

Интерпретатор бортового контура управления Российского сегмента Международной космической станции

© А.Н. Брега, А.В. Кормилицын, Т.В. Кутоманова

ПАО «РКК «Энергия», г. Королёв, Московская обл., 141070, Россия

Проанализирована программа «Интерпретатор бортового контура управления Российского сегмента Международной космической станции» — упрощенная математическая модель бортового контура управления Российского сегмента Международной космической станции (МКС). Программа разработана для предварительной проверки массивов цифровой информации, предназначенных для ввода на борт МКС. Изначально данная программа удовлетворяла минимальным требованиям для проверки массивов цифровой информации на соответствие исходным данным — детальному плану полета. В процессе многолетней эксплуатации она позволила повысить надежность управления МКС. На основании опыта, полученного в ходе использования программы «Интерпретатор бортового контура управления Российского сегмента Международной космической станции», и ввиду внесенных за время эксплуатации изменений в ее структуру исходных данных были предложены направления для ее доработки. Рассмотрена доработанная программа «Интерпретатор бортового контура управления Российского сегмента Международной космической станции» и предложены направления ее развития.

Ключевые слова: интерпретатор, Международная космическая станция, массивы цифровой информации, бортовой контур управления, ракетно-космическая корпорация, энергия, командно-программная информация

Введение. Программа «Интерпретатор бортового контура управления Российского сегмента Международной космической станции» («Интерпретатор БКУ РС МКС») была разработана в связи с необходимостью создать более простое в использовании и более дешевое в эксплуатации, чем наземный комплекс отладки (НКО), программно-техническое средство, которое позволяет проводить верификацию массивов цифровой информации (МЦИ), сформированных специалистами Главной оперативной группы управления (ГОГУ) служебного модуля. При разработке «Интерпретатора БКУ РС МКС» был учтен положительный опыт использования аналогичной программы для орбитальной станции «Мир». Цель создания программы — повышение надежности командно-программного управления бортовыми системами РС МКС, а именно выявление ошибок оператора, возникающих в процессе формирования МЦИ. При отсутствии подобных моделей надежность командно-программного управления летательными аппаратами резко снижается [1].

Принципы работы «Интерпретатора БКУ РС МКС». Были проанализированы все известные методы моделирования, описанные в ра-

боте [2], и в результате был выбран метод математического моделирования, как наиболее подходящий. Математические модели подразделяются на аналитические и имитационные. Ввиду того, что БКУ пилотируемых космических кораблей настолько сложен, что не представляется возможным создать аналитическую модель, позволяющую провести исчерпывающий анализ полетных операций в любых ситуациях, а также ввиду необходимости получить для данного исследования решение частного характера, отвечающее заданным начальным условиям [3], было принято решение создать именно имитационную математическую модель. Исходя из этого, в дальнейшем под математической моделью подразумевается имитационная модель [4, 5]. Интерпретатор БКУ РС МКС представляет собой упрощенную математическую модель. Он моделирует исполнение командно-программной информации, т. е. ввод на борт РС МКС массивов цифровой информации (далее — закладка): суточных бортовых программ и МЦИ непосредственного исполнения, а также исполнение директив, входящих в перечисленные выше МЦИ. Блок-схема моделирования исполнения командно-программной информации приведена в статье [6].

В настоящее время «Интерпретатор БКУ РС МКС» моделирует исполнение директив командной радиолинии (КРЛ) для абонентов: центральной вычислительной машины (ЦВМ), терминальной вычислительной машины (ТВМ), вычислительных машин орбитальных модулей МИМ1 (МИМ1-А) и МИМ2 (МИМ2-А). Кроме того, он моделирует исполнение директив верхнего уровня (ВУ), а также работу следующих механизмов отложенного управления: суточной программы полета (СПП) для абонентов ЦВМ, МИМ1-А и МИМ2-А, расписания сеансов связи (РСС) и бортовой программы полета (БПП). Помимо этого, программа декодирует директивы управления полезными нагрузками (ПН).

Модель каждого бортового механизма реализована в отдельном программном модуле (рис. 1). В состав «Интерпретатора БКУ РС МКС» также входят модуль управления процессом закладки и модуль управления процессом интерпретации, в котором реализован алгоритм обработки директив.

Для разработки алгоритма обработки директив «Интерпретатором БКУ РС МКС» за основу был взят алгоритм интерпретатора программно-временного управления станцией «Мир» [7].

Основной принцип работы «Интерпретатора БКУ РС МКС» заключается в следующем: имитаторы бортовых программ СПП, БПП, РСС, ВУ, КРЛ обрабатывают директивы, записанные в модели ОЗУ вышеперечисленных бортовых электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Алгоритм обработки этих директив выполняется с помощью цикла моделирования событий, в основе которого лежит таблица событий, содержащая два параметра: бортовое (модельное) время и тип

события (директива для одного из имитаторов бортовых программ или действие оператора).

Работа цикла реализована методом моделирования дискретных процессов, а именно методом ускорений с неравномерной шкалой времени.

На первом шаге необходимо составить таблицу событий. Она включает фронты времен (минимального значения времени) всех имитаторов механизмов отложенного управления (СПП СМ, СПП МИМ1-А, СПП МИМ2-А, РСС, БПП) и фронт (минимального значения времени) времен оператора. Программа находит минимальное время среди всех фронтов времен и заносит его в переменную ЦВМ F_UNSEG_TIME, что означает, что программа ускоряется до этого времени.

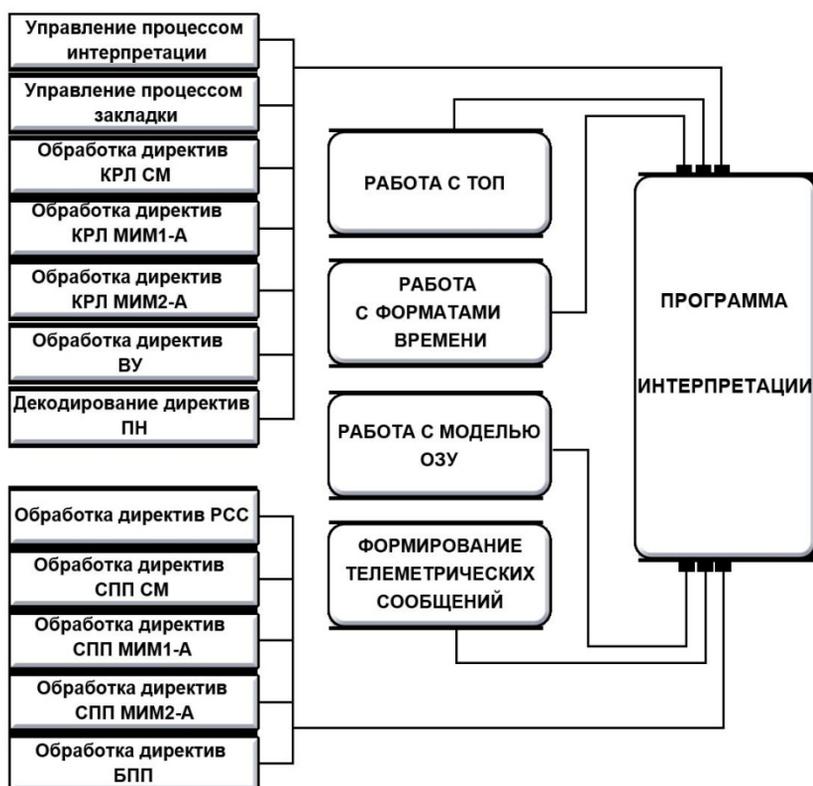


Рис. 1. Схема проекта «Интерпретатор БКУ РС МКС»:

ТОП — таблица описания переменных; ОЗУ — оперативное запоминающее устройство

Затем исполняются действия из таблицы событий, опрашиваются все вышеуказанные имитаторы механизмов отложенного управления и буфер КРЛ.

После того как все директивы для текущего времени исполнены, обработанное событие исключается из таблицы событий (происходит ее обновление) и определяется новое значение времени, которое записывается в переменную ЦВМ F_UNSEG_TIME. Для определения нового значения бортового (модельного) времени программа находит минимальное значение времени среди всех фронтов времен в таблице событий. Шаг цикла — это разница между найденным минимальным временем и текущим бортовым (модельным) временем. Затем программа переходит к следующему шагу цикла. Работа цикла прекращается при исчерпании таблицы событий.

Экспериментальное использование программы «Интерпретатор БКУ РС МКС» началось в 2004 г., а с 2006 г. программа применяется в штатной работе. В настоящее время она используется совместно с наземным комплексом отладки (НКО) (см. таблицу).

Совместное использование НКО и «Интерпретатора БКУ РС МКС»

Тип операции	Интерпретатор	НКО
Обработка суточной программы полета (ежедневная)	Обеспечение «непрерывности» сопровождения	Обеспечение «непрерывности» сопровождения
Обработка сложных и особо ответственных полетных операций	Предварительная обработка детального плана полета (ДПП)	Окончательная обработка ДПП
Обработка новых полетных процедур	Не используется	Детальное моделирование работы бортовых систем
Обработка МЦИ, предназначенных для парирования НШС (нештатных ситуаций) в очередном сеансе связи	Проверка достоверности МЦИ при дефиците времени	Не используется
Разбор НШС	Оперативный анализ моделируемого состояния отдельных областей ОЗУ ЭВМ БВС	Поиск причин возникновения НШС, подготовка рекомендаций
Проверка таблиц описания переменных (ТОП)	Используется	Используется
Проверка специального математического обеспечения (СМО) командно-программного управления (КПУ)	То же	То же

Объем доработок в новой версии «Интерпретатора БКУ РС МКС». За период 2006–2014 гг. в результате эксплуатации «Интерпретатора БКУ РС МКС» были выявлены следующие недостатки в программе:

- отсутствие автоматического ввода исходных данных (ИД); при повторе процесса интерпретации оператор вынужден вручную вводить одни и те же данные;

- отсутствие простого и удобного инструмента редактирования модели ОЗУ; необходимо формировать технологические МЦИ или использовать сторонние программы;

- невозможность одновременной работы с нескольких компьютеров;

- не учтены последние изменения в структуре ИД от разработчиков бортового программного обеспечения (ПО).

После анализа выявленных недостатков для их устранения была разработана версия 5.0 программы.

В период 2015–2016 гг. были произведены следующие доработки:

- добавлена функция ввода ИД в программу посредством специального текстового файла (сценария);

- модернизирован интерфейс пользователя в части редактирования модели ОЗУ;

- обеспечена возможность одновременной работы с нескольких компьютеров с использованием локальной вычислительной сети (ЛВС);

- программа приведена в соответствие с летной версией бортового программного обеспечения.

Основные доработки. Были внесены изменения в *сценарии интерпретации*, в частности разработан новый формат для ввода данных оператором — ввод ИД посредством файла-сценария. На первом этапе работы с «Интерпретатором БКУ РС МКС» оператор составляет сценарий работы. Он состоит из директив инициализации (логин оператора, имя файлов для загрузки моделей ОЗУ), действия (имя файла МЦИ, редактирование модели ОЗУ, сохранение моделей ОЗУ) и комментариев.

Директивы действия могут быть с указанием календарного времени и без него.

Директива «Логин оператора» служит для идентификации пользователя.

Директива «Загрузка моделей ОЗУ» служит для загрузки исходного состояния моделей бортовых ЭВМ на момент времени начала процесса интерпретации.

С помощью директивы «Имя файла МЦИ» задается имя МЦИ, вводимого в бортовую модель одной из ЭВМ в данный момент времени. После имени стоит расширение, которое является именем абонента-приемника одной из бортовых ЭВМ. Транслятор проверяет наличие файла с заданным именем в архиве МЦИ.

Директива «Редактирование модели ОЗУ» предназначена для записи заданного числового значения в переменную с заданным идентификатором. Контролю подлежат: корректность задания идентификатора (проверка с помощью поиска заданного идентификатора в таблицах описания переменных), корректность форматного ввода числового значения и задания длины битового поля для записи.

Директива «Сохранение моделей ОЗУ» предназначена для сохранения состояния моделей бортовых ЭВМ, используемых в качестве загрузочных данных для следующих полетных суток.

Директива «Комментарий» начинается с символа %. Все, что следует за этим символом до конца строки, транслятор игнорирует.

Работа «Интерпретатора БКУ РС МКС» начинается с семантического и синтаксического анализа директив, входящих в сценарий. Пример сценария интерпретации приведен на рис. 2.

```
% Сценарий (задание) на интерпретацию
% программы полёта РС МКС.
% "Расстыковка ТКК№432от А0 СМ"
% Логин оператора
giv;
% Имя начальной модели ОЗУ ЦВМ, ТВМ, МИМ1, МИМ2.
одз_20161013_194258.mem;
% Закладка МЦИ

2016.10.13.19.43.00 С14_РСС.ЦВМ;
                        С14_СПП.ЦВМ;
                        С14_СПП_МИМ1.МИМ1_А;
                        С14_СПП_МИМ2.МИМ2_А;
                        БПП_ЗАПР.ЦВМ;
                        БПП_СТИР.ЦВМ;
                        С14_БПП1.ЦВМ;
                        С14_УД_РАССТ.ЦВМ;
                        БПП_РАЗР.ЦВМ;

2016.10.14.11.20.00 ЗК_11.ЦВМ;
2016.10.14.12.35.00 VS_UNDOCFLAG=0U;
2016.10.14.12.37.00 ЗК_13.ЦВМ;

2016.10.14.12.37.15 VS_UNDOCFLAG=1U;

2016.10.14.13.50.00 БПП_ЗАПР.ЦВМ;
                        БПП_СТИР.ЦВМ;
                        С14_БПП2.ЦВМ;
                        С14_УД_СТАНД.ЦВМ;
                        БПП_РАЗР.ЦВМ;

2016.10.14.14.00.00 ЗК_15.ЦВМ;

2016.10.14.14.21.00 С14_Ф8_2_Р403.ТВМ;

% Сброс модели ОЗУ
2016.10.14.18.51.00 ЗАП_ОЗУ;
```

Рис. 2. Пример сценария интерпретации суточной программы

Работа со сценарием предоставляет дополнительные возможности:

- предварительную разработку сценариев специалистом по методическому обеспечению;
- создание библиотеки типовых сценариев на различные полетные операции;
- сокращение времени работы оператора при вводе ИД для запуска программы;
- контроль действий оператора специалистом более высокой квалификации;
- повторное моделирование прошедших полетных операций при разборе замечаний и в процессе обучения операторов.

В результате доработки программы соответствующие изменения были внесены в *интерфейс пользователя*, в частности, в части редактирования моделей ОЗУ. В созданный сценарий процесса интерпретации была введена директива редактирования модели ОЗУ. При использовании новой версии программы нет необходимости выполнять громоздкую подготовительную работу для редактирования модели ОЗУ, нужно лишь задать идентификатор переменной и ее значение. Два примера редактирования модели ОЗУ представлены на рис. 2 — это строки 2016.09.07.00.48.00 VS_UNOCFLAG=0U и 2016.09.07.00.49.15 VS_UNOCFLAG=1U.

Кроме того, в ходе доработки программы «Интерпретатор БКУ РС МКС» было проведено разделение исходных данных. Это позволило обеспечить *одновременную работу нескольких операторов с разных компьютеров*. Постоянные и переменные исходные данные, используемые с атрибутом «чтение», были помещены на сервер, а постоянные и переменные исходные данные, используемые с атрибутом «чтение и запись», — на компьютер. При инсталляции программы на второй и последующие компьютеры необходимо выбирать настройки, чтобы инсталлировать только файлы, записываемые на компьютер, и пропускать запись файлов на сервер.

Вместе с тем программа «Интерпретатор БКУ РС МКС» была приведена в соответствие с летной версией бортового и наземного ПО. За 2009–2015 гг. в бортовое ПО были внесены изменения, большая часть которых отражена в базе данных ТОП (являющихся постоянными ИД); в этом случае изменения в программе не требуются. Но в последней версии были внесены небольшие изменения в структуру базы данных ТОП, в результате чего в «Интерпретаторе БКУ РС МКС» стали неверно отображаться характеристики некоторых переменных.

В последней версии наземного ПО (специальное математическое обеспечение формирования командно-программной информации

(КПИ) для РС МКС) были внесены некоторые изменения, не влияющие на коды МЦИ, отправляемые на борт РС МКС, но упрощающие работу оператора.

Дополнительные доработки. В обработчиках директив ВУ и КРЛ для переменных, являющихся битовыми полями, теперь отображаются тарифовочные характеристики. Примеры отображения приведены на рис. 3, а (для директивы ВУ — всплывающее окно «Побитная расшифровка переменных») и рис. 3, б (для директивы КРЛ).

V_SMC_PROX_UP2.B	Слово упр.признаков-2 для ЦГ стык-расст.	16	Побитно 0x0002	inf4
V_SMC_PROX_UP.B	Слово упр.признаков для ЦГ стык-расст.	16	Побитно 0xd423	inf5

ПОБИТНАЯ РАСШИФРОВКА ПЕРЕМЕННЫХ				
NN	ЗНАЧ.	ИДЕНТИФИКАТОР	ТАРИРОВКА/ИНЖ.НАЗВ.	
15	1	._15	разр.перев.СУДН в акт.реж.(по сигн.СтА)	
14	1	._14	запрещать ДК СУДН перед стык.и расстык.	
13	0	._13	-разр.авт.перех.в ИП перед.расстыковкой	
12	1	._12	разрешение задания БРО и ДБРО на режим	
11	0	._11	-управлять режимами БИТС (запись)	
10	1	._10	управлять навигационными огнями	
9	0	._9	-управлять ТВС (на Землю)	
8	0	._8	-разр.закрытия крюков (по сигн.с акт.СтА	
7	0	._7	-<резерв контролировать СОСБ НЭП>	
6	0	._6	-<резерв контролировать СОСБ ФГБ>	
5	1	._5	контролировать СОСБ СМ	
4	0	._4	-контролировать СЭП при переходе в режим	
3	0	._3	-построение спецориент-и и контроль СУДН	
2	0	._2	-<резерв стыковка с Курс ММ>	
1	1	._1	стыковка с Курс-П	
0	1	._0	пилотируемое состояние МКС	

V_SMC_PROX_DBRO	Дополнительное слово для ст-расст.	32	150.0000	45
V_SMC_PROX_TFD	Время перех.в ИП или погр.ОДЧ при расст.	32	06.01.1980.02.59.45	inf46-47

а

Ввод МЦИ: ТЕСТ_СТРУКТ.ЦВМ

Циклограмма КРЛ в ЦВМ:

Запись поля битов:

V_SMC_PROX_SOSB.B._NEP=0

<Инж. название отсутствует>

V_SMC_PROX_SOSB.B._FGB=0

Исх-1

V_SMC_PROX_SOSB.B._SM=11

Зона 11

б

Рис. 3. Пример отображения переменных, являющихся битовыми полями, при интерпретации директив ВУ (а) и КРЛ (б)

При настройке динамических телеметрических кадров (ТМ-кадров) отображаются идентификаторы и параметры всех телеметрируемых переменных (рис. 4).

Была создана математическая модель орбитальной системы координат. В новой версии при каждом развороте рассчитывается изменение ориентации МКС относительно орбитальной системы координат (угол поворота) и приращения всех компонентов кватерниона (рис. 5).

```

Циклограмма КРЛ в ТВМ:
УВТ F19_0 Формирование ТМ-кадра
--Значения прототипов информационных слов
p[0]=0x1004(4100) p[1]=0x0050(80) p[2]=0x0003(3) p[3]=0x2a01(10753) p
[4]=0x0000(0) p[5]=0x0004(4) p[6]=0x0003(3) p[7]=0x4804(18436) p[8]
=0x0000(0) p[9]=0x000c(12) p[10]=0x0003(3) p[11]=0xc300(49920) p[12]
=0x0000(0) p[13]=0x000c(12) p[14]=0x0003(3) p[15]=0x4803(18435) p[16]
=0x0004(4) p[17]=0x000c(12) p[18]=0x0003(3) p[19]=0x4805(18437) p[20]
=0x0000(0) p[21]=0x000c(12) p[22]=0x0003(3) p[23]=0x3000(12288) p[24]
=0x0000(0) p[25]=0x0010(16)
Формирование динамического кадра № 04
Номер запроса = 80
Режим выдачи ТМ- кадра - микроскоп
V_TIME_4 , сбрасывается 4 байт
Время формирования сообщения
GTIFV_W[0] , сбрасывается 12 байт
Расчетный вектор угловой скорости
GTIFE_WPR[0] , сбрасывается 12 байт
Оценка угловой скорости
GTIFQ_N[1] , сбрасывается 12 байт
Кватернион управления N
GTIFV_WB[0] , сбрасывается 12 байт
Требуемая угловая скорость KA
GTIFR_U.US[0] , сбрасывается 16 байт
<Ижк. название отсутствует>
    
```

Рис. 4. Пример отображения настроек динамических ТМ-кадров

```

          **** ВИТ=2913 *****
19.11.2016.15.10.38
Ввод МЦИ: C19_F8_2_R402.TVM
Циклограмма КРЛ в ТВМ:
УВТ F8_2 УВ для построения ОСК+задаваемый Р на Д0
--Значения прототипов информационных слов
p[0]=0.99960911 p[1]=-0.00590075 p[2]=0.02612769 p[3]=0.00801096
Сравнение кватернионов
ΔKв1=0.99979818 ΔKв2=0.00192130 ΔKв3=0.00003122 ΔKв4=0.01999679
Угол поворота=2.302
    
```

Рис. 5. Пример отображения изменения ориентации МКС в орбитальной системе координат

Появилась возможность рассчитывать изменения массоинерционных характеристик (рис. 6).

20.11.2016.01.02.05

ВУ:

ЦВМ: V_SMC_PROX_TMZ (Время МЗ (отстыковки) г.реж.стык-расстык)

Сравнение ММХ

$\Delta M=6617.0$ $\Delta X=0.1210$ $\Delta Y=-0.2030$

Рис. 6. Пример отображения изменения массоинерционных характеристик

Результаты доработки «Интерпретатора БКУ РС МКС».

С учетом всех внесенных доработок можно отметить сокращение времени работы стенда НКО. По штатной схеме проверка на «Интерпретаторе БКУ РС МКС» проходит раньше проверки на НКО, поэтому в ряде случаев удалось обнаружить ошибки до отработки на НКО и предотвратить повторную загрузку стенда (сэкономить время его работы).

В период эксплуатации «Интерпретатора БКУ РС МКС» иногда возникали ситуации, когда не удавалось обеспечить работу комплекса НКО. В такие моменты «Интерпретатор БКУ РС МКС» показал, что он успешно может заменить НКО, когда программа состоит из стандартных полетных операций.

Отметим повышение оперативности: ведь иногда возникает необходимость внести изменения в программу текущих суток таким образом, что временной отрезок между внесением изменений и исполнением на борту МКС внесенных директив слишком мал, чтобы можно было обеспечить отработку на НКО. В таком случае проверка производится только с задействованием «Интерпретатора БКУ РС МКС».

Кроме того, для проверки МЦИ на соответствие ДПП листинг отработки на «Интерпретаторе БКУ РС МКС» оказался более наглядным, чем на НКО. Были случаи выявления ошибок, которые ранее не были обнаружены на НКО. Чаще всего это происходило по причине того, что на НКО отработка происходит без учета бортовой модели предыдущих суток. Также было несколько случаев обнаружения ошибок в исходных данных разработчиков бортового ПО.

Версия 5.0 «Интерпретатора БКУ РС МКС» имеет свои преимущества по сравнению с предыдущими версиями. Так, разделение подготовки ИД для интерпретации и самого процесса интерпретации происходит путем введения текстового файла-сценария. При повторении интерпретации не нужно с нуля проводить всю подготовку, достаточно отредактировать файл сценария. В результате время работы оператора сокращается. Появилась возможность редактировать модели ОЗУ по идентификаторам переменных, как это задается в ИД, а не по абсолютному адресу, что исключает необходимость проводить предварительные расчеты и снижает вероятность ошибок. Кроме того, было устране-

но несоответствие между математической моделью и текущей версией бортового ПО, внесены дополнения в выходной документ (листинг интерпретации), облегчающие процесс проверки.

Заключение. В связи с вышесказанным предлагаются следующие направления развития программы «Интерпретатор БКУ РС МКС»:

- создание более полной математической модели бортовых систем за счет расширения библиотеки управляющих воздействий;
- работа с макрорежимами в файле-сценарии (за основу необходимо взять опыт разработчиков СМО командного информационно-вычислительного комплекса), т. е. разработчиков наземного ПО); макрорежимы должны работать по принципу функций (процедур) в языках программирования;
- адаптация программы для работы в 64-разрядной операционной системе.

На основании анализа работы программного комплекса «Интерпретатор БКУ РС МКС» можно заключить, что как на орбитальной станции «Мир», так и на МКС, использование этой программы повысило надежность формирования командно-программной информации, предназначенной для ввода на борт. Исходя из этого, теоретически возможно использование программного комплекса «Интерпретатор БКУ РС МКС» вместо НКО в случае, если ДПП не содержит ответственных полетных операций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Молодцов В.А. О гибели АМС «Фобос». *Новости Космонавтики*, 2004, № 3. URL: <https://rumlin.wordpress.com/2013/04/03/o-gibeli-ams-fobos> (дата обращения 09.05.2017).
- [2] Микрин Е.А. *Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003, 336 с.
- [3] Кравец В.Г. *Автоматизированные системы управления космическими полетами*. Москва, Машиностроение, 1995, 256 с.
- [4] Шукшунов В.Е., Бакулов Ю.А., Григоренко В.Н. *Тренажерные системы*. Москва, Машиностроение, 1981, 254 с.
- [5] Снапелев Ю.М., Старосельский В.А. *Моделирование и управление в сложных системах*. Москва, Советское радио, 1974, 262 с.
- [6] Брега А.Н., Коваленко А.А. Командно-программное управление полетом Российского сегмента МКС. *Космическая техника и технологии*, 2016, № 2 (13), с. 90–104.
- [7] Соловьев В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. *Управление космическими полетами*. В 2 ч. Ч. 2. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 426 с.

Статья поступила в редакцию 13.03.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Брега А.Н., Кормилицын А.В., Кутоманова Т.В. Интерпретатор бортового контура управления Российского сегмента Международной космической станции. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 9.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-9-1655>

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XLI Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24–27 января 2017 г.

Брега Анатолий Николаевич — заместитель начальника отдела ПАО «РКК «Энергия». Область научных интересов: командно-программное управление Российским сегментом Международной космической станции.

e-mail: anatoly.brega@sfoc.com

Кормилицын Антон Викторович — ведущий инженер ПАО «РКК «Энергия». Область научных интересов: командно-программное управление Российским сегментом Международной космической станции. e-mail: avkrm1974@yandex.ru

Кутоманова Татьяна Викторовна — инженер 2-й категории ПАО «РКК «Энергия». Область научных интересов: командно-программное управление Российским сегментом Международной космической станции. e-mail: kutomanovatv@mail.ru

On-board control loop interpreter of the Russian Orbital Segment

© A.N. Brega, A.V. Kormilitsyn, T.V. Kutomanova

S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia,
Korolev town, Moscow region, 141070, Russia

It became necessary to develop a simplified mathematical model of the on-board Russian Orbital Segment control loop for preliminary checking digital data arrays to be input in the International Space Station. We developed the Russian Orbital Segment Control Loop Interpreter application that satisfies the minimum requirements for checking how digital data arrays correspond to the input data, that is, detailed flight plans. The application has been used for many years, helping to increase guidance reliability. The authors suggest directions for improving the application based on the experience obtained during its operation. Another reason for the modifications suggested is the fact that the developers of ISS on-board software have introduced alterations to the input data structure over the course of the ISS on-board control loop operation. The article considers an updated version of the Russian Orbital Segment Control Loop Interpreter application and proposes directions for its further development.

Keywords: interpreter, International Space Station, digital data arrays, on-board control loop, rocket and space corporation, energy, command and program flow data

REFERENCES

- [1] Molodtsov V.A. *Novosti Kosmonavтики — Astronautics News*, 2004, no. 3. Available at: <https://trumlin.wordpress.com/2013/04/03/o-gibeli-ams-fobos> (access May 9, 2017).
- [2] Mikrin E.A. *Bortovye komplekсы upravleniya kosmicheskimi apparatami i proektirovanie ikh programmnoy obespecheniya* [On-board space vehicle control systems and their software design]. Moscow, BMSTU Publ., 2003, 336 p.
- [3] Kravets V.G. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya kosmicheskimi poletami* [Automated space flight control systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995, 256 p.
- [4] Shukshunov V.E., Bakulov Yu.A., Grigorenko V.N. *Trenazhernyye sistemy* [Training systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 254 p.
- [5] Snapelev Yu.M., Staroselskiy V.A. *Modelirovanie i upravlenie v slozhnykh sistemakh* [Simulation and control in complex systems]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1974, 262 p.
- [6] Brega A.N., Kovalenko A.A. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii — Space Engineering and Technology*, 2016, no. 2 (13), pp. 90–104.
- [7] Solovov V.A., Lysenko L.N., Lyubinskiy V.E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami. V 2 tomakh. Tom 2.* [Space flight control]. In 2 vols. Vol. 2. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2009, 426 p.

Brega A.N., Deputy Head of the Department, S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia. Specialises in software and command control of the Russian Orbital Segment. e-mail: anatoly.brega@sfoc.com

Kormilitsyn A.V., Leading Engineer, S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia. Specialises in software and command control of the Russian Orbital Segment. e-mail: avkrm1974@yandex.ru

Kutomanova T.V., Engineer of the 2nd rank, S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia. Specialises in software and command control of the Russian Orbital Segment. e-mail: kutomanovav@mail.ru