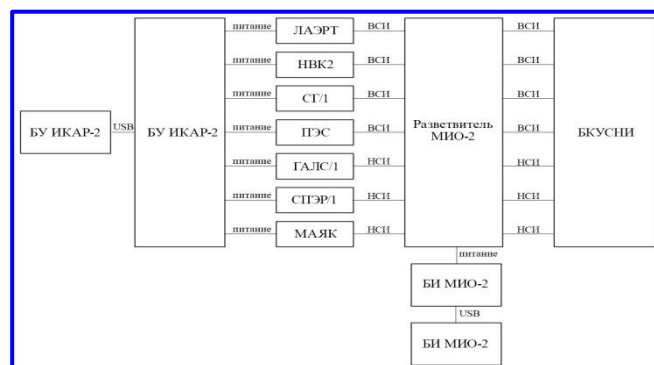


Рис. 6. Схема для проведения проверки функционирования комплекса целевой аппаратуры «Ионосфера» в рамках комплексных испытаний

Выводы

Современные комплексы целевой и научной аппаратуры космических систем и комплексов сложны в управлении и высокоинформативны по научным и служебным данным. Отработка работы интерфейсов информационного обмена комплексов целевой и научной аппаратуры в рамках комплексных испытаний крайне важна и необходима для дальнейшей успешной работы комплекса в составе КА.

С помощью системы контроля информационных интерфейсов приборов КЦА «Ионосфера» (МИО-2) во время проведения проверок в рамках комплексных испытаний удалось выявить несоответствия в работе интерфейсов информационного обмена, отработать функционирование всего КЦА «Ионосфера». К достоинствам данной системы относятся мониторинг состояния состояния всех линий интерфейсов в режиме реального времени, индикация состояния линий в «нормальном» режиме и режиме «ошибка», логирование работы системы и каждого прибора КЦА «Ионосфера». Замечаний к работе системы МИО-2 при проведении комплексных испытаний нет.

За период проведения комплексных испытаний:

- проверена работа четырех дублированных линий ВСИ и трех дублированных линий НСИ для каждого летного образца КЦА «Ионосфера» для первого и второго летного КЦА «Ионосфера»;
- объем информации, переданный приборами каждого летного КЦА «Ионосфера» через систему МИО-2, составляет более 24 ГБ;

– время наработки блока БКУСНИ (при проведении проверок работы приборов по линиям информационных обменов) составило 51 час 32 минуты для первого летного образца и 53 часа 10 мин для второго летного образца.

По результатам проведения проверок и отработки работы информационного обмена КЦА «Ионосфера» по интерфейсам ВСИ и НСИ комплексные испытания летного первого и второго образца КЦА «Ионосфера» завершены успешно.

Литература

1. Ионозонд. – Текст : электронный // Институт космических исследований Российской академии наук : официальный сайт. – 2023. – URL : <https://iki.cosmos.ru/missions/ionozond>.
2. Митрофанов И. Г. Луна-25: Первая полярная миссия на Луну / И. Г. Митрофанов, Л. М. Зеленый, В. И. Третьяков [и др.] // *Астрономический вестник : электронный журнал*. – 2021. – Т. 55. – № 6. – С. 497–508. – URL : <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=astvest&year=2021&vol=55&iss=6&file=AstVest2106009Mitrofanov.pdf>. – Дата публикации 05.07.2021. – DOI : 10.31857/S0320930X21060098.
3. Интерфейсы RS-85, RS-422 и RS-232. – Текст : электронный // *RealLab! Российское оборудование и системы промышленной автоматизации* : [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.reallab.ru/bookasutp/2-promishlennietseti-i-interfeisi/2-3-interfeisi-rs-485-rs-422-i-rs-232/>

Поступила в редакцию 10.08.2023

Марина Владимировна Кишко, инженер лаборатории, т. +7 (495) 333-45-11, e-mail: kishko@cosmos.ru.

Константин Владимирович Ануфрейчик, начальник лаборатории, т. +7 (495) 333-45-78, e-mail: kos@cosmos.ru.

Алена Алексеевна Корчагина, ведущий инженер лаборатории, т. +7 (495) 333-45-11, e-mail: korchagina@cosmos.ru.

Денис Вячеславович Стрельников, начальник лаборатории, т. +7 (495) 333-45-11, e-mail: strdv@cosmos.ru.

Александр Викторович Семенов, главный специалист лаборатории, т. +7 (495) 333-11-56, e-mail: asemenov@cosmos.ru. (ИКИ РАН).

FEATURES OF GROUND-BASED EXPERIMENTAL TESTING OF INFORMATION EXCHANGE INTERFACES FOR SCIENTIFIC PAYLOAD COMPLEXES

M. V. Kishko, K. V. Anufreychik, A. A. Korchagina, D. V. Strelnikov, A. A. Semenov

Nowadays modern complexes of scientific payloads require special attention during testing of information exchange between the instruments. The article describes the features of verification of information exchange interface within the complex tests on the example of «IONOSPHERE» project, and also provides statistics and results of the tests.

Key words: *Information exchange, integrated testing, scientific payload complex, payload complex.*

References

1. Ionosonde. – Text : electronic // Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences : official website. – 2023. – URL : <https://iki.cosmos.ru/missions/ionozond>.
2. Luna-25: The first polar mission to the Moon / I. G. Mitrofanov, L. M. Zeleny, V. I. Tretyakov [et. all] // Astronomical Bulletin: electronic journal. – 2021. – Т. 55. – No. 6. – P. 497 – 508. – URL : <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=astvest&year=2021&vol=55&iss=6&file=AstVest2106009Mitrofanov.pdf>. – Publication date 07/05/2021. – DOI : 10.31857/S0320930X21060098.
3. Interfaces RS-85, RS-422 and RS-232. – Text : electronic // RealLab! Russian equipment and industrial automation systems: [website]. – 2023. – URL : <https://www.reallab.ru/bookasutp/2-promishlennie-seti-i-interfeisi/2-3-interfeisi-rs-485-rs-422-i-rs-232/>.

Marina Vladimirovna Kishko, engineer of laboratory, t. +7 (495) 333-45-11, e-mail: kishko@cosmos.ru.
Konstantin Vladimirovich Anufreychik, head of laboratory, t. +7 (495) 333-45-78, e-mail: kos@cosmos.ru.
Alena Alekseevna Korchagina, head engineer of laboratory, t. +7 (495) 333-45-11, e-mail: korchagina@cosmos.ru.
Denis Viacheslavovich Strelnikov, head of laboratory, t. +7 (495) 333-45-11, e-mail: strdv@cosmos.ru.
Alexander Viktorovich Semenov, chief specialist of laboratory, t. +7 (495) 333-11-56, e-mail: asemenov@cosmos.ru.
(Space Research Institute (IKI)).