

УДК 629.78.013.036.54

**ПРОРАБОТКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСКЛЮЧЕНИЯ
КОМПРЕССОРОВ ДЛЯ ДОЗАПРАВКИ
ТОПЛИВНЫХ БАКОВ ИЗ СОСТАВА
НАУЧНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ**

© 2018 г. Бидеев А.Г., Абдулхаликов Р.М., Кузнецов А.В., Сычева М.В.,
Воробьев А.С., Елизаров Ю.С., Соломкин Р.А.

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва (РКК «Энергия»)
Ул. Ленина, 4А, г. Королёв, Московская обл., Российская Федерация, 141070, e-mail: post@rsce.ru

В статье представлены результаты решения задачи создания объединенной двигательной установки научно-энергетического модуля для обеспечения управления ориентацией Международной космической станции и перспективной Российской орбитальной станции при ограничении — отсутствии компрессора, обеспечивающего перекачку газа из наддувных полостей баков в баллоны объединенной двигательной установки.

Рассмотрены два возможных варианта — осуществление дозаправки баков научно-энергетического модуля средствами транспортных грузовых кораблей и с помощью выносной двигательной установки — аналога использовавшейся на космической станции «Мир».

Показана принципиальная возможность отказа от использования компрессора в пользу варианта заправки баков средствами транспортных кораблей, а также его преимущество по сравнению с вариантом использования выносной двигательной установки.

Ключевые слова: научно-энергетический модуль, дозаправка баков, компрессор, перекачка газа.

**A STUDY OF FEASIBILITY OF DELETING
COMPRESSORS FOR REFUELING PROPELLANT
TANKS FROM THE SCIENCE
AND POWER MODULE**

Bideev A.G., Abdulkhalikov R.M., Kuznetsov A.V., Sycheva M.V.,
Vorobyev A.S., Elizarov Yu.S., Solomkin R.A.

S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia (RSC Energia)
4A Lenin str., Korolev, Moscow region, 141070, Russian Federation, e-mail: post@rsce.ru

The paper presents the results of solving the problem of developing the unified propulsion system for the Science and Power Module to support attitude control of the International Space Station and the future Russian orbital station under a constraint consisting in the absence of the compressor to support gas transfer from the pressurization cavities of the tanks into the bottles of the unified propulsion system.

It considers two options — refueling the Science and Power Module tanks using the equipment of logistics vehicles and with the use of an external propulsion system similar to the one used on space station Mir.

It demonstrates theoretical possibility of abandoning the use of compressors in favor of refueling the tanks using the logistics vehicles equipment, as well as the advantages of the latter option in comparison with the use of an external propulsion system.

Key words: Science and Power Module, tank refueling, compressor, gas transfer.



БИДЕЕВ А.Г.



АБДУЛХАЛИКОВ Р.М.



КУЗНЕЦОВ А.В.



СЫЧЕВА М.В.



ВОРОБЬЕВ А.С.



ЕЛИЗАРОВ Ю.С.



СОЛОМКИН Р.А.

БИДЕЕВ Алексей Геннадьевич — кандидат технических наук, начальник отделения РКК «Энергия», e-mail: alexey.bideev@rsce.ru
BIDEEV Aleksey Gennadyevich — Candidate of Science (Engineering), Head of Division at RSC Energia, e-mail: alexey.bideev@rsce.ru

АБДУЛХАЛИКОВ Рустам Маратович — начальник отдела РКК «Энергия», e-mail: rustam.abdulhalikov@rsce.ru
ABDULKHALIKOV Rustam Maratovich — Head of Department at RSC Energia, e-mail: rustam.abdulhalikov@rsce.ru

КУЗНЕЦОВ Андрей Владимирович — начальник сектора РКК «Энергия», e-mail: post@rsce.ru
KUZNETSOV Andrey Vladimirovich — Head of Subdepartment at RSC Energia, e-mail: post@rsce.ru

СЫЧЕВА Марина Владимировна — начальник сектора РКК «Энергия», e-mail: sychevamv@rsce.ru
SYCHEVA Marina Vladimirovna — Head of Subdepartment at RSC Energia, e-mail: sychevamv@rsce.ru

ВОРОБЬЕВ Александр Сергеевич — ведущий инженер РКК «Энергия», e-mail: post@rsce.ru
VOROBUEV Alexander Sergeevich — Lead engineer at RSC Energia, e-mail: post@rsce.ru

ЕЛИЗАРОВ Юрий Сергеевич — инженер 1 категории РКК «Энергия», e-mail: post@rsce.ru
ELIZAROV Yuriy Sergeevich — Engineer 1 category at RSC Energia, e-mail: post@rsce.ru

СОЛОМКИН Роман Андреевич — инженер 1 категории РКК «Энергия», e-mail: post@rsce.ru
SOLOMKIN Roman Andreevich — Engineer 1 category at RSC Energia, e-mail: post@rsce.ru

Введение

В настоящее время в РКК «Энергия» создается научно-энергетический модуль (НЭМ), который в 2019 г. планируется ввести в состав Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) [1–3].

В дальнейшем, в случае принятия решения о прекращении эксплуатации МКС, НЭМ предполагается использовать в составе перспективной Российской орбитальной станции (РОС) [4].

Среди ряда задач, которые ставятся перед НЭМ по обеспечению полета РС МКС

и РОС — построение и поддержание ориентации; хранение и многократная перекачка топлива из транспортных грузовых кораблей (ТГК) и модулей РС МКС в топливные баки НЭМ и обратно (при этом дозаправляемый запас топлива должен составлять не менее 800 кг).

При эксплуатации НЭМ в составе РС МКС перекачка топлива в баки НЭМ может осуществляться средствами других модулей РС МКС. В случае эксплуатации НЭМ в составе перспективной РОС, задача дозаправки баков объединенной двигательной установки (ОДУ) НЭМ должна быть решена с учетом отсутствия средств перекачки топлива на других модулях. Этот случай, как наиболее сложный, рассмотрен в настоящей статье.

Аналогичная ситуация имела место на модуле ФГБ (функционально-грузовой блок). После выведения ФГБ и до прихода служебного модуля ФГБ поддерживал ориентацию с использованием топлива из собственных баков. Однако дозаправка от ТГК за счет разности давления в баках ФГБ и баках системы дозаправки (СД) ТГК не позволяла обеспечить перекачку необходимого количества топлива, поэтому было необходимо использовать компрессор. Далее, на завершающей стадии строительства МКС, компрессор ФГБ при дозаправке использовался крайне редко, необходимое количество топлива обеспечивалось разностью давлений в баках ФГБ и СД ТГК.

Для выполнения дозаправки топливом баков НЭМ в составе ОДУ НЭМ предполагалось использовать четыре компрессора, перекачивающих газ из наддувных полостей баков в баллоны ОДУ для создания разности давлений между баками ОДУ и баками СД ТГК. Однако, в процессе разработки НЭМ в рамках проектной оптимизации были рассмотрены сценарии, обеспечивающие выполнение задач НЭМ без использования компрессоров.

Анализ вариантов обеспечения полета РОС

В ходе анализа были рассмотрены следующие варианты:

- осуществление дозаправки баков ОДУ НЭМ за счет естественной (создаваемой расходом топлива из баков НЭМ) разности давления в баках ОДУ НЭМ и системы дозаправки ТГК;
- дозаправку баков ОДУ НЭМ не осуществлять, а управление движением РОС

реализовывать при помощи выносной двигательной установки (ВДУ), дополнительно размещаемой снаружи НЭМ.

Вариант с дозаправкой НЭМ

Для поддержания работоспособности двигателей причаливания и ориентации (ДПО) НЭМ, используемых в составе МКС/РОС, необходимо, чтобы давление в баках ОДУ НЭМ составляло не менее 11 кгс/см².

Процесс выработки топлива из баков ОДУ НЭМ имеет следующие особенности: до выработки 1 176 кг топлива из ОДУ (что соответствует минимальному количеству топлива, обеспечивающему дальнейшее снижение рабочего давления в баках после выработки топлива до значения не ниже 11 кгс/см²) давление в баках постоянно и поддерживается редуктором на уровне 21 кгс/см² с наддувом от шарбаллонов. По достижении давления газа наддува 21 кгс/см² редуктор перекрывается, и при дальнейшей выработке топлива до невырабатываемого остатка давление в баках снижается с 21 до 11 кгс/см².

Максимально возможная масса топлива, заправляемого в баки ОДУ НЭМ без компрессора (при наличии в баках конструктивного невырабатываемого остатка 31 кг), по результатам расчетов составляет 1 296 кг (~0,5 от полной заправки баков), при этом давление в баках ОДУ повышается до 19 кгс/см². Возможно дальнейшее увеличение давления газа наддува в баках НЭМ, создаваемого средствами ТГК, с 19 до 23 кгс/см² (предела прочности баков ОДУ), при этом масса заправляемого в баки ОДУ НЭМ топлива может быть увеличена до 1 602 кг, однако это потребует дополнительной установки перед каждым двигателем ДПО НЭМ двух стабилизаторов расхода, ограничивающих установленное давление на входе в двигатель (потребное количество стабилизаторов расхода — 36 шт. общей массой 18 кг). Для обеспечения давления в баках ОДУ НЭМ также необходимо доработать СД ТГК в части замены существующих редукторов (2 шт.), предохранительных клапанов (4 шт.) и сигнализаторов (2 шт.) на другой тип.

Общий запас топлива на РОС может быть увеличен в случае применения аналогичных мероприятий на многоцелевом лабораторном модуле с улучшенными характеристиками (МЛМ-У). Максимально

возможная масса топлива, заправляемого в баки МЛМ-У от ТГК за счет естественной разности давления в баках ДУ МЛМ-У и системы дозаправки ТГК, составляет 840 кг.

Таким образом, максимально возможный запас топлива в баках НЭМ и МЛМ-У составит $1\ 602 + 840 = 2\ 442$ кг.

Вычисления производились по следующим соотношениям:

$$\rho_T = \frac{M_T}{V_B n},$$

где ρ_T — плотность топлива, кг/м³; M_T — масса топлива, кг; V_B — объем топливной емкости бака, м³; n — количество баков.

$$V_{ТНВ} = \frac{M_{ТНВ}}{\rho_T},$$

где $V_{ТНВ}$ — объем остатка незабора топлива в баке, м³; $M_{ТНВ}$ — масса остатка незабора топлива в баке, кг.

$$V_{Г1} = V_B n - V_{ТНВ},$$

где $V_{Г1}$ — объем подушки газа наддува при выработанном топливе, м³.

$$V_{Г2} = V_{Г1} \frac{P_1}{P_2},$$

где $V_{Г2}$ — объем подушки газа наддува при залитом топливе, м³; P_1 — давление газа наддува при выработанном топливе, кгс/м²; P_2 — давление газа наддува при залитом топливе, кгс/м².

$$\Delta V_T = \Delta V_G = V_{Г1} - V_{Г2},$$

где ΔV_T — объем вырабатываемого топлива, м³; ΔV_G — изменение объема подушки газа наддува при выработке топлива, м³.

$$\Delta M_T = \Delta V_T \rho_T,$$

где ΔM_T — максимально возможная масса топлива, заправляемого в баки при дозаправке, кг.

Оценим соотношение потребного расхода топлива и доступного запаса топлива в баках РОС для следующих расчетных случаев:

- 1) на НЭМ установлены гиродины, РОС — в орбитальной ориентации;
- 2) на НЭМ гиродинов нет, РОС — в орбитальной ориентации;
- 3) РОС в режиме консервации (ТГК и гиродины отсутствуют, РОС — в закрутке на Землю для минимизации затрат топлива).

Результаты расчетов годовых затрат топлива представлены в табл. 1.

Таблица 1

Затраты топлива в год (кг)

Реализуемые операции	Расчетный случай		
	1	2	3
Поддержание ориентации	0	1 500	300
Коррекция орбиты, в т. ч. для поддержания высоты рабочей орбиты 410 км	810	810	810
Стыковки/расстыковки	500	500	0
Итого	1 310	2 810	1 110

Доступный запас топлива в баках РОС представлен в табл. 2.

Таблица 2

Доступный запас топлива в баках НЭМ и МЛМ-У

Условия хранения топлива	Масса топлива, кг
При давлении 19 кгс/см ²	2 136
При давлении 23 кгс/см ²	2 442
При давлении 19 кгс/см ² и нештатной ситуации (отказ одного бака НЭМ)	1 704
При давлении 23 кгс/см ² и нештатной ситуации (отказ одного бака НЭМ)	1 875

Отметим, что при наличии в составе РОС транспортных грузовых кораблей задачи коррекции орбиты и управления ориентацией по каналам крена и рыскания (вокруг осей X и Y, соответственно) могут быть выполнены с помощью ДУ кораблей за счет запасов топлива кораблей. При этом задача ОДУ НЭМ сужается до обеспечения управления ориентацией станции по каналу тангажа — вокруг оси Z. Используемые в этом случае для управления РОС двигатели показаны на рис. 1. Потребное количество ТГК при таком варианте управления приведено в табл. 3 [5, 6].

Таблица 3

Оценка годового потребного количества топлива для управления Российской орбитальной станцией с участием транспортных грузовых кораблей

Вариант	Потребное количество топлива, кг	Потребное количество ТГК, шт.
Ориентация на гиродинах	167	0,21
Ориентация на двигателях	2 000	2,5

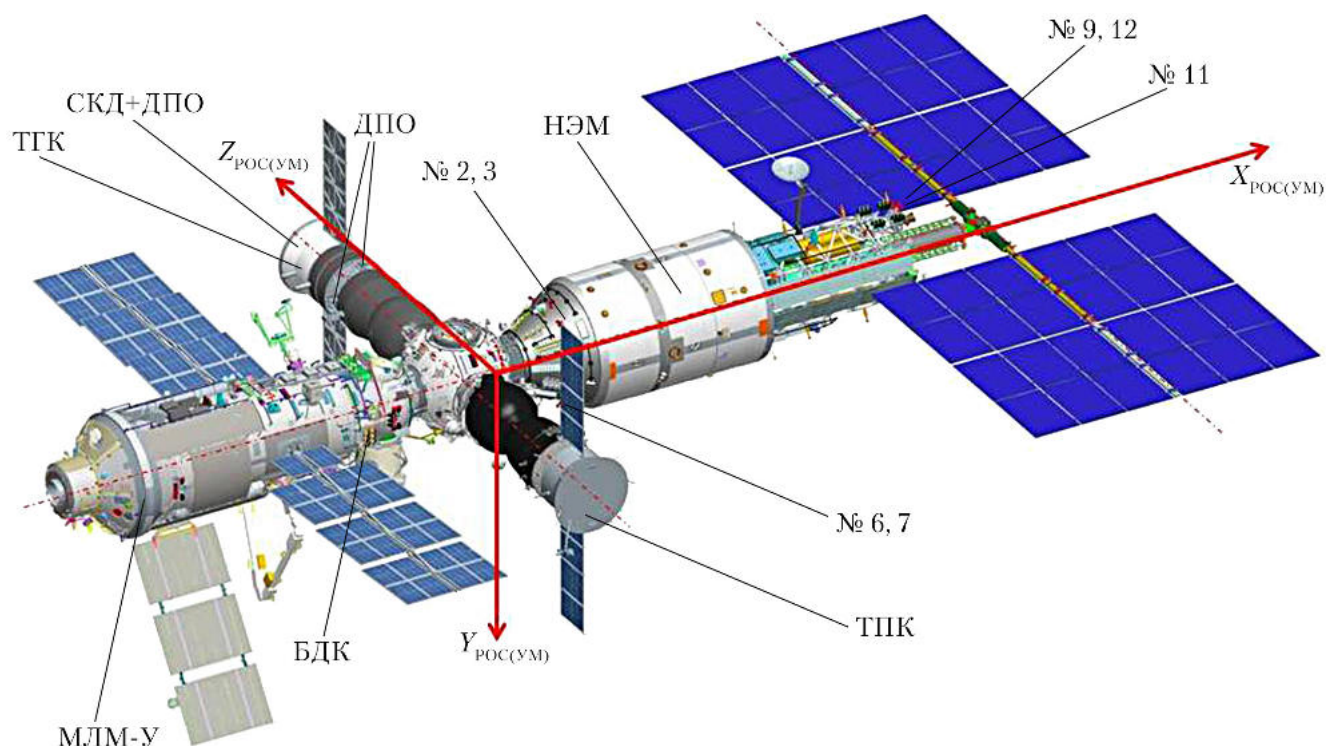


Рис. 1. Управление Российской орбитальной станцией (РОС) на двигателях

Примечание. Канал крена — вокруг оси $X_{УМ}$; канал рыскания — вокруг оси $Y_{УМ}$; канал тангажа — вокруг оси $Z_{УМ}$; УМ — узловой модуль; МЛМ-У — многофункциональный лабораторный модуль с улучшенными характеристиками; БДК — блок двигателей крена; НЭМ — научно-энергетический модуль; ТПК — транспортный пилотируемый корабль; ТГК — транспортный грузовой корабль; ДПО — двигатели причаливания и ориентации; СКД — сближающе-корректирующие двигатели. Номерами обозначены ДПО НЭМ. Оси системы координат РОС совпадают с осями системы координат УМ.

Таким образом, рассматриваемый вариант обеспечивает полет РОС для всех расчетных случаев и с учетом двух нештатных ситуаций (отказ одного топливного бака и потеря одного ТГК с учетом старта следующего в течение 45 сут).

Этот вывод подтверждает и опыт эксплуатации станции «Мир» [1], где для дозаправки использовались только баки базового блока, максимальная вместимость которых составляла всего 860 кг топлива, а масса станции «Мир» превышала РОС в два раза [7–10].

В случае выхода из строя одного из баков с компонентом топлива, другой компонент топлива в парном баке для использования не рассматривается. При этом максимально возможная масса топлива, запрашиваемого в баки НЭМ при дозаправке (при наличии в баках конструктивного невыработываемого остатка 31 кг) составляет 864 кг (при давлении 23 кгс/см² — 1 068 кг), т. е. поставленная задача выполняется.

Вариант без дозаправки НЭМ

Настоящий вариант предполагает использование двух одноканальных (с двумя

направлениями векторов тяг) ВДУ с невозполняемыми запасами топлива, аналогичных использованным на орбитальной станции «Мир».

В составе РОС четырьмя направлениями векторов тяг от двух ВДУ, установленных на НЭМ, можно обеспечить управление по каналам крена, рыскания и тангажа, а также выдачу корректирующих импульсов вдоль центра масс в одном направлении. Однако при наличии в составе РОС ТГК задачи коррекции орбиты и управления ориентацией по двум каналам (рыскание, крен) из трех могут быть выполнены с помощью ДУ ТГК за счет запасов топлива кораблей. При этом задача ВДУ сужается до обеспечения управления ориентацией станции по одному оставшемуся каналу (тангаж).

Для установки ВДУ снаружи НЭМ можно использовать универсальные рабочие места (УРМ) УРМ-Н4-3 и УРМ-Н2-1 (рис. 2). Установка ВДУ на УРМ и их подключение к существующим фиксирующим платам для управления и получения телеметрии осуществляется при внекорабельной деятельности (ВнеКД). Демонтаж и утилизация ВДУ также осуществляются

при ВнеКД. При общем ограничении количества «выходов» при ВнеКД, осуществляемых в течение года, операции монтажа и демонтажа ВДУ могут осуществляться только за счет «выходов» для решения других задач, например, научной программы.

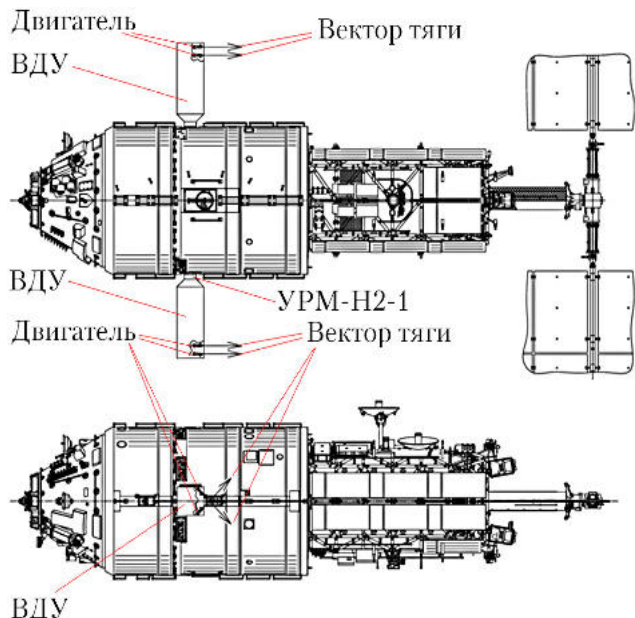


Рис. 2. Управление Российской орбитальной станцией при помощи ВДУ НЭМ (вид НЭМ в двух проекциях)

Примечание. ВДУ – выносная двигательная установка (2 шт.); УРМ-Н4-3, УРМ-Н2-1 – универсальные рабочие места, на которых возможна установка ВДУ.

Для доставки ВДУ необходимо изготовление специализированного ТГК, аналогичного использованному для доставки ВДУ на станцию «Мир». Эта модификация корабля «Прогресс» не предназначалась для утилизации ВДУ, поэтому на станции «Мир» она осуществлялась экипажем при «выходе» (экипаж отбрасывал ВДУ от станции).

Максимальная масса заправляемого топлива ВДУ составляет 400 кг. Масса ВДУ с заправкой – не более 700 кг.

Результаты оценки потребного количества ВДУ в год для обеспечения управления РОС без использования ДУ ТГК приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка годового потребного количества выносных двигательных установок (ВДУ) для управления РОС без участия ТГК

Вариант	Потребное количество топлива, кг	Потребное количество ВДУ, шт.
Ориентация на гиродинах	1 310	4
Ориентация на двигателях	2 810	8

Запаса топлива двух ВДУ хватает на семь месяцев при обеспечении ориентации РОС на гиродинах или на два месяца при обеспечении ориентации РОС только на двигателях.

Потребное количество ВДУ для случая, когда ориентация РОС осуществляется ими по одному каналу (одной вращательной степени свободы), а ориентация по остальным каналам осуществляется ТГК, приведено в табл. 5.

Таблица 5

Оценка годового потребного количества ВДУ для управления РОС с участием ТГК

Вариант	Потребное количество топлива, кг	Потребное количество ВДУ, шт.
Ориентация на гиродинах	167	0,42 (2 шт. на 4 года)
Ориентация на двигателях	2 000	5

Выводы

По результатам проведенных проектных проработок сценариев выполнения задач НЭМ без использования компрессоров сделаны следующие выводы:

1. Выполнение задач НЭМ без компрессора возможно с использованием ОДУ. При этом осуществление неполной дозаправки (~0,5 от максимальной) может быть выполнено без расхода газа наддува и без доработок ОДУ НЭМ и СД ТГК.

2. Выполнение задач НЭМ без компрессора возможно с использованием ВДУ, но при этом необходимо изготовление ВДУ и специализированного ТГК для их доставки, а также осуществление ВнеКД для монтажа, демонтажа и утилизации ВДУ, размещаемых снаружи НЭМ на УРМ-Н, что ограничивает возможности работы с научной аппаратурой.

3. Сравнение потребного количества ТГК для вариантов обеспечения управления полетом РОС с дозаправкой баков НЭМ и с использованием ВДУ показывает предпочтительность варианта с использованием ОДУ без компрессора.

Список литературы

1. Деречин А.Г., Жарова Л.Н., Синявский В.В., Солнцев В.Л., Сорокин И.В. Международное сотрудничество в сфере пилотируемых полетов. Часть 1. Исторический обзор // Космическая техника и технологии. 2017. № 1(16). С. 12–31.

2. Деречин А.Г., Жарова Л.Н., Синявский В.В., Солтцев В.Л., Сорокин И.В. Международное сотрудничество в сфере пилотируемых полетов. Часть 2. Создание и эксплуатация Международной космической станции // Космическая техника и технологии. 2017. № 2(17). С. 5–28.

3. Легостаев В.П., Марков А.В., Сорокин И.В. Целевое использование Российского сегмента МКС: значимые научные результаты и перспективы // Космическая техника и технологии. 2013. № 2. С. 3–18.

4. Микрин Е.А. Перспективы развития отечественной пилотируемой космонавтики (к 110-летию со дня рождения С.П. Королева) // Космическая техника и технологии. 2017. № 1(16). С. 5–11.

5. Бидеев А.Г., Карбовничий В.П., Майоров И.В., Новиков А.Л., Скобелев П.О., Сычева М.В. Метод адаптивного планирования грузопотока в интерактивной мультиагентной системе расчета программы полета, грузопотока и ресурсов Российского сегмента Международной космической станции // Космическая техника и технологии. 2014. № 1(4). С. 29–38.

6. Бидеев А.Г., Горбова Н.Н., Кузьмин В.В., Капорцева Г.Н., Лакхин О.И., Новиков А.Л., Полников А.С., Симонова Е.В., Скобелев П.О., Сычева М.В., Успенская Н.В., Хамиц И.И. Практические результаты внедрения интерактивной мультиагентной системы построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов Российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии. 2016. № 2(13). С. 5–13.

7. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева. 1946–1996. М.: РКК «Энергия», 1996. 670 с.

8. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева на рубеже двух веков. 1996–2001. М.: РКК «Энергия», 2001. 1327 с.

9. РКК «Энергия» имени С.П. Королева в первом десятилетии XXI века. М.: РКК «Энергия», 2011. 832 с.

10. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева во втором десятилетии XXI века. 2011–2015. М.: РКК «Энергия», 2016. 895 с.

Статья поступила в редакцию 18.12.2017 г.

Reference

1. Derechin A.G., Zharova L.N., Sinyavskiy V.V., Solntsev V.L., Sorokin I.V. *Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v sfere pilotiruemykh poletov. Chast' 1. Istoricheskii obzor* [International cooperation in manned spaceflight. Part 1. Historical background]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2017, no. 1(16), pp. 12–31.

2. Derechin A.G., Zharova L.N., Sinyavskiy V.V., Solntsev V.L., Sorokin I.V. *Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v sfere pilotiruemykh poletov. Chast' 2. Sozдание i ekspluatatsiya Mezhdunarodnoi kosmicheskoi stantsii* [International cooperation in the sphere of manned flights. Part 2. Development and operation of the International Space Station]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2017, no. 2(17), pp. 5–28.

3. Legostaev V.P., Markov A.V., Sorokin I.V. *Tselevoe ispol'zovanie rossiiskogo segmenta MKS: znachimye nauchnye rezul'taty i perspektivy* [The ISS Russian Segment utilization: research accomplishments and prospects]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2013, no. 2, pp. 3–18.

4. Mikrin E.A. *Perspektivy razvitiya otechestvennoi pilotiruemoi kosmonavtiki (k 110letiyu so dnya rozhdeniya S.P. Koroleva)* [Outlook for our country's manned spaceflight development (to mark the 110th anniversary of S.P. Korolev)]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2017, no. 1(16), pp. 5–11.

5. Bideev A.G., Karbovnicchi V.P., Mayorov I.V., Novikov A.L., Skobelev P.O., Sycheva M.V. *Metod adaptivnogo planirovaniya gruzopotoka v interaktivnoi mul'tiagentnoi sisteme rascheta programmy poleta, gruzopotoka i resursov Rossiiskogo segmenta Mezhdunarodnoi kosmicheskoi stantsii* [The method of adaptive cargo traffic planning in the interactive multi-agent system for calculating the mission plan, cargo traffic and resources of the Russian Segment of the International Space Station]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2014, no. 1(4), pp. 29–38.

6. Bideev A.G., Gorbova N.V., Kuzmin V.V., Kaportseva G.N., Lakhin O.I., Novikov A.L., Polnikov A.S., Simonova E.V., Skobelev P.O., Sycheva M.V., Uspenskaya N.V., Khamits I.I. *Prakticheskie rezul'taty vnedreniya interaktivnoi mul'tiagentnoi sistemy postroeniya programmy poleta, gruzopotoka i raschetov resursov Rossiiskogo segmenta MKS* [Results of putting into operation the multi-agent system for scheduling of flight program, cargo flow and resource management of ISS Russian Segment]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 2(13), pp. 5–13.

7. *Raketno-kosmicheskaya korporatsiya «Energiya» imeni S.P. Koroleva. 1946–1996* [S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. 1946–1996]. Moscow, RKK «Energiya» publ., 1996. 670 p.

8. *Raketno-kosmicheskaya korporatsiya «Energiya» imeni S.P. Koroleva na rubezhe dvukh vekov. 1996–2001* [S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia on the turn of the two centuries. 1996–2001]. Moscow, RKK «Energiya» publ., 2001. 1327 p.

9. *RKK «Energiya» imeni S.P. Koroleva v pervom desyatiletii XXI veka* [S.P. Korolev RSC Energia in the first decade of XXI century]. Moscow, RKK «Energiya» publ., 2011. 832 p.

10. *Raketno-kosmicheskaya korporatsiya «Energiya» imeni S.P. Koroleva vo vtorom desyatiletii XXI veka. 2011–2015* [S.P. Korolev rocket and Space Corporation Energia in the second decade of XXI century]. Moscow, RKK «Energiya» publ., 2016. 895 p.