

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю.В. Лончаков

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

В.А. Сиволап –
заместитель
главного редактора,

А.В. Кальмин –
ответственный секретарь,

Ю.М. Батуриц,

М.Н. Бурдаев,

Л.К. Васильева,

С.П. Власенков,

Н.В. Волкова,

О.С. Гордиенко,

П.П. Долгов,

В.М. Жуков,

С.А. Жуков,

С.В. Игнатьев,

Р.Р. Каспранский,

О.Д. Кононенко,

Б.И. Крючков,

А.А. Курицын,

Г.Д. Орешкин,

В.И. Почуев,

В.Н. Саев,

Ю.Б. Сосюрка,

И.Г. Сохин,

М.Л. Титова,

М.В. Тюрин,

В.М. Усов,

М.М. Харламов,

В.И. Ярополов.

СОДЕРЖАНИЕ

Старт в вечность (к 55-летию полета в космос Ю.А. Гагарина). <i>Ю.В. Лончаков, М.Н. Бурдаев</i>	4
ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....	22
Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-43/44 при выполнении программы космического полета. <i>Г.И. Падалка</i>	22
Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-43/44 (экспресс-анализ). <i>В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова</i>	35
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС.....	47
Пилотируемая лунная инфраструктура и коммерциализация полетов к Луне. <i>С.К. Крикалёв, О.А. Сапрыкин</i>	47
Мультиагентные технологии в интеллектуальных аэрокосмических системах. <i>В.А. Соловьев, Г.А. Ржевский, П.О. Скобелев, О.И. Лахин</i>	63
Анализ направлений коммерциализации пилотируемой космонавтики. <i>В.А. Сиволап, А.А. Курицын, А.А. Ковинский</i>	78
Системный подход к обоснованию эргономических требований к роботу-помощнику экипажа пилотируемого космического комплекса. <i>В.Г. Сорокин, И.Г. Сохин</i>	89
Вопросы безопасности применения робототехнической системы космического назначения в процессе осуществления внекорабельной деятельности. <i>В.С. Коренной, П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов</i>	99

Применение RFID-технологий для информационной поддержки космонавтов на борту пилотируемого комплекса при использовании медицинских упаковок и аптечек. <i>А.В. Поляков, В.П. Дашевский, А.А. Карпов, Б.И. Крючков, В.М. Усов</i>	104
ОБЗОРЫ.....	118
Развитие космической эргономики: анализ проблем учета человеческого фактора по результатам работы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» <i>А.А. Меденков, Т.Б. Нестерович</i>	118
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ	131
Космический форум, посвященный 55-летию полета Ю.А. Гагарина.....	131
База данных замечаний и предложений экипажей по результатам выполненных космических полетов (<i>Свидетельство о государственной регистрации № 2014620164 от 22 января 2014 года</i>)	132
Система имитации внешней визуальной обстановки в бортовых средствах наблюдения земной поверхности космического тренажера (<i>Патент на полезную модель № 136618 от 10 января 2014 года</i>).....	133
Информация для авторов и читателей	134

На стр. 14–21 – материалы из архива ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»

CONTENTS

Launching to Eternity (55 Years of Gagarin's Flight to Space). <i>Yu.V. Lonchakov, M.N. Burdaev</i>	4
RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS	22
Main Results of the ISS-43/44 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. <i>G.I. Padalka</i>	22
Medical Support of the ISS-43/44 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i>	35
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS	47
Manned Lunar Infrastructure and Commercialization of Flights to the Moon. <i>S.K. Krikalev, O.A. Saprykin</i>	47
Multiagent Technologies in Smart Aerospace Systems. <i>V.A. Solov'ev,</i> <i>G.A. Rzevski, P.O. Skobelev, O.I. Lakhin</i>	63
Analysis of Commercialization Trends of Manned Space Exploration. <i>V.A. Sivolap, A.A. Kuritsyn, A.A. Kovinsky</i>	78
System Approach to the Substantiation of Ergonomic Requirements for the Robotic Assistant of a Crew aboard Manned Space Complexes. <i>V.G. Sorokin, I.G. Sokhin</i>	89
Security Issues of Application of a Space Robotic System during Extravehicular Activity. <i>V.S. Korennoy, P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov</i>	99
Application of FRID Technologies for Information Support of Cosmonauts aboard Manned Spacecraft When Using Medical Packs and First Aid Kits. <i>A.V. Polyakov, V.P. Dashevsky, A.A. Karpov, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov</i>	104
OVERVIEWS.....	118
Space Ergonomics: Problems of Taking Account of Human Factor Considering Results of the 11 th International Scientific and Practical Conference "Manned Space Flights". <i>A.A. Medenkov, T.B. Nesterovich</i>	118
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION.....	131
Space Forum Dedicated to the 55-year Anniversary of Gagarin's Space Flight	131
Database of Crews' Comments and Suggestions By Results of Executed Space Missions (<i>Certificate of State Registration № 2014620164 from</i> <i>January 22, 2014</i>).....	132
The Simulation System of External Visual Environment Included in the Complement of the Onboard Earth Observation Equipment of a Space Simulator (<i>Useful Model Patent № 136618 from January 10, 2014</i>)	133
Information for Authors and Readers	134
Pages 14–21 – Archive Materials of the FSBO "Gagarin R&T CTC"	

УДК 629.78.007

СТАРТ В ВЕЧНОСТЬ
(К 55-ЛЕТИЮ ПОЛЕТА В КОСМОС Ю.А. ГАГАРИНА)
Ю.В. Лончаков, М.Н. Бурдаев

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт Российской Федерации, докт. техн. наук Ю.В. Лончаков; космонавт-испытатель, докт. техн. наук, профессор М.Н. Бурдаев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье приведен исторический обзор подготовки к полету и показана социально-политическая значимость первого полета человека в космос. Представлены уникальные материалы и фотографии из архива ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Первому полету предшествовала напряженная работа предприятий космической отрасли и научных организаций страны.

Ключевые слова: Ю.А. Гагарин, достижения пилотируемой космонавтики, отбор кандидатов в космонавты, подготовка космонавтов, технические средства подготовки космонавтов, первый полет человека в космос, космическое пространство, условия космического полета.

Launching to Eternity (55 Years of Gagarin's Flight to Space).

Yu.V. Lonchakov, M.N. Burdaev

The paper presents a historical review of the preparation to the first human flight into space and its socio-political significance. Hard work of the whole space industry in cooperation with scientific institutions of the country preceded the event.

Keywords: Yu.A. Gagarin, achievements of manned space exploration, selection of cosmonaut candidates, cosmonaut training, technical facilities for cosmonaut training, first flight of a man into space, cosmic space, spaceflight conditions.

В истории человечества было немного событий, которые открывали ему новые сферы деятельности, новые области познания, новые перспективы развития. К их числу, безусловно, относится первый полет человека в космическое пространство. Он был завершением коллективной работы многомиллионной армии российских ученых, инженеров, рабочих, от маршалов до рядовых.

К этому полету человечество шло много веков. Мечта о полетах в небо жила в древнейших дошедших до нас памятниках письменности. Многие поколения писателей создавали литературные произведения о полетах в космос. Предлагались самые различные способы осуществления таких полетов.

Во второй половине XIX века ученые многих стран начали искать теоретические, а затем и технические решения проблемы полетов в космическое пространство. В первых рядах этих искателей шли наши отечественные исследователи. Их имена навечно вписаны в историю космонавтики: Федоров, первым высказавший предложение об использовании ракеты для полетов за пределы атмосферы Земли; Константин Эдуардович Циолковский, впервые применивший эту идею для разработки теоретических основ космонавтики; Фридрих Артурович Цандер – автор ставшего в настоящее время актуальным призыва: «Вперед, на Марс!» и многих исследований, посвященных поиску технических решений этой проблемы; Александр Шаргей (Ю.В. Кондратюк), автор ряда работ о полетах к Луне.

В одно время с ними, почти ничего не зная об их достижениях, иногда отставая, иногда в чем-то опережая, трудились зарубежные энтузиасты: Годдард в Америке, Эно-Пельтри во Франции, Оберт в Германии, Гансвиндт в Австрии. Че-

ловеческая мысль на разных континентах и в разных странах упорно искала способы и средства для межпланетных полетов.

За теоретическими последовали экспериментальные исследования. Все они были посвящены разработке, испытаниям и совершенствованию ракетных двигателей. Основоположителем отечественной школы ракетного двигателестроения был Валентин Петрович Глушко. Первые из своих двигателей он начал строить в июле 1929 года в Газодинамической лаборатории в Ленинграде, испытывал их вместе с Сергеем Павловичем Королёвым. Меньше, чем через тридцать лет, в октябре 1957 года ракетные двигатели Глушко на ракете Королёва впервые в истории человечества вывели на орбиту Земли первый искусственный спутник. В апреле 1961 года те же двигатели на той же ракете впервые подняли в космос пилотируемый корабль с человеком, нашим соотечественником, Юрием Алексеевичем Гагариным. За свою напряженную творческую жизнь Валентин Петрович создал более пятидесяти типов самых совершенных современных ракетных двигателей.

Первенство в создании ракеты и корабля, унесшего в космос первого человека, принадлежит спутнику Валентина Петровича Глушко по жизни и творчеству Сергею Павловичу Королёву. В одно время они выживали в лагерях и трудились в «шарашках» НКВД, в одно время создавали ракеты и двигатели к ним. Результаты их общих трудов стали символами открытия новой эры в истории человечества – космической эры.

Запуск первого искусственного спутника Земли подвел итог периоду решения проблемы преодоления земного притяжения для выхода на космическую орбиту.

Организация и обеспечение полета человека в космос были проблемой, сравнимой по сложности решения с запуском ИСЗ.

Проблема и перспективы полета человека в космос в нашей стране впервые были обсуждены на совещании в Академии наук СССР в начале 1959 года. Но врачи и психологи начали работать над решением проблемы полета человека в космос еще раньше, в 1951 году, за десять лет до полета Юрия Гагарина.

Техники, которая могла бы обеспечить доставку человека в космос и его безопасное возвращение на Землю, в ту пору не было. Поэтому для исследования влияния на живые организмы факторов космического полета были выбраны собаки. Требования к отбору собак определялись, в основном, габаритами капсул и особенностями контрольной аппаратуры. Собаки должны были быть весом не более 6 килограмм и ростом не более 35 сантиметров.

Исследования проводились в четыре этапа. На первых трех из них (1951, 1954–1957 и 1957–1960 годы) было выполнено 28 полетов собак на геофизических ракетах в негерметичных капсулах в скафандрах на высоты до 450 километров. В них участвовали 38 собак.

На четвертом этапе биологических экспериментов собаки летали на искусственных спутниках Земли. 3 ноября 1957 года было выведено на орбиту первое живое существо – собака Лайка.

Одновременно с проведением биологических экспериментов на первых космических кораблях шла техническая проверка и отработка их конструкции.

В организации и проведении первого отбора кандидатов в космонавты участвовало много специалистов, прежде всего – медиков и психологов. Общей для всех них была установка С.П. Королёва: первым космонавтом должен быть летчик. Не любой летчик, а летчик-истребитель. Сергей Павлович в молодости сам летал, понимал специфику летного труда разных специальностей и считал, что в летчике-истребителе сочетаются качества, необходимые для успешного выполне-

ния первого полета человека в космос. Он говорил: «Для такого дела лучше всего подготовлены летчики и в первую очередь летчики реактивной истребительной авиации. Летчик-истребитель – это и есть требуемый универсал. Он летает в стратосфере на одноместном скоростном самолете. Он пилот и штурман, и связист, и бортиженер...».

В соответствии с этим указанием С.П. Королёва будущих космонавтов отбирали среди летчиков-истребителей.

Отбор кандидатов в космонавты было поручено осуществить авиационным врачам и врачебно-летным комиссиям, на которые был возложен контроль за состоянием здоровья летного состава в частях ВВС.

В октябре 1959 года в частях ВВС был начат отбор кандидатов в космонавты (согласно приказу главнокомандующего ВВС и начальника Главного медицинского управления Министерства обороны СССР от 30.09.59 г.). Отбор проводился Главной комиссией под председательством начальника Службы авиационной медицины – главного врача ВВС полковника медицинской службы А.Н. Бабийчука. Секретарем этой комиссии был полковник медицинской службы Е.А. Карпов, впоследствии ставший первым начальником Центра подготовки космонавтов.

В процессе первичного отбора кандидатов в космонавты были рассмотрены документы на 3461 летчика истребительной авиации в возрасте до 35 лет. Для первичной беседы было отобрано 347 человек. По результатам бесед и амбулаторного медицинского обследования к дальнейшему медицинскому отбору было допущено 206 летчиков, которые проходили окончательное стационарное обследование в Центральном научно-исследовательском авиационном госпитале (ЦНИАГ) в период с октября 1959 года по апрель 1960 года. В дальнейшем из 206 человек, направленных в ЦНИАГ для стационарного обследования, отказались от прохождения обследования 72 человека, не прошли по предъявляемым требованиям к состоянию здоровья 105 человек. Из 29 летчиков, прошедших все этапы медицинского обследования, отвечающих требованиям, предъявляемым к состоянию здоровья кандидатов в космонавты, были отобраны 20 человек для подготовки к космическим полетам. Они и составили первый отряд космонавтов, впоследствии названный «гагаринским». Из 20 летчиков первого отряда космонавтов только 12 совершили полеты в космическое пространство. Из них 5 человек летали по одному разу (Ю.А. Гагарин, Г.С. Титов, П.И. Беляев, Е.В. Хрунов, Г.С. Шонин), 5 человек – дважды (А.Г. Николаев, П.Р. Попович, В.М. Комаров, А.А. Леонов, Б.В. Волынов), а двое – трижды (В.Ф. Быковский и В.В. Горбатко).

В конце 1959 года было принято решение о создании в ВВС специального Центра для подготовки человека к космическому полету. В начале марта 1960 года первая группа кандидатов на космический полет вместе с семьями была собрана и временно размещена на Центральном аэродроме им. М.В. Фрунзе.

Первое занятие по общекосмической подготовке с этой группой кандидатов на полет, уже назначенных к тому времени на должности слушателей-космонавтов, состоялось 14 марта 1960 года.

Место для строительства тренажерной базы и жилья для космонавтов и обслуживающего персонала выбрали по Ярославской железной дороге между станциями Монино и Чкаловская. Ему дали название «Зеленый городок». Семьи космонавтов на время строительства переселили на Чкаловскую. С тех пор дом, в котором они жили, местные жители называют «Гагаринским».



Группа военных летчиков, прошедших все этапы медицинского обследования в Центральном авиационном госпитале (ЦНИАГ), 1960 год.
Слева направо: Ю.А. Гагарин, Г.Г. Нелюбов, Г.С. Титов, А.Г. Николаев, В.В. Горбатко, Е.В. Хрунов, А.А. Леонов, И.Н. Аникеев, П.Р. Попович
(фото из архива ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

До завершения создания своей тренажной базы космонавтам приходилось заниматься на лабораторных и исследовательских базах различных организаций ВВС и промышленности. Технических возможностей этих баз не хватало для одновременной подготовки всей группы слушателей-космонавтов. Поэтому тренировки начали шесть человек, в том числе Юрий Гагарин.

С ноября 1960 года все работы по освоению космоса, проводимые в ВВС, возглавил генерал-лейтенант авиации Н.П. Каманин. 6 января 1961 года главком ВВС К.А. Вершинин подписал приказ о назначении комиссии по приему выпускных экзаменов у первых шести слушателей-космонавтов (капитана В.Ф. Быковского, капитана А.Г. Николаева, капитана П.Р. Поповича, старшего лейтенанта Ю.А. Гагарина, старшего лейтенанта Г.Г. Нелюбова, старшего лейтенанта Г.С. Титова) и Н.П. Каманина – ее председателем.

Отбор и подготовка космонавтов шла параллельно с летными испытаниями космических кораблей, получивших название «Восток», и биологическими экспериментами. 10 августа 1960 года в космос на сутки летали собачки Белка и Стрелка, сорок мышей, две крысы, насекомые и растения. Они благополучно вернулись на Землю. 1 декабря вслед за ними отправился на орбиту третий корабль-спутник с собаками Пчелкой и Мушкой. При спуске на Землю этот корабль перешел на нерасчетную траекторию и должен был приземлиться вне территории Советского Союза. Корабль был оборудован системой аварийного подрыва. Такие системы ставили только на беспилотные объекты. Собаки к числу пилотов не относились. Корабль был подорван бортовой автоматикой, распознавшей ошибку в системе спуска. С.П. Королёв был очень огорчен, но приказал сообщить об этой неудаче будущим космонавтам и напомнить им, что гарантии безопасности полета в космос нет. Ни один из космонавтов от полета не отказался.



Группа будущих космонавтов на приеме у главнокомандующего ВВС
главного маршала авиации К.А. Вершинина, 1960 г.
Слева направо: В.В. Горбатко, Ю.А. Гагарин, А.А. Леонов, В.Ф. Быковский
(фото из архива ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

За 1960 год в нашей стране было проведено девять попыток космических пусков: две к Луне, две к Марсу и пять – по программе пилотируемых полетов.

Б.Е. Черток писал об этом: «Только в трех из девяти (попыток) мы вывели аппараты в космос и только в одном из девяти пусков можно считать выполненной предусмотренную программу без серьезных отклонений. Шесть неудач по вине ракет-носителей, одна по вине земного руководства и одна из-за дефекта в системе управления кораблем при торможении».

9 марта 1961 года один виток вокруг Земли удачно совершил корабль с собакой Чернушкой, морскими свинками, мышами и лягушками. В присутствии космонавтов 25 марта 1961 года также на один виток был запущен и успешно посажен корабль с собакой Звездочкой. «Звездочкой» ее назвали накануне пуска по предложению Юрия Гагарина. После двух удачных запусков кораблей «Восток» С.П. Королёв решил, что их надежность для запуска человека достаточна.

17 и 18 января 1961 года первая группа из шести космонавтов сдала экзамен на готовность к полету на космическом корабле «Восток». 25 января 1961 года главком ВВС К.А. Вершинин утвердил акт экзаменационной комиссии и подписал приказ о назначении первых шести космонавтов на штатные должности «космонавт» в ЦПК ВВС. В протоколе комиссии была сделана запись: «Комиссия рекомендует следующую очередность использования космонавтов в полетах: Гагарин, Титов, Нелюбов, Николаев, Быковский, Попович».

15 марта 1961 года состоялась встреча главкома ВВС К.А. Вершинина и генерал-полковника авиации Ф.А. Агальцова с шестью первыми космонавтами перед их отлетом на полигон. К.А. Вершинин высказал в их адрес напутственные слова. Космонавты единодушно заверили главкома в том, что они твердо уверены в успехе полета.

После прибытия космонавтов на полигон С.П. Королёв ознакомил их с ракетой-носителем и кораблем «Восток», находящимися в зале монтажно-испытательного корпуса полигона. Затем состоялось обсуждение с космонавтами

Бл. Экз. № А:

УЧЕБНАЯ КАРТОЧКА

слушателя-космонавта 1 отдела
ЦЕНТРА ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ВВС

старший лейтенант
(воинское звание)

Фамилия *Гагарин*
Имя *Юрий* Отчество *Алексеевич*
Год рождения *1934* Национальность *русский*
Партийность *Член КПСС с 1960 г.*
Образование: а/ общее: *индустриально-техническое - 1955 г.*
б/ военное: *исполнительское ВВАУЛ - 1957 г.*
В Советской Армии с *1955 г.* в ВВС с *1955 г.* в ЦПК с *7.03.1960 г.*
За период обучения сдал зачеты, экзамены и отработал
практические занятия, согласно утвержденной программы:

№ пп	Наименование дисциплины по учебному плану	Количество часов	Оценка
1	Марксистско-ленинская подготовка	46	Усвоил отлично
2	Основы космической и авиационной медицины	122	Загтеко
3	Ракетная и космическая техника	96	Отлично
4	Конструкция об"екта "ВОСТОК-ЗА"	89	Загтеко
5	Специальный курс астрономии	33	Отлично
6	Специальный курс геофизики	22	Хорошо
7	Специальный курс киносъемки	65	Отлично

№ пп	Практические занятия	Количество	Оценка /зачет/
1	Общезысическая подготовка	248 час.	Хорошо
2	Парашютная подготовка	36 пр.	Хорошо
3	Специальные полеты /условия невесомости/	4 пол.	Хорошо
4	Макет об"екта № 1 /п/я 651/	34 час.	Загтеко
5	Макет об"екта № 2 /п/я 12/	42 час.	Загтеко

Учебное дело космонавта Ю.А. Гагарина
(из архива ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

текста «Инструкции космонавту», в результате которого в нее было внесено несколько существенных поправок.

29 марта 1961 года состоялось заседание Комиссии Президиума Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам под руководством Д.Ф. Устинова, на котором было рассмотрено предложение главных конструкторов, доложенное С.П. Королёвым, о запуске человека на борту космического корабля «Восток». По результатам заседания Д.Ф. Устиновым было предложено решение: «Принять предложение главных конструкторов...».

3 апреля 1961 года комиссия под председательством Н.П. Каманина приняла экзамены у второй группы слушателей-космонавтов, в которую входили Е.В. Хрунов, В.М. Комаров, П.И. Беляев, Б.В. Вольнов, Г.С. Шонин, В.В. Горбатов, М.З. Рафиков, А.А. Леонов, В.И. Филатьев, И.Н. Анисеев, Д.А. Заикин.

В тот же день вопрос о полете человека в космос обсуждался на Президиуме ЦК КПСС. На вопрос Н.С. Хрущева: «У кого есть сведения, как поведет себя кос-

монавт уже в первые минуты полета, не будет ли ему очень плохо, сможет ли он сохранить свою работоспособность, выдержку и психическую уравновешенность?» С.П. Королёв ответил: «Космонавты подготовлены отлично, они знают корабль и условия полета лучше меня и уверены в своих силах».

4 апреля 1961 года главком ВВС К.А. Вершинин подписал удостоверения пилотов-космонавтов Ю.А. Гагарину, Г.С. Титову и Г.Г. Нелюбову. Он утвердил также акт выпускных экзаменов и подписал приказ о назначении на должности космонавтов Е.В. Хрунова, В.М. Комарова, П.И. Беляева, Б.В. Волюнова, Г.С. Шонина, В.В. Горбатко, А.А. Леонова, И.Н. Анিকেева.

6 апреля 1961 года председатель Государственной комиссии К.Н. Руднев поручил Каманину (ВВС) и Макарову (КГБ) отработать инструкцию по поведению космонавта в случае его посадки на иностранную территорию. В тот же день С.П. Королёв и президент Академии наук СССР М.В. Келдыш подписали задание космонавту на полет, в котором были указаны цели полета и действия космонавта при нормальном ходе полета и в особых случаях.

8 апреля 1961 года Государственная комиссия под председательством К.Н. Руднева утвердила предложение С.П. Королёва о выполнении первого в мире полета космического корабля «Восток» с космонавтом на борту 12 апреля 1961 года.

Н.П. Каманин в дневнике писал о своих размышлениях, кого послать первым в космический полет: Гагарина или Титова. В итоге комиссия, которой руководил Н.П. Каманин, по его предложению единогласно утвердила первым пилотом-космонавтом Ю.А. Гагарина, а запасным – Г.С. Титова.

Из дневника Н.П. Каманина:

«11 апреля. ...Юра сидит напротив меня и говорит: «Завтра лететь, а я до сих пор не верю, что полечу, и сам удивляюсь своему спокойствию». На мой вопрос: «Когда ты узнал, что полетишь первым?» он ответил: «Я все время считал мои и Германа шансы на полет равными и только после того, как вы объявили нам свое решение, я поверил в выпавшее на мою долю счастье совершить первый полет в космос».

Любопытный факт приводит В.И. Яздовский в своей книге «На тропах Вселенной»: «11 апреля вечером на космодроме услышали по радио, как диктор «Голоса Америки» объявил, что у русских осталось несколько часов до запуска первого человека в космический полет».

Из дневника Каманина:

«12 апреля 1961 года. Среда. Тюра-Там. Площадка № 2.

В 5:30 подняли Гагарина и Титова. В 6:00 состоялось короткое заседание комиссии: проверили готовность к пуску. Автобус с космонавтами должен прибыть на стартовую площадку в 8:50. Все космонавты и провожающие остаются у автобуса, до лифта Гагарина должны провожать Королёв, Руднев, я и Москаленко.

Намеченный порядок удалось соблюсти с трудом. Выйдя из автобуса, Юра и его товарищи немного расчувствовались и начали обниматься и целоваться. Вместо пожелания счастливого пути некоторые прощались и даже плакали – пришлось почти силой вырывать космонавта из объятий провожающих. У лифта я крепко пожал Юре руку и сказал: «До встречи в районе Куйбышева через несколько часов».

В своей книге «Дорога в космос» Юрий Гагарин писал:

«Небо выглядело чистым, и только далеко-далеко жемчужно светились перистые облака. Я глядел на ракету, на которой должен был отправиться в небыва-

лый рейс. Она была красива, красивее локомотива, парохода, самолета, дворцов и мостов, вместе взятых. Подумалось, что эта красота вечна и останется для людей всех стран на все грядущие времена. Передо мной было не только замечательное творение техники, но и впечатляющее произведение искусства.

Меня охватил небывалый подъем душевных сил. Всем существом своим слышал я музыку природы: тихий шелест трав сменялся шумом ветра, который поглощался гулом волн, ударяющихся о берег во время бури. Эта музыка, звучащая во мне, отражала всю сложную гамму переживаний, рождала какие-то необыкновенные слова, которые я никогда не употреблял раньше в обиходной речи.

Перед тем, как подняться на лифте в кабину корабля, я сделал заявление для печати и радио».

На площадке лифта перед входом в кабину корабля Юрию помогли снять чехлы с ботинок: в кабине должна быть абсолютная чистота. Помогли лечь в кресло. Продолжалась проверка систем ракеты-носителя. Гагарин начал проверку бортовых систем корабля. Звучит команда: «Закрывать люк!».

Люк закрыли, но на контрольных пультах не появился сигнал о его герметизации. Пришлось снова люк вскрывать. Когда стартвики заглянули в кабину, Юрий спросил их: «Что, искра потерялась?». Неисправность устранили быстро.

Связь с Гагариным поддерживали П.Р. Попович и С.П. Королёв. У Юрия был позывной «Кедр», у Земли – «Заря» – это УКВ-связь, и «Весна» – это связь на коротких волнах. Прошли пятидесятиминутная, пятнадцатиминутная, десятиминутная готовности. В расчетное время пошли предстартовые команды: «Ключ на старт!», «Протяжка-один!», «Ключ на дренаж!», «Зажигание!».

Запущены двигатели ракеты-носителя. Разливается над космодромом их могучий голос. Пошел отсчет последних секунд: пять, четыре, три, две... Предварительная ступень! Промежуточная! Подъем! Гагарин произнес: «Поехали!». Посмотрел на часы. Они показывали 9 часов 07 минут по московскому времени.

Так начинался полет в неизведанное, полет в будущее.

12 апреля 1961 года в 9 часов 07 минут по московскому времени состоялся старт первого в мире пилотируемого космического корабля, возвестившего всему миру о начале новой космической эры человечества. Пилотировал космический корабль «Восток-1» майор Гагарин Юрий Алексеевич.

После приземления Ю.А. Гагарин и генерал-полковник авиации Ф.А. Агальцов доложили из города Энгельса Н.С. Хрущеву, Л.И. Брежневу, К.А. Вершинину и другим руководителям о завершении полета.

За успешное выполнение первого в мире космического полета на корабле-спутнике «Восток» Указом Президиума Верховного Совета СССР от 14 апреля 1961 года майору Гагарину Юрию Алексеевичу было присвоено звание Героя Советского Союза.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 14 апреля 1961 года было введено почетное звание «Летчик-космонавт СССР» и учрежден специальный нагрудный знак «Летчик-космонавт СССР». Этому почетного звания первым был удостоен Ю.А. Гагарин, и ему 14 апреля 1961 года был вручен знак «Летчик-космонавт СССР» за номером 1.

Космонавт Г.С. Титов за дублирование полета Ю.А. Гагарина был награжден орденом Ленина, а весь личный состав «гагаринского» набора был награжден орденом Красной Звезды. Кроме того, была награждена большая группа специалистов Центра и ВВС, принимавших участие в подготовке первого полета человека в космос.

Трудно переоценить роль и масштабы этого события. Осуществление полета человека в космическое пространство открыло грандиозные перспективы покорения космоса человечеством.

Реакция всего мира была быстрой и единодушной. После сообщения ТАСС эфир наполнился восторженными откликами. «Советский Союз, впервые запустивший в 1957 году искусственный спутник Земли, первым достигший Луны в 1959 году, наконец, первым вернувший на Землю животных из космоса, только что дал миру своего Христофора Колумба космического пространства». Так передавали по радио французы. От них не отставали американцы, итальянцы, немцы, англичане.

Сергей Павлович Королёв на одной из встреч с журналистами сказал: «Гагарин доказал, на что способен человек – на самое большое... Он открыл людям Земли дорогу в неизведанный мир. Но только ли это? Думается, Гагарин сделал нечто большее – он дал людям веру в их собственные силы, в их возможности, дал стимул идти увереннее, смелее... Это – Прометеево деяние». В нашей стране всенародное ликование можно было сравнить только с празднованием Дня Победы в далеком 1945 году.



Ю.А. Гагарин во время визита в Польшу, 1961 г.

Гагарин был человеком будущего. В будущее был направлен его полет, его мысли, его планы. Про него хорошо сказал американский астронавт Армстронг: «Он всех нас позвал в космос». Другой американский астронавт, Фрэнк Борман, высоко оценивая достижения советской космонавтики, сказал, что, когда полетел Гагарин, он принял решение стать астронавтом. Гагарин был и остается первым в ряду капитанов космических кораблей.

По традиции, созданной Гагариным, пилотируемая космонавтика продолжает играть важную роль в поддержании и развитии международных связей России.

Важным и ценным было участие Юрия Алексеевича Гагарина в послеполетной обработке и практическом использовании полученных им информации и опыта. Герман Степанович Титов вспоминал в своей книге «Голубая моя планета», что он и Гагарин «вместе с конструктором, используя свою авиационную практику, создавали инструкции по технике пилотирования космических кораблей».

В преемственности мыслей и дел космонавтов, в их стремлении выполнять свою работу так же ответственно и успешно, как Юрий, – одна из сторон бессмертия первого человека Земли, вышедшего на космическую орбиту. Народы России всегда будут помнить и гордиться тем, что этим человеком был гражданин нашей страны – Юрий Алексеевич Гагарин.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гагарин Ю.А. Дорога в космос. – М., 1978.
- [2] Черток Б.Е. Ракеты и люди. – М., 1999.
- [3] Каманин Н.П. Скрытый космос. – М., 1995.
- [4] Герман Титов. Голубая моя планета. – М.: Военное издательство МО СССР, 1977.
- [5] Первый пилотируемый полет. Российская космонавтика в архивных документах. В 2-х книгах. ФКА. – М., 2011.
- [6] Всемирная энциклопедия космонавтики. В 2-х томах. – М., 2002.
- [7] Лончаков Ю.В. Центр подготовки космонавтов на пути инновационного развития (к 55-летию НИИЦПК имени Ю.А. Гагарина) // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(14). – 2015.
- [8] Курицын А.А., Крючков Б.И. Как отбирали в первый отряд космонавтов // Родина. – № 8. – 2012.
- [9] Этапы инновационного развития Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина / Лончаков Ю.В., Крючков Б.И., Курицын А.А. // Полет. – 2015. – Вып. 4.
- [10] Исследовательская деятельность космонавтов в длительных орбитальных полетах / Курицын А.А., Крючков Б.И., Усов В.М. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – Т. 46. – Вып. № 4. – 2012.
- [11] Эволюция системы подготовки космонавтов в СССР – Российской Федерации: от тренировки навыков к формированию профессиональной компетентности / Крючков Б.И., Сохин И.Г., Курицын А.А. // Вопросы истории естествознания и техники. – № 3. – 2012.
- [12] Яздовский В.И. На тропах Вселенной. Вклад космической биологии и медицины в освоение космического пространства. – М., 1996.
- [13] О Юрии Гагарине. Воспоминания и документы / Под ред. Ю.В. Лончакова. – Звездный городок, 2015.

**МАТЕРИАЛЫ ИЗ АРХИВА
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. ГАГАРИНА»**

Archive materials of the FSBO “Gagarin R&T CTC”



Б.В. Волынов (слева) и Ю.А. Гагарин
на занятиях по киноподготовке
на Медвежьих озерах, 1960 г.



Парашютная подготовка 1-го набора
в отряд космонавтов.
Слева направо: П.Р. Попович,
Ю.А. Гагарин, А.Г. Николаев



Парашютная подготовка 1-го набора в отряд космонавтов,
г. Энгельс, 1960 г.



Группа военных летчиков, прошедших все этапы медицинского обследования в Центральном авиационном госпитале (ЦНИАГ), 1960 год.
Слева направо: Г.С. Шонин, А.Г. Николаев, Е.В. Хрунов, В.В. Горбатко, И.Н. Аникеев, А.А. Леонов, Ю.А. Гагарин, Г.Г. Нелюбов, П.Р. Попович



Главный конструктор ракетно-космической техники С.П. Королёв (в центре), генерал-лейтенант авиации Н.П. Каманин (крайний справа) во время беседы с будущими космонавтами.
Слева направо: В.Ф. Быковский, П.Р. Попович, Ю.А. Гагарин, ОКБ-1, 1960 г.



Ю.А. Гагарин во время вращения
в кабине центрифуги в ЦНИАГе, 1961 г.



Ю.А. Гагарин во время тренировки
на тренажере космического корабля «Восток»
в Летно-исследовательском институте, 1961 г.



В.Ф. Быковский (слева) и Ю.А. Гагарин
на занятиях в ОКБ № 1, 1960 г.



Государственная комиссия утверждает Ю.А. Гагарина
первым пилотом-космонавтом космического корабля «Восток», 10 апреля 1961 г.



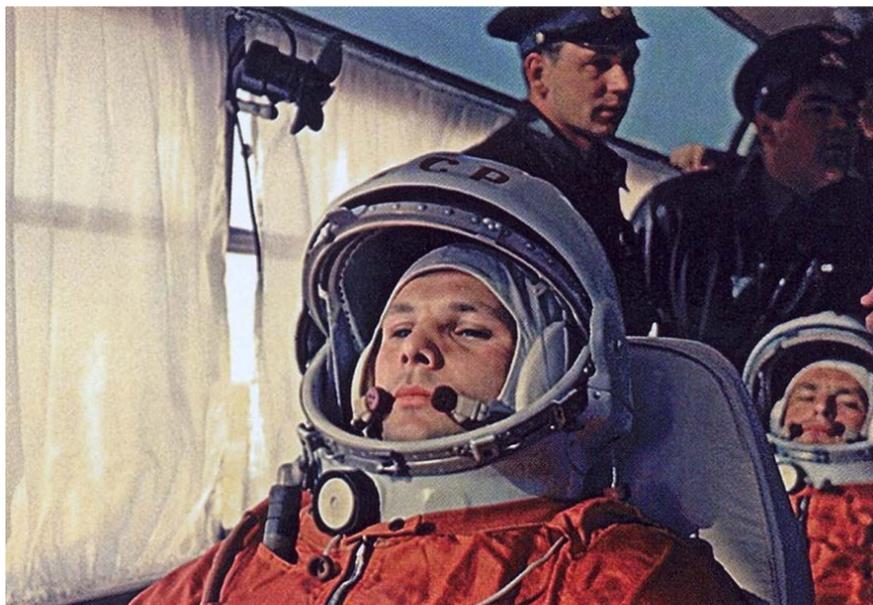
Ю.А. Гагарин во время примерки скафандра и ложемента



Ю.А. Гагарин перед стартом получает удостоверение космонавта



Ю.А. Гагарин перед стартом (надевание скафандра)



Ю.А. Гагарин и Г.С. Титов в автобусе по дороге на старт



С.П. Королёв прощается с Ю.А. Гагариным перед посадкой в корабль



Ю.А. Гагарин после успешного завершения космического полета,
12 апреля 1961 г.



Торжественная встреча после космического полета в Центре подготовки космонавтов
Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова, 1961 г.

В первом ряду слева направо: летчик-космонавт А.Г. Николаев,
заместитель начальника Центра Н.Ф. Никерясов, летчик-космонавт Г.С. Титов,
летчик-космонавт Ю.А. Гагарин, заместитель начальника Центра Г.Ф. Хлебников



Юрий Гагарин докладывает Н.С. Хрущеву о завершении космического полета.
Внуково, 14 апреля 1961 г.



Н.С. Хрущев и Ю.А. Гагарин на трибуне мавзолея В.И. Ленина, 1 мая 1961 г.

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-43/44 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА Г.И. Падалка

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ Г.И. Падалка
(Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-43/44 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз ТМА-16М» и Международной космической станции (МКС). Дается сравнительный анализ и оценивается вклад экипажа в общую программу космических полетов на МКС. Особое внимание уделяется проведению научно-прикладных исследований и экспериментов на борту станции. Даются замечания и предложения по совершенствованию российского сегмента (РС) Международной космической станции.

Ключевые слова: задачи подготовки экипажа, космический полет, Международная космическая станция, научно-прикладные исследования и эксперименты.

Main Results of the ISS-43/44 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. G.I. Padalka

The paper considers results of the ISS-43/44 expedition's activity aboard the «Soyuz-TMA-16M» transport spacecraft and ISS. Also, it presents the comparative analysis and estimation of the crew's contribution to the general ISS flight program. Particular attention is paid to implementation of scientific applied research and experiments aboard the station. Comments and suggestions to improve the ISS Russian Segment and cosmonaut training are given.

Keywords: tasks of crew training, spaceflight, International Space Station, scientific applied research and experiments.

Состав экипажа и основные результаты полета

Основной экипаж длительной экспедиции МКС-43/44:

Падалка Геннадий Иванович	командир ТПК «Союз ТМА-16М», бортинженер МКС-43, командир экспедиции МКС-44 (Роскосмос, Россия);
Корниенко Михаил Борисович	бортинженер ТПК «Союз ТМА-16М», бортинженер МКС-43/44/45/46 (Роскосмос, Россия);
Келли Скотт Джозеф	бортинженер-2 ТПК «Союз ТМА-16М», бортинженер МКС-43/44, командир экспедиции МКС-45/46 (НАСА, США).



Экипаж экспедиций МКС-43/44

Продолжительность космического полета Г.И. Падалки составила 168 суток: с 27 марта 2015 года по 12 сентября 2015 года. Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-16М» – «Альтаир».

Опыт полетов членов экипажа

Падалка Геннадий Иванович в отряде космонавтов с 25 января 1989 года. До назначения в экипаж выполнил 5 космических полетов. 1-й полет совершил в качестве командира ЭО-26 на ОК «Мир» длительностью 198 суток с августа 1998 года по февраль 1999 года; 2-й полет – с 19.04.2010 г. по 24.10.2004 г. в качестве командира МКС-9 и ТПК «Союз ТМА-4М» продолжительностью 187 суток; 3-й полет совершил с 26.03.2009 г. по 11.10.2009 г. в качестве командира МКС-19/20 ТПК «Союз ТМА-14М» продолжительностью 198 суток; 4-й полет совершил с 15.05.2012 г. по 17.09.2012 г. в качестве командира ТПК «Союз ТМА-М» продолжительностью 125 суток; 5-й полет совершил в период с 27.03.2015 г. по 12.09.2015 г. – экспедиция МКС-43/44. Продолжительность составила 168 суток. Налет за 5 полетов составил 878 дней 06 часов 36 минут 24 секунды. Количество выходов – 10, 1 – в разгерметизированный модуль «Спектр». Герой России. Летчик-космонавт-испытатель 1-го класса.

Корниенко Михаил Борисович в отряде космонавтов с января 1998 года. До назначения в экипаж совершил один космический полет в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-М» со 2 апреля 2010 года по 25 сентября 2010 года. Космонавт-испытатель Роскосмоса (Россия).

Келли Скотт Джозеф в отряде астронавтов НАСА с августа 1996 года. 1-й космический полет Келли выполнил в качестве пилота шаттла «Дискавери» STS-103; 2-й полет – на «Индеворе» в качестве пилота в 1999 году; 3-й полет – в октябре 2010 года на ТПК «Союз ТМА-М» продолжительностью 180 суток.

Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-16М» был произведен 27 марта 2015 года с космодрома Байконур (Казахстан).

Параметры орбиты выведения: период $T_{\text{КП}} = 22:42:57$; $T_{\text{КО}} = 22:51:46$ декретного московского времени (ДМВ). Параметры орбиты выведения: $T = 88,56$ мин, наклонение $i = 51,63$ град., высота $h \times H = 198,12$ км \times 231,75 км.

В космическом полете выполнены следующие основные работы:

- доставка экипажа экспедиции МКС-43/44 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 28 марта 2015 года ТПК «Союз ТМА-16М» в автоматическом режиме с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ2 ($T_{\text{М.З.}} = 04:33:41$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по 4-витковой схеме полета;
 - сближение американского грузового корабля многоразового использования SpaceX-6 «Dragon» с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 АС МКС, затяжка болтов выполнены 17 апреля 2015 года ($T_{\text{Оконч.затяжки}} = 17:40$ ДМВ);
 - расстыковка ТГК «Прогресс М-25М» от стыковочного узла СО1 проведена 25 апреля 2015 года ($T_{\text{расстыковки}} = 09:41$ ДМВ);
 - научные исследования и эксперименты в соответствии с программой НПИиЭ;
 - техническое обслуживание бортовых систем, ремонтно-восстановительные работы, дооснащение, проведение телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок, работы по программе символической деятельности;
 - расстыковка американского грузового корабля SpaceX-6 «Dragon» от надирного порта модуля Node2 АС МКС осуществлена 21 мая 2015 года. Время отделения от манипулятора станции – 14:04 ДМВ;
 - расстыковка ТПК «Союз ТМА-15М» от стыковочного узла МИМ1 и посадка выполнены 11 июня 2015 года. Время посадки СА – 16:43 ДМВ;
 - стыковка ТГК «Прогресс М-28М» к стыковочному узлу СО1 выполнена 5 июля 2015 года ($T_{\text{М.З.}} = 10:10:57$ ДМВ). Сближение грузового корабля проводилось по 4-витковой схеме полета;
 - стыковка ТПК «Союз ТМА-17М» к стыковочному узлу модуля МИМ1 осуществлена 23 июля 2015 года ($T_{\text{М.З.}} = 05:45$ ДМВ). Сближение пилотируемого корабля проводилось по 4-витковой схеме полета;
 - выход в космос ВКД-41 осуществлен 10 августа 2015 года из стыковочного отсека СО1, продолжительность выхода – 5 часов 31 минута. Выход выполнили космонавты Г. Падалка и М. Корниенко;
 - расстыковка ТГК «Прогресс М-26М» от АО СМ осуществлена 14 августа 2015 года ($T_{\text{расстыковки}} = 13:19$ ДМВ);
 - сближение японского грузового корабля НТВ-5 с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и установка корабля к надирной части модуля Node2 АС МКС выполнены 24 августа 2015 года ($T_{\text{ОкончаниязатяжкиболтовСВМ}} = 18:03$ ДМВ).
 - перестыковка ТПК «Союз ТМА-16М» с МИМ2 на АО СМ осуществлена 28 августа 2015 года ($T_{\text{стыковки}} = 10:30:21$ ДМВ);
 - стыковка ТПК «Союз ТМА-18М» к стыковочному узлу модуля МИМ2 произведена 4 сентября 2015 года ($T_{\text{М.З.}} = 10:39:03$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по 2-суточной схеме полета. Корабль доставил на борт МКС членов экспедиции посещения ЭП-18;
 - возвращение экипажа МКС-43/44/ЭП-18 на Землю, расстыковка и посадка ТПК «Союз ТМА-16М» выполнены 12 сентября 2015 года. Время расстыковки – 00:29:11 ДМВ, время посадки СА – 03:51:33 ДМВ.
- Состав экипажа корабля «Союз ТМА-16М» при выполнении спуска:
- Падалка Геннадий Иванович – командир корабля (Роскосмос, Россия);

- Могенсен Андреас – бортинженер (ЕКА, Дания);
- Аимбетов Айдын Аканович – бортинженер-2 (Казкосмос, Казахстан).

Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету основного экипажа МКС-43/44 в составе командира ТПК «Союз ТМА-16» Падалки Геннадия Ивановича, бортинженера Корниенко Михаила Борисовича и бортинженера Келли Скотта Джозефа проводилась с 1 октября 2013 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Основными задачами подготовки по МКС и ТПК «Союз ТМА-16М» являлись:

- подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз ТМА-16М»;
- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при управлении бортовыми системами и агрегатами ТПК на всех этапах полета (в штатных и нештатных ситуациях);
- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении сближения, причаливания, стыковки ТПК «Союз ТМА-16М» на все стыковочные узлы РС МКС;
- отработка навыков выполнения ручного управляемого спуска (РУС);
- отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РО-АК;
- отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РО-ДК;
- построение солнечной ориентации и закрутки ТПК в режимах РО-АК и РО-ДК;
- подготовка членов экипажа к действиям в случае срочного покидания МКС при разгерметизации и пожаре, токсичности атмосферы;
- отработка действий по выполнению срочного спуска с орбиты в случае покидания МКС;
- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении расстыковки ТПК с неориентированной и нестабилизированной МКС;
- подготовка экипажа к выполнению сближения и причаливания ТПК «Прогресс-М» на стыковочные узлы РС МКС в режиме ТОРУ;
- подготовка экипажа по контролю автоматического сближения и стыковке ТПК «Прогресс М» с МКС;
- подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-42/43, МКС-45/46/ЭП-18;
- подготовка экипажа к выполнению операций по консервации и расконсервации ТПК, операциям по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;
- подготовка членов экипажа к эксплуатации бортовых систем РС МКС (модули ФГБ, СМ, СО1, МИМ1, МИМ2);
- теоретическое ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладке снаряжения и личных вещей, возвращаемых на пилотируемых кораблях;
- подготовка к адаптации к факторам космического полета, отработка навыков оказания само- и взаимопомощи и эксплуатации бортовых медицинских средств;

- подготовка экипажа к выполнению программы научно-прикладных исследований и экспериментов на российском сегменте МКС, в том числе к выполнению медико-биологических исследований и экспериментов;
- подготовка по задачам внекорабельной деятельности в объеме типовых операций и по программе ВКД-41;
- отработка навыков, умений и взаимодействия экипажа в случае нештатной посадки в различных климатогеографических зонах.

Полет на борту транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-16М»

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-16М» был произведен 27 марта 2015 года с космодрома Байконур.



Старт корабля «Союз ТМА-16М»

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно, $T_{КП} = 22:42:57$; $T_{КО} = 22:51:46$ ДМВ.

В процессе предстартовой подготовки замечаний к работе бортовых систем не выявлено.

28 марта 2015 года на 3-м и 4-м витках полета выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ2 ($T_{М.З.} = 04:33:41$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по 4-витковой схеме сближения.

После стыковки экипаж выполнил контроль герметичности отсеков корабля, контроль герметичности стыка, ускоренное выравнивание давления между отсеками ТПК и МКС и открытие переходных люков. Выполнив консервацию транспортного корабля, экипаж завершил первый этап программы автономного полета ТПК «Союз ТМА-16М».

28 августа 2015 года экипаж ТПК «Союз ТМА-16М» выполнил перестыковку с узла модуля МИМ2 ($T_{РАССТЫК} = 10:12:38$ ДМВ) на АО СМ ($T_{СТЫКОВКИ} = 10:30:21$ ДМВ). Перестыковка осуществлена в режиме РО-ДК с дальностью облета 35–40 метров.

Проведена замена индивидуального снаряжения, взаимная переустановка ложементов БИ, БИ2 в ТПК «Союз ТМА-16М», «Союз ТМА-18М».

11 сентября 2015 года завершена программа полета на борту МКС в качестве члена экипажа экспедиции МКС-43/44 и членов экипажа ЭП-18, приступили к подготовке для возвращения на Землю в составе:

Падалка Геннадий Иванович	командир корабля (Роскосмос, Россия);
Могенсен Андреас	бортинженер (ЕКА, Дания);
Аимбетов Айдын Аканович	бортинженер 2 (Казкосмос, Казахстан).

На 11-суточном витке проведена расконсервация корабля. После разрешения ЦУПа в 21:13:00 выполнили закрытие переходных люков. Переход на автономное питание выполнен на 12-суточном витке по командной радиолинии в 21:10:00 ДМВ. На этом же витке провели проверку герметичности переходных люков.

Подготовка к расстыковке проводилась по штатной программе полета. На 13-суточном витке после перехода в СА и закрытия люка СА-БО приступили к проверке герметичности скафандров и люка СА-БО. Проверка герметичности скафандров и люка прошли без замечаний.

Расстыковка выполнена 12 сентября 2015 года на 14-суточном витке в автоматическом режиме в дежурной ориентации МКС с последующим двухимпульсным отводом. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 00:27:30 ДМВ, время фактической расстыковки – 00:29:11 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-суточном витке в 01:59:40 ДМВ, посадка – на 1-суточном витке. По указанию ЦУПа в 02:44:00 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 02:59:07 ДМВ. Двигатель работал штатно, отработал тормозной импульс 128,0 м/с без замечаний. Разделение отсеков прошло в 03:25:59 ДМВ.



Посадка экипажа МКС-43/44 в Казахстане

Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +5 секунд. Максимальная перегрузка – 4,3 единицы. Посадка осуществлена 12 сентября 2015 года в 03:51:33 ДМВ в расчетной точке с координатами 47° 21' с.ш., 69° 38' в.д.

Специалисты ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе. Работа по эвакуации экипажа началась непосредственно после приземления. Аппарат находился горизонтально, купол парашюта погашен.

В процессе замены ложементов, комплектов ТЗК и «Форелей» выпал предохранитель «РМ2 БО» на панели пульта космонавтов «Нептун-МЭ». Аналогичная ситуация повторилась после посадки в процессе эвакуации экипажа из СА.

Полет на борту МКС

В качестве члена экипажа экспедиции МКС-43/44 Г.И. Падалка работал на борту МКС 167 суток с 28 марта 2015 года по 12 сентября 2015 года. На российском сегменте МКС выполнил обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем МКС, программу научных исследований и экспериментов, провел ремонтно-восстановительные работы, большое количество телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок.



Мониторинг эксплуатационных систем

Для продолжения дальнейшей эксплуатации МКС в пилотируемом режиме на российском сегменте выполнены следующие основные работы по материально-техническому обслуживанию систем и ремонтно-восстановительные работы:

- мониторинг состояния поверхности элементов конструкции корпусов РС с использованием многофункционального вихретокового прибора (МВП-2К);
- наддув атмосферы МКС кислородно-азотной смесью средствами ТК «Прогресс М-25М», «Прогресс М-26М»;
- измерения по выявлению причин появления посторонних звуков при работе СОСБ СМ;

- корректировка показаний газоанализатора ИК0501 по каналу кислорода;
- профилактика механизмов герметизации крышки люка АСП-О АО СМ и крышки люка ТПК «Союз ТМА-16М»;
- измерения потока воздуха на блоках 800А и приборов ПТАБ с помощью анемометра;
- перекачка урины из ЕДВ-У РС и солевого раствора из ЕДВ-АС в бак БВ2 системы «Родник» ТГК «Прогресс М-28М» и пролив водой из ЕДВ;
- диагностика работы ноутбука RSS1 в связи с его нештатной работой;
- замена неисправного блока вакуумных клапанов системы «Воздух»;
- замена контейнера аппаратуры «Курс-П» в ФГБ;
- замена регуляторов тока РТ-50-1М № 4 и № 11 СЭП СМ;
- замена блока 800А (А-71) в ФГБ;
- замена датчика дыма ИДЭ-3 системы пожаротушения в СО1;
- ремонтно-восстановительные работы беговой дорожки БД-2 в СМ;
- замена блока колонок блока кондиционирования воды в СРВ-К2М.

Выполнены основные работы по дооснащению РС МКС доставленным оборудованием:

- установка обновления ПО на файловый сервер FS1;
- установка ПО версии 4.1 на бортовой ноутбук RSE-med;
- установка преобразователя напряжения ПН28-120 в СМ для подключения зарядных устройств видеоаппаратуры;
- установка модифицированных запоминающих устройств СЗУ-ЦУ8 телеметрической системы ФГБ.

В процессе работ по связям с общественностью проводились видеосъемки приветствия Воздушно-десантных войск по случаю 85-летия со дня образования, приветствия участникам конкурса «Открытый космос», ТВ-поздравления участников торжественного заседания, посвященного 20-летию деятельности российско-американской совместной комиссии по МКС, поздравления сотрудников отделения космических систем жизнеобеспечения ОАО «НИИхиммаш» с 50-летним юбилеем со дня основания отделения, приветствия участников 16-й Всероссийской Олимпиады «Созвездие» и другие поздравления. Был проведен ТВ-сеанс экипажа с Патриархом Московским и всея Руси Кириллом. Выполнены работы по программе символической деятельности.

28 апреля 2015 года состоялся старт транспортного грузового корабля «Прогресс М-27М». В соответствии с программой полета планировалась стыковка с МКС к модулю СО1 по 4-витковой схеме. В момент ожидаемого контакта отделения от третьей ступени ракеты-носителя «Союз 2.1А» зафиксирована частичная потеря телеметрии. Параметры орбиты корабля не соответствовали расчетным. Не получено подтверждение о раскрытии некоторых элементов конструкции. Зафиксирована закрутка ТГК «Прогресс М-27М» с угловой скоростью 90 град/с. Зафиксирована негерметичность топливной магистрали комбинированной двигательной установки ТГК «Прогресс М-27М». В течение суток предпринимались попытки погасить угловую скорость вращения и построения ориентации с использованием топлива системы дозаправки (СД). Попытки успехом не увенчались в связи с негерметичностью топливных магистралей. Топливо СД израсходовано полностью. Стыковка грузового корабля с МКС не выполнена.

8 мая 2015 года в 05:04 мск. на 160-м витке ТГК «Прогресс М-27М» вошел в плотные слои атмосферы. Точка падения несгоревших элементов конструкции: 9,3°ю.ш. 152,2°з.д. в районе Тихого океана, 900 км западнее Маркизских островов.

28 июня 2015 года в 17:21 ДМВ был осуществлен старт грузового корабля SpaceX-7 «Dragon» с мыса Канаверал штата Флорида. На 140-й секунде полета на высоте ~45 км произошел взрыв ракеты носителя «Falcon-9» и разрушение корабля с падением обломков в Атлантический океан.

В ходе полета выполнялись следующие динамические режимы:

- стыковка американского грузового корабля SpaceX-6 «Dragon»;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-25М»;
- расстыковка американского грузового корабля SpaceX-6 «Dragon»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-15М»;
- стыковка ТГК «Прогресс М-28М»;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-17М»;
- расстыковка ТГК «Прогресс М-26М»;
- стыковка японского грузового корабля HTV-5;
- перестыковка ТПК «Союз ТМА-16М» с МИМ2 на АО СМ;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-18М»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-16М».

В процессе экспедиции экипажем выполнены работы по стыковке, разгрузке, укладке удаляемого оборудования и расстыковке грузовых кораблей.

Совместный полет с другими экипажами МКС

Во время полета проводились совместные работы с экипажами МКС-42/43, МКС-44/45, МКС-45/46/ЭП-18.

С 28 марта 2015 года по 11 июня 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-42/43 в составе:

- Шкаплеров Антон Николаевич (бортинженер МКС-42/43, Роскосмос, Россия);
- Кристофоретти Саманта (бортинженер экспедиции МКС-42/43, ЕКА, Италия);
- Вёртс Терри Уэйн (бортинженер МКС-42, командир экспедиции МКС-43, НАСА, США).

С 23 июля 2015 года по 12 сентября 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-44/45 в составе:

- Кононенко Олег Дмитриевич (бортинженер экспедиции МКС-44/45, Роскосмос, Россия);
- Юи Кимия (бортинженер МКС-44/45, ДжАКСА, Япония);
- Линдгрэн Челл (бортинженер МКС-44/45, НАСА, США).

С 4 сентября 2015 года по 12 сентября 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-45/46/ЭП-18 в составе:

- Волков Сергей Александрович (бортинженер МКС-45/46/ЭП-18);
- Могенсен Андреас (бортинженер ЭП-18, ЕКА, Дания);
- Аимбетов Айдын Аканович (участник космического полета ЭП-18, Казкосмос, Казахстан).

Внекорабельная деятельность

10 августа 2015 года во время полета экспедиции МКС-43/44 был выполнен один выход в открытый космос ВКД-41 из стыковочного отсека (СО1) «Пирс» в скафандрах «Орлан-МК». Продолжительность выхода составила 5 ч 31 мин. Расчетное время работы в открытом космосе – 6 ч 28 мин. Выход совершили космонавты Г.И. Падалка и М.Б. Корниенко из состава экспедиции МКС-44.

Время открытия выходного люка стыковочного отсека (СО1) «Пирс» – 17:19 ДМВ, закрытие – в 22:50 ДМВ.



Работа в открытом космосе

Целевые задачи выхода:

- установка двух мягких поручней на РО БД СМ (II и IV плоскость);
- чистка стекла иллюминатора № 2 по IV плоскости;
- установка крепежных элементов на антеннах WAL1-WAL5 антенно-фидерного устройства (АФУ) межбортовой радиолнии (МБРЛ) на РО МД СМ;
- замена антенны WAL6 АФУ МБРЛ по II плоскости РО МД СМ с последующим отбросом демонтированного транспортно-установочного устройства (ТУУ) с выходного устройства;
- фотографирование научной аппаратуры КЭ «Expose-R» (экспонирование образцов органических и биологических материалов в условиях открытого космоса), установленной на УРМ-Д II плоскости РО БД СМ;
- демонтаж датчика поверхностных свойств приборов (ДП-ПМ) плазменно-волнового комплекса ПВК-1 КЭ «Обстановка» (исследование в поверхностной зоне МКС плазменно-волновых процессов взаимодействия сверхбольших космических аппаратов с ионосферой) и возвращение в СО1;
- проведение КЭ «Тест» (экспериментальное исследование возможности развития микродеструкции термодетекторов РС МКС под действием осаждения агрессивных продуктов) – взятие проб-мазков с поверхности солнечной батареи по IV плоскости, панели радиатора на РО МД СМ по IV плоскости и в районе дренажных клапанов системы СОА «Воздух» в СКО «Электрон»;
- фотографирование и видеосъемка штутцера СКО «Электрон» на ПхО по IV плоскости;
- фотографирование и изменение ориентации блока контроля давления и осадений загрязнений (БКДО) на модуле МИМ2: поворот на 90 градусов – ука-

зательная стрелка на приборе направлена в сторону АС МКС перпендикулярно продольной оси МИМ2;

– мониторинг состояния внешних поверхностей и фотографирование элементов конструкции РС МКС.

Особенности выхода:

– впервые за время эксплуатации МКС в процессе шлюзования организация резервного шлюзового отсека ПХО осуществлялась после работ в космосе за 30 минут до закрытия выходного люка;

– О.Д. Кононенко оказывал помощь экипажу ВКД на этапе прямого и обратного шлюзования.

Выполнение программы научно-прикладных исследований и экспериментов

В ходе полета выполнялись научные исследования, эксперименты и работы по российской программе научно-прикладных исследований и экспериментов.

Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса:

– КПТ-21 (ТЕХ-20) «Плазменный кристалл» (этап 1б);

– ТХН-9 «Кристаллизатор».

Исследование Земли и космоса:

– ИКЛ-2 «БТН-Нейтрон» (автомат*);

– ГФИ-1 «Релаксация»;

– ГФИ-8 «Ураган»;

– ГФИ-11 «Обстановка» (включая ВКД-41);

– ГФИ-19 «Сейсмопрогноз»;

– ДЗЗ-17 «Напор-мини РСА» (замена ПО на БЗУ-М, очистка вентиляционных отверстий БЗУ-М);

– КПТ-22 «Экон-М».

Человек в космосе:

– МБИ-13 «Спланх»;

– МБИ-25 «Пародонт-2»;

– МБИ-26 «Мотокард»;

– МБИ-27 «УДОД»;

– МБИ-29 «Иммуно»;

– МБИ-30 «МОРЗЭ»;

– МБИ-31 «Кардиовектор»;

– МБИ-33 «Биокард» (помощь);

– МБИ-34 «Космокард»;

– МБИ-35 «Альгометрия»;

– МБИ-36 «Контент»;

– МБИ-37 «Пилот-Г»;

– МБИ-38 «Взаимодействие-2»;

– МБИ-39 «ДАН»;

– МБИ-40 «Перемещение жидкостей» - «Fluid Shifts» (помощь);

– МБИ-41 «Нейроиммунитет» (помощь);

* – эксперимент выполняется без участия космонавтов

- МБИ-42 «Коррекция»;
- БИО-14 «Биосигнал»;
- РБО-3 «Матрешка-Р»;
- работы с дозиметром «Пилле-МКС».

Эксперименты НАСА, выполняемые российским космонавтом в рамках годовой медицинской программы:

- ГМП-3 «Ocular Health» – «Здоровье органов зрения» (помощь);
- ГМП-5 «Sleep Monitoring» – «Мониторинг сна»: извлечение данных из устройства Actiwatch Spectrum на ISS12 и формирование конфигурации для продолжения сбора данных (помощь).

Космическая биология и биотехнология:

- БИО-2 «Биориск» (пассивное экспонирование);
- БИО-19 «Феникс» (пассивное экспонирование);
- БТХ-26 «Каскад»;
- БТХ-39 «Асептик»;
- БТХ-42 «Структура» (фото);
- БТХ-45 «Биопленка» (фото);
- БТХ-50 «Константа-2».

Технологии освоения космического пространства:

- ТЕХ-10 «Эпсилон-НЭП» (пассивное экспонирование);
- ТЕХ-14 «Вектор-Т» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);
- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-33 «Контроль»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС» (автомат);
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-65 «Контур-2» (помощь по Task List);
- ТЕХ-62 «Альбедо» (автомат);
- ТЕХ-64 «Пробой»;
- КПП-2 «Бар»;
- КПП-24 «Тест» (ВКД-41).

Образование и популяризация космических исследований:

- ОБР-7 «О Гагарине из космоса»;
- КПП-10 «Кулоновский кристалл».

Контрактные эксперименты:

- КНТ-36 «Expose-R» (включая ВКД-41).

Эксперименты, выполняемые в соответствии с протоколом НАСА – Роскосмос от 18 июля 2013 года:

- АСР-5 «Микробиологический мониторинг»;
- АСР-6 «OASIS»;
- АСР-7 «Rodent» (ознакомление с операциями).

Работы по программе УКП ЭП-18:

– гостевой набор питания «Дастархан-6» (обед и заполнение опросника).

Научные эксперименты в период полета экипажа МКС-43/44 выполнялись на основании «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период сорок третьей и сорок четвертой пилотируемых экспедиций МКС-43 и МКС-44».

Всего 57 КЭ, из них 8 – без участия экипажа.

Новые эксперименты:

- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-35 «Альгометрия»;
- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- МБИ-40 «Перемещение жидкостей» – «Fluid Shifts»;
- МБИ-41 «Нейроиммунитет»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- БТХ-50 «Константа-2»;
- АСР-6 «OASIS».

Предложения и замечания по научной аппаратуре и научным экспериментам, замечания и предложения по информационному обеспечению и планированию, замечания и предложения по общим вопросам подробно изложены в экспресс-отчете экипажа о выполнении программы космического полета.

Заключение

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета экипажа длительной экспедиции МКС-43/44, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Уровень подготовленности экипажа МКС-43/44 по транспортному кораблю «Союз ТМА-16 М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.
2. Полет экипажа МКС-43/44 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами.
3. Высказанные командиром экипажа предложения и замечания в ходе послеполетного разбора имеют важное значение и подлежат тщательному анализу. Заинтересованным организациям целесообразно использовать замечания для совершенствования космической техники, повышения качества подготовки космонавтов и деятельности экипажа в ходе выполнения программы полета, организации работы персонала ГОГУ.

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-43/44
(ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ)**

В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова

Докт. мед. наук, профессор В.В. Богомолов (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)
Канд. мед. наук В.И. Почуев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)
Канд. мед. наук И.В. Алферова (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

В статье представлены результаты медицинского обеспечения полета экипажа МКС-43/44. Дается краткая характеристика функционирования систем медицинского обеспечения полета и поддержания стабильности среды обитания космонавтов на РС МКС. Подведены итоги выполнения рекомендаций медицинских специалистов, программы медицинского контроля и использования бортовых средств профилактики нарушения состояния здоровья космонавтов в полете.

Ключевые слова: медицинское обеспечение, медицинский контроль, система профилактики, среда обитания, режим труда и отдыха.

Medical Support of the ISS-43/44 Crew Members (Express Analysis).**V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-43/44 expedition and gives a brief description of operation of the medical support system and maintaining the stability of human environment aboard the ISS RS. Besides, the paper sums up results of implementing medical recommendations, program of medical monitoring and the use of onboard means designed to prevent the alteration of cosmonauts' health status in spaceflight.

Keywords: medical support, medical monitoring, preventive system, human environment, work-rest schedule.

Выполнение программы полета

Старт экипажа ТПК «Союз ТМА-16М» № 716 в составе КК Геннадия Ивановича Падалки, БИ Михаила Борисовича Корниенко и БИ-2 Скотта Келли состоялся 27.03.15 г. в 22:42 ДМВ. После выполнения маневров сближения была проведена стыковка ТПК № 716 с МКС в автоматическом режиме 28.03.15 г. в 04:33 ДМВ по короткой 4-витковой схеме. После открытия переходного люка (ОПЛ) прибывший экипаж перешел на станцию. По прибытии на МКС функции БИ-1 были возложены на космонавта Г. Падалку, БИ-2 – на космонавта М. Корниенко и БИ-3 – на астронавта С. Келли.

Космонавты провели консервацию ТПК № 716, инструктаж по безопасности, а также занимались сушкой скафандров. После завершения работ на станции всем космонавтам было предоставлено время для отдыха и сна с 08:30 GMT 28.03.15 г. до 06:00 утра 29.03.15 г. продолжительностью 21,5 часа. Кроме того, 29.03.15 г. экипажу был запланирован полный день отдыха и 30.03.15 г. – полдня отдыха. В эти дни космонавтам планировались небольшие по объему работы. У БИ-1 время на выполнение работ увеличивалось на 1,5–2 часа за счет выполнения дополнительных работ по разгрузке ТПК № 716.

По оценке специалистов группы медицинского обеспечения (ГМО) режим труда и отдыха (РТО) экипажа ТПК «Союз» в первые сутки полета был напряженным в связи с выполнением сложной и ответственной динамической операции по стыковке. Общее время работы в этот день с момента старта, с учетом времени

работ в ТПК и на станции, составило у КК (БИ-1) 10 часов 55 минут, у БИ-2 – 9 часов 35 минут, период бодрствования, после отдыха (сна) на Земле до отхода ко сну на МКС составил 20,5 часа. По данным врача экипажа от 31.03.15 г. сон у БИ-1 составил 5–7 часов, у БИ-2 – 7–8 часов. По оценке космонавтов сон был достаточным.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» прибывшему экипажу с 30.03.15 г. стали планировать время по 1 часу на адаптацию и ознакомление со станцией за счет сокращения рабочей зоны.

В последующие дни пребывания на станции БИ-1 и БИ-2, в основном, занимались переносом грузов из ТПК № 716, выполнением технических операций, подготовкой и проведением научных экспериментов и другими работами. Рабочая нагрузка космонавтам планировалась в пределах 5 часов 30 минут. В отдельные дни время на выполнение рабочих операций увеличивалось на 20–25 минут в связи с планированием научных экспериментов по американской программе. Кроме того, БИ-1 периодически выполнял дополнительные работы по укладке грузов в ТПК № 424 и эксперименты по программе Task List, включая и выходные дни.

С 14.04.15 г. (3-я неделя) рабочая зона у БИ-1 была увеличена до нормативных величин – 6,5 часа. Космонавты занимались отбором проб воздуха, фотографированием блоков, размещенных за панелями ФГБ, научными экспериментами и другими работами. Время на работы у БИ-1 увеличивалось на 30–60 минут за счет выполнения им экспериментов по Task List.

На 4-й неделе космонавты продолжили работы на станции в штатном режиме сна–бодрствования. В связи с возникшими недостатками в планировании специалистами ГМО в адрес руководства полетом была направлена информация о том, что в выходные дни БИ-2 и БИ-1 планируют сразу после подъема проведение экспериментов по американской программе, что не дает возможности космонавтам подольше поспать в дни отдыха. На 6-й неделе экипажу были запланированы 3 дня отдыха. Третий день отдыха планировался в связи с Праздником Весны и Труда. Космонавты эти дни, в основном, использовали для отдыха, а также для выполнения небольших по объему работ (эксперименты по Task List и др.).

В период 7–8-й недель полета (06–19.05.15 г.) БИ-4 продолжил укладку возвращаемых грузов на ТПК № 715, а БИ-1 и БИ-2 занимались выполнением текущих работ на станции. Расстыковка и посадка экипажа ТПК № 715 планировалась на 13–14.05.15 г. В связи с тем, что стыковка ТПК № 426 с МКС по техническим причинам не состоялась, руководством Роскосмоса и руководством полета было принято решение о продлении полета экипажа ТПК № 715 (МКС-42). Программа полета подверглась определенной корректировке, дата посадки ТПК № 715 перенесена на 11.06.15 г. На план работы экипажа МКС-43 это не повлияло.

На 9-й неделе полета (20–26.05.15 г.) были отмечены следующие особенности РТО экипажа. 20.05.15 г. БИ-1 по просьбе Земли проводил ночные работы по фото- и видеосъемке Мирового океана. 20 и 21.05.15 г. РТО российского и американского экипажей планировался раздельным в связи с расстыковкой SpX-«Dragon» в ночное время. Российский экипаж участия в работах по расстыковке не принимал.

На 12-й неделе (10–16.06.15 г.) в связи с предстоящей расстыковкой ТПК № 715 экипаж работал в условиях измененного РТО. В ночь на 10.06.15 г. сон планировался в штатное время. Затем всем космонавтам было предоставлено время для дневного (вечернего) отдыха, продолжительностью 8 часов (с 15:30 до 23:30 GMT). Расстыковка ТПК № 715 проведена 11.06.15 г. в 13:20 ДМВ, посадка

СА – в 16:44 ДМВ. 10.06.15 г. на станции были проведены передача смены по РС, а также церемония передачи командования, в результате функции КЭ МКС были возложены на космонавта Г. Падалку. Оставшимся на станции космонавтам после посадки экипажа ТПК № 715 было предоставлено время для отдыха и сна общей продолжительностью 16 часов.

В последующие дни космонавты продолжили работы на станции в штатном режиме сна–бодрствования. В выходные дни КЭ и БИ-2 дополнительно к плановым работам выполняли эксперименты по программе Task List, на что затрачивали по 30–60 минут. К существенным переработкам это не приводило. Космонавты работали в соответствии с циклограммами суток. В условиях штатного РТО экипаж работал на протяжении 13-й и 14-й недель полета.

На 15-й неделе (01–07.07.15 г.) в связи со стыковкой ТГК № 428 РТО экипажа был изменен. Перед стыковкой ТГК 04.07.15 г. сон планировался со сдвигом влево на 3 часа. Стыковка проведена штатно 05.07.15 г. (воскресный день) в 10:11 ДМВ в автоматическом режиме. После стыковки, ОПЛ и разгрузки срочных грузов космонавтам было предоставлено время для отдыха продолжительностью 11,5 часа.

На 18-й неделе полета проведена стыковка ТПК № 717 23.07.15 г. в 05:45 ДМВ/02:45 GMT. По завершении работ на станции всем космонавтам было предоставлено время для отдыха и сна с 09:30 до 06:00 GMT утра 24.07.15 г. продолжительностью 20,5 часа. Согласно плану КЭ и БИ-2 с 24.07.15 г. приступили к подготовке к предстоящей ВКД. Во время подготовки космонавты работали строго в соответствии с детальными планами суток. По завершении этапа подготовки КЭ и БИ-2 07.08.15 г. провели тренировку в СК, которая прошла штатно без замечаний.

Перед ВКД экипажу планировался один полный день отдыха и второй отдых – полдня с выполнением небольших работ по уточнению циклограммы ВКД. Сон планировался продолжительностью 9 часов. 10.08.15 г. КЭ и БИ-2 выполнили операцию «Выход» (ВКД-41), время ВКД составило 5 часов 31 минуту. Во время «Выхода» космонавты работали с опережением графика. Во время проведения ВКД БИ-4 оказывал помощь КЭ и БИ-2 при надевании снаряжения и в ходе обратного шлюзования. Программа ВКД выполнена в полном объеме. По завершении ВКД всем космонавтам было предоставлено время для сна с 02:00 до 10:30 GMT (11.08.15 г.) продолжительностью 8,5 часа.

В день проведения ВКД рабочая нагрузка у КЭ составила 14,5 часа, у БИ-2 – 14 часов 50 минут, период бодрствования – 19,5 часа. В последующие дни после ВКД космонавты проводили заключительные операции со СК, укладкой оборудования и инструментов на хранение, приведением РС МКС в исходное состояние после ВКД и другие работы. Рабочая нагрузка в этот период была в пределах нормативных величин. Особых отклонений РТО от планов не отмечалось, кроме одного эпизода, когда в ночь на 12.08.15 г. в связи с возникшей НшС на АС (отказ электропитания и циркуляции воздуха) космонавты оказывали помощь американским коллегам в устранении возникшей ситуации. Поэтому 12.08.15 г. подъем экипажа МКС по рекомендации ЦУПа-Х был на 2 часа позже, т.е. в 08:00 GMT. В последующие дни космонавты продолжили работы в штатном режиме.

На 23-й неделе после проведенной подготовки КЭ, БИ-2 и БИ-3 выполнили перестыковку ТПК № 716 с МИМ2 на АО СМ. Экипаж успешно провел операцию по перестыковке ТПК.

В связи с завершением полета и согласно требованиям «Основных правил и ограничений» рабочая зона у КЭ с 29.08.15 г. была сокращена на 1 час с целью предоставления ему времени по 1 часу на подготовку к возвращению. 02.09.15 г. экипажу был запланирован день отдыха, так как в последующий период с приходом экипажа МКС-45, ЭП-18 возможности для выделения выходных дней КЭ до конца полета не было.

04.09.15 г. после 2-суточного автономного полета на ТПК № 718 была проведена стыковка ТПК «Союз» с МКС в 07:42 GMT/10:42ДМВ. Для обеспечения проведения стыковки ТПК 03 и 04.09.15 г. экипаж МКС-44 работал в условиях измененного РТО. 03.09.15 г. сон российскому экипажу планировался со сдвигом влево на 3 часа (сон с 18:30 до 03:00 GMT). Стыковка ТПК № 718 проведена 04.09.15 г. в 10:42 ДМВ штатно. После стыковки и окончания работ на станции космонавтам было предоставлено время для отдыха с 18:00 до 06:00 GMT 05.09.15 г. продолжительностью 12 часов. 05.09.15 г. на станции была проведена церемония передачи командования: функции КЭ МКС были возложены на астронавта Келли Скотта, а функции БИ-7 – на космонавта Г. Падалку. Кроме того, с приходом нового экипажа функции БИ-1 были возложены на космонавта С. Волкова, БИ-ЭП – на Андреаса Могенсена и УКП-ЭП – на Айдына Аимбетова. Таким образом, начиная с 04.09.15 г. состав экипажа МКС увеличился до 9 человек.

В период совместного полета с ЭП-18 КЭ/БИ-7 в основном занимался подготовкой и укладкой возвращаемых грузов на ТПК № 716, подготовкой к возвращению на Землю (тест СУД ТПК, а также выполнил тренировку по спуску на ТПК и др.).

Перед расстыковкой ТПК-716 в ночь на 11.09.15 г. сон был запланирован с 21:30 до 09:00 GMT продолжительностью 11,5 часа. Днем 11.09.15 г. КЭ/БИ-7 продолжил укладку срочных грузов в ТПК «Союз». По завершении укладки грузов в 00:29 ДМВ была проведена расстыковка ТПК № 716 от МКС. Посадка СА осуществлена 12.09.15 г. в 03:51 ДМВ. Таким образом, 169-суточный полет был завершен.

Характеристика состояния работоспособности членов экипажа в условиях принятого в полете режима труда и отдыха (РТО)

Общее полетное время КЭ составило 169 суток, из которых планировались 119 рабочих и 50 дней отдыха. Фактически, по сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, у КЭ было 22 полноценных (полных) дня отдыха, когда время работы не превышало двух часов, 19 неполных дней отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от двух до четырех часов.

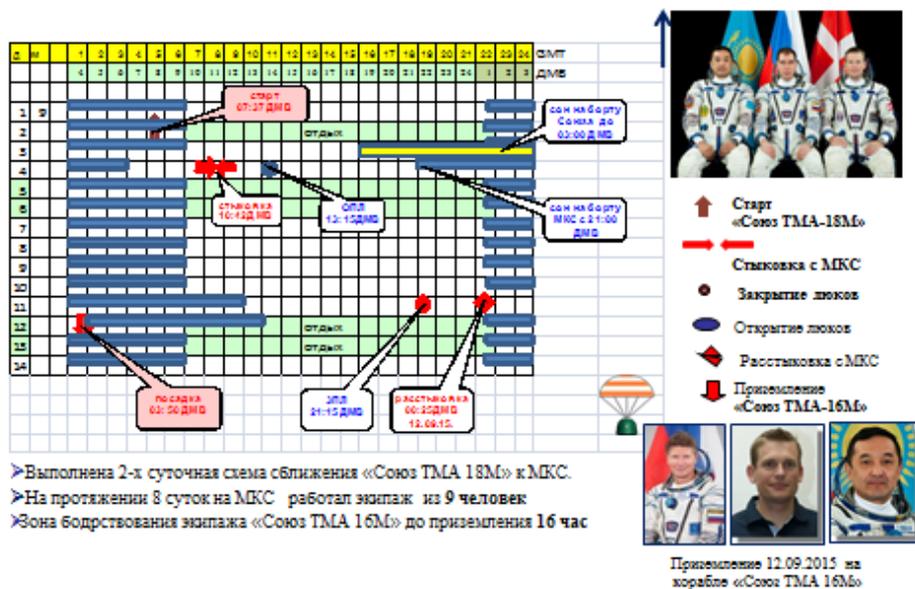
На работы по программе Task List в дни отдыха КЭ планировалось 72 часа, фактически на эти работы он затратил 54 часа 40 минут. Общее время работ в дни отдыха с учетом работ по Task List у КЭ составило 133 часа. За весь полет на выполнение дополнительных работ, включая Task List, по инициативе экипажа, по указанию Земли и сверх плана на планируемые рабочие операции КЭ затратил 157 часов, что, практически, равноценно 24 рабочим дням при плановой рабочей нагрузке 6,5 часа в день.

По прибытии на станцию КЭ практически сразу вошел в рабочий ритм. Предоставление экипажу в первые две недели времени по 1 часу на адаптацию и ознакомление со станцией было очень полезным, так как отдельные системы изменяются, важно было во всем разобраться.

Во время полета отмечались эпизоды работы экипажа в условиях измененного РТО (сдвиги сна на 5–5,5 часа, ночные операции) в связи со стыковками или расстыковками кораблей. Эти операции КЭ переносил нормально, проблем не возникало. При выполнении этих операций РТО для российского и американского экипажей планировался раздельным. По оценке КЭ такое планирование устраивало космонавтов и воспринималось положительно. Во время полета сон у КЭ, в среднем, составлял порядка 6 часов. Спать ложился около полуночи. В дни отдыха КЭ дополнительно к плановым работам занимался разгрузкой ТГК.

РТО экипажа по своей структуре и рабочей нагрузке, в основном, соответствовал требованиям нормативных документов и оценивался как штатный и, по мнению космонавта, способствовал выполнению программы полета в полном объеме.

Несмотря на напряженный режим работы космонавта в отдельные периоды и дни полета, КЭ вполне успешно справлялся с полетным заданием. Отличительной особенностью деятельности КЭ были высокая активность и профессионализм при выполнении плановых и дополнительных работ во время полета. Успешному выполнению программы полета во многом способствовали большой опыт, профессионализм, оптимальная организация работ на станции, разумное взаимодействие и взаимопомощь российских космонавтов, работающих на станции, а также настрой на своевременное и в полном объеме выполнение программы полета.



Режим труда и отдыха на старте экипажа МКС-45/46 и на заключительном этапе полета экипажа МКС-43/44

Состояние здоровья и медицинское обеспечение членов экипажа в полете

По данным радиопереговоров и докладам КК самочувствие членов экипажа транспортного корабля «Союз ТМА-16М» № 716 во время выведения и орбитального полета было хорошим.

Выведение, автономный полет ТПК «Союз ТМА-16М» и стыковку с МКС экипаж перенес хорошо. Сонливости и утомления не было. Перегрузки на выведении соответствовали ожидаемым. Организм сразу «вспомнил» невесомость. Симптомов болезни движения не было, даже не было необходимости ограничивать движения головой. Симптомы перераспределения жидкости к голове были невыраженными. Изделием «Браслет-М» не пользовался. На выведении и во время автономного полета использовал корректирующие очки.

При входе на станцию вестибулярных расстройств не было. После выполнения предписанных после стыковки работ и приема пищи спал около 5 часов, пока наземные службы не разбудили его для проведения срочных работ в корабле, после этого поспал еще 2 часа.

Начальный этап острого периода адаптации к невесомости протекал благоприятно.

По докладам врача экипажа жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Самочувствие и настроение были хорошие. Сон спокойный, без пробуждений. РТО расценивал как штатный, ритм работы комфортный.

08.08.15 г. перед ВКД жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Подготовку к ВКД проводил по плану, к выполнению ВКД-41 был полностью готов. Подгонку скафандра считал оптимальной. Врачом экипажа было сделано напоминание: во время ВКД строго следовать рекомендациям подгруппы МОВ в отношении отдыха и теплорегуляции, а также о симптоматике декомпрессионных расстройств и действиях при их появлении. Медицинских противопоказаний к выполнению ВКД-41 не было.

11.08.15 г. (на следующий день после ВКД-41) доложил, что самочувствие «отличное», аминов и потертостей нет; отметил, что ему было комфортно: «не мерз и не перегревался».

Полностью удовлетворен выполнением программы ВКД. Использовал пластырь на те места кистей, которые испытывали повышенную нагрузку при тренировках в скафандре. Тепловые ощущения оставались комфортными на протяжении всего выхода. Во время шлюзования перепады давления переносил хорошо. Симптомов декомпрессионных расстройств не было.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

Санитарно-гигиеническую обстановку на станции КЭ оценивал как комфортную. Для защиты слуха использовал индивидуальные беруши Etymotics. Ежедневно экипаж проводил плановую уборку станции.

При отборах проб воздуха пробоотборником ИПД-ННЗ в СМ аммиак не обнаруживался.

В связи с отсутствием на борту МКС пробоотборников ИПД-СО, для ежемесячного контроля содержания углекислого газа в атмосфере РС МКС использовались результаты замеров газоанализатором CMS (проводимых группой СОЖ) – рСО не превышало ПДК (<5 ppm).

В сеансах радиосвязи КЭ сообщал, что на сетках вентилятора в МИМ1 много пыли.

Во время автономного полета воспользовался одной из «санитарных временных зон» для перехода в БО. На МКС средств личной гигиены было достаточно. Спал в правой каюте СМ (4 плоскость), использовал спальный мешок.

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра колебалось в пределах 743–768 мм рт. ст.

Параметры микроклимата были в нормальных пределах за исключением температуры воздуха (эпизодически в некоторых местах на станции на нескольких витках превышала нормальные величины) и пониженной относительной влажности воздуха.

Экипаж иногда отмечал, что в большом диаметре СМ было жарко, особенно когда кто-то выполнял тренировки на ВБ-3М и БД-2.

Экипаж активно принимал меры по поддержанию температурного режима в большом диаметре СМ. Например, рекомендовал в случае планирования работ по эксперименту «Fluid Shift» в СМ с «Чибисом» при полете МКС по солнечной орбите в этот день провести локомоторные тренировки для российских членов экипажа на Т-2, или, по крайней мере, для БИ-4, незадействованного в эксперименте. В распоряжении экипажа имелся портативный вентилятор, который использовался практически ежедневно.

Повышение температуры воздуха в основном отмечалось в периоды «солнечной» орбиты станции. Для снижения температуры воздуха в СМ СОТР переводилась в максимальный режим работы: включались в параллельную работу КОХ1 и КОХ2; РРЖ1 и РРЖ2 перенастраивались с 14 °С на 10 °С.

Жалоб на сухость воздуха от экипажа не поступало. Для оптимизации влажностного режима периодически отключалась СКВ в РС.

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента: БМП, СРВ-К2М, СКВ-1, СОА «Воздух», СКО «Электрон-ВМ»; УОВ «Поток 150 МК» в СМ и ФГБ включались ежедневно на 6 часов.

Периодически проводились наддувы станции кислородом, воздухом и азотом из ТГК.

Питание и водопотребление

На всем протяжении полета замечаний от экипажа в сеансах радиосвязи не поступало.

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа аппетит был хороший, водопотребление в норме.

Отмечал, что в рацион питания вносят разнообразие доставленные на ТПК черная икра и свежие фрукты (яблоки, апельсины).

В июне отметил, что в имеющихся российских рационах питания не хватает каш и овощных блюд.

23.06.15 г. для внесения большего разнообразия в рацион, БИ-3 предоставил российским космонавтам 4 американских контейнера с питанием.

Результаты акустических измерений

Акустические замеры проводились по общему уровню (L_a , дБА) и уровням звукового давления (L , дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 63–8000 Гц в контрольных точках (КТ) вдоль продольной оси Х СМ и в местах сна членов экипажей. В ФГБ экипаж выполнил замеры в районе ПГОЗ сразу после люка между ГА и ПГОЗ.

В СМ:

– на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню звука составили 1,3–6,5 дБА, с максимальным значением в КТ11 (район ПрК);

– в каютах имели место превышения уровня звука на 1,7 и 2,0 дБА, с максимальным значением в правой каюте.

В ФГБ в районе ПГОЗ сразу после люка между ГА и ПГОЗ превышение допустимого значения по общему уровню звука составило 8,8 дБА.

Экипажу давались рекомендации:

1. Использовать средства индивидуальной защиты от шума в период работы, особенно в местах расположения шумящего оборудования и в районе снятых панелей.

2. На период сна в каютах СМ необходимо закрывать двери, а также использовать средства индивидуальной защиты от шума (беруши и/или наушники с активным шумоподавлением).

30.06.15 г.–01.07.15 г. (95–96 сутки полета МКС-43) проводилось определение индивидуальной шумовой нагрузки за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров.

Анализ полученных данных по экипажу МКС-43/44 показал, что шумовая нагрузка у российских космонавтов превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) за дневной период на 12,0–14,9 дБА, а за ночной период – на 1,3 дБА.

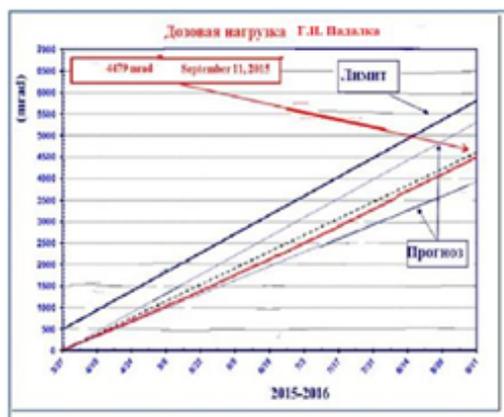
Экипажу давались соответствующие рекомендации.

Радиационная обстановка в РС МКС

За время полета РО внутри станции в основном оставалась спокойной. Значения накопленной поглощенной дозы за полет у Г. Падалки не превышали допустимые значения доз, определенных согласно Flight Rules В 14.2.2-12 и ГОСТ 25645.215-85. Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры «Дозиметр «ПИЛЛЕ-МКС».

Пространственное поле распределения дозовых нагрузок в СМ сохранялось.

Наименьшая мощность поглощенной дозы регистрировалась в каюте служебного модуля РС, за панелью 447 и в СМ в районе рабочего стола. Все датчики находились в работоспособном состоянии. Значения измеренной мощности поглощенной дозы оставались в пределах, установленных полетными правилами (Flight Rules В 14.2.2-12).



Дозиметр Пилле



Дозиметр Р-16

Для каждого члена ЭП-18 (Mogensen и Aimbetov) накопленная доза за полет составила 275 мрэд за КП



ЦДЗ-МКС

Результаты радиационного мониторинга МКС

Система профилактики в полете

29.03.15 г. Г. Падалке планировалось ознакомление с оборудованием и процедурами выполнения ФУ на ARED. 30 и 31.03.15 г. выполнил по одной ознакомительной тренировке на БД-2 и ВБ-3М, замечаний к работе велотренажера не было.

В начале полета протестировал все тренажеры для физических тренировок, за исключением ARED. На Т2 провел короткую ознакомительную сессию. Для тренировки использовал ТНК, предварительно подогнав его. О притяге ТНК отзывался положительно.

С 01.04.15 г. физические тренировки планировались по российской программе, два раза в день (периодически блоком) общей продолжительностью 2,5 часа на БД-2 и ВБ-3М/ARED с чередованием.

23.06.15 г. сообщил, что, после выхода из строя его ТНК (номер 01), подогнал новый ТНК с номером 02 и использует его для тренировок на БД-2. Предлагал специалисту разобрать порвавшийся ТНК для установления причины выхода костюма из строя. Фотографии этого ТНК отправил в ГМО ГОГУ.

30.06.15 г. доложил, что в дни отдыха провел электромиостимуляцию с использованием комплекта «Стимул НЧ»; провел две электромиостимуляционные тренировки мышц спины и ног (1 час 20 минут и 2 часа) и отметил хороший результат тренировок: мышцы хорошо «проработались», появилось приятное ощущение тренированных, «забитых» мышц.

22.07.15 г. (117 сутки полета) КЭ выполнил локомоторную пробу МО-3 на дорожке БД-2. Временные характеристики и структура теста полностью соответствовали требованиям бортовой документации. Физиологическая стоимость на всех ступенях бега была ниже, чем в предполетном тестировании. Физиологическая стоимость медленного бега снизилась по сравнению с предполетным тестированием на 9,9 %, среднего бега – на 7,4 %, быстрого бега – на 4,5 %. По сравнению с предыдущим полетным тестированием физиологическая стоимость нагрузки на всех ступенях бега увеличилась: физиологическая стоимость медленного бега увеличилась на 6,1 %, среднего бега – на 5,1 %, быстрого бега – на 8,1 %.

Уровень физической работоспособности КЭ был оценен как хороший.

С 11.08.15 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов планировались двухразовые тренировки на беговой дорожке (БД-2/*Т2) с заменой через день одного занятия тренировкой на ARED.

(*30.08.15 г.–02.09.15 г. в связи с неисправностью БД-2).

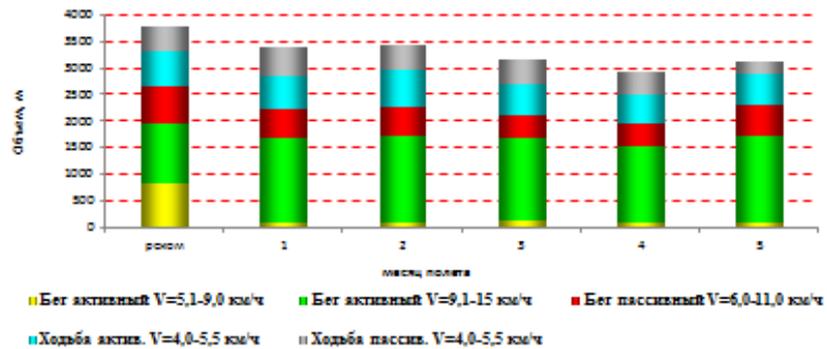
ОДНТ-тренировки не планировались.

Профилактическое изделие «Браслет-М» не использовал.

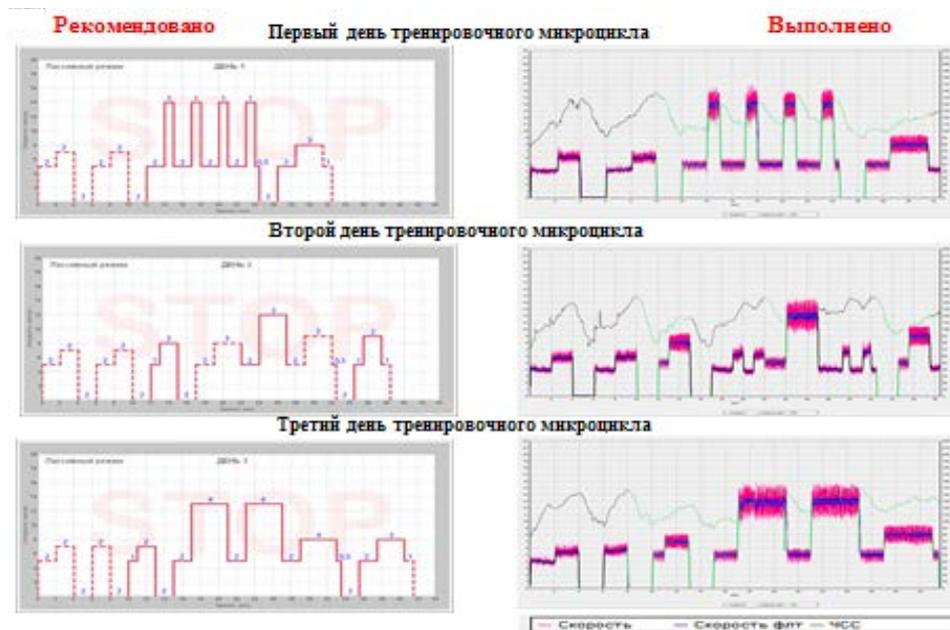
Периодически (27–28.06.15 г., 02 и 03.07.15 г.) использовал изделие Стимул НЧ.

Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» проведена 27.08.14 г. без замечаний.

29.08.15 г. экипаж сообщил о неисправности БД-2: «Проблема с беговой дорожкой, с одним притягом, с правым, он на грани разрыва, бегать нельзя, надо менять. Оплетка истерлась в одном месте так, что видны корды, а в другом около десятка лопнувших кордов». Тренировки на БД-2 были запрещены. Российские космонавты после инструктажа, проведенного БИ-3, использовали для тренировок беговую дорожку Т2.



Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку КЭ MKC-43/44



Локомоторные тренировки на тредмиле КЭ MKC-43/44

01.09.15 г. проводились РВР тренажера БД-2, но восстановить его работоспособность не удалось. 02.09.15 г. проведена работа по натягу шнура на внутренние ролики системы притяга. Работоспособность системы притяга была восстановлена, БД-2 допущена к дальнейшей эксплуатации. КЭ отметил: «...притяг работает прекрасно и сейчас равномерно и левая и правая стороны...».

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа, на протяжении всего полета физические тренировки выполнял в полном объеме в соответствии с формой 24.

МБИ-30 МОРЗЭ: 26.05.15; 27.05.15; 30.07–01.08.15; 30–31.08.15.
МБИ-31 «Кардиовектор»: 02.04.15; 01.06.15; 29.06.15.
МБИ-34 «Космокард»: 01-02.04.15; 06-07.05.15; 01-02.06.15; 29-30.06.15; 05-06.08.15.
МБИ-35 «Альгометрия»: 10.04.15; 12.05.15; 08.06.15; 09.07.15; 12.08.15; 06.09.15.
МБИ-36 «Контент»: 04.04.15; 18.04.15; 02.05.15; 16.05.15; 30.05.15; 13.06.15; 27.06.15; 11.07.15; 25.07.15; 08.08.15; 22.08.15.
МБИ-37 «Пилот-Т»: 08.07.15 Установка ПО версии 4.1 на бортовой лэптоп RSE-Med; 14.07.15; 04.08.15; 20.08.15; 03.09.15.
МБИ-38 «Взаимодействие-2»: 11.04.15; 25.04.15; 09.05.15; 23.05.15; 06.06.15; 20.06.15; 04.07.15; 18.07.15; 01.08.15; 15.08.15; 29.08.15; 06.09.15.
МБИ-39 «ДАН»: 14.04.15; 13.05.15; 15.06.15; 17.07.15; 18.08.15.
МБИ-42 «Коррекция».

Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-43/44 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа МКС-43/44 свидетельствовали об адекватных физиологических реакциях и достаточных функциональных резервах организма как в ходе полета, так и на завершающем его этапе.

ГМО ГОГУ, Многосторонняя интегрированная медицинская группа (SMOT и IMG) и полетные врачи контролировали планирование и реализацию медицинских операций.

Программа медицинского контроля, медицинских операций и научных медико-биологических исследований выполнена в запланированном объеме.

Психологический климат в экипаже на протяжении всего полета был позитивный.

В целом полет выполнен без медицинских проблем. Замечания и предложения экипажа приняты к реализации.

Уровень предполетной подготовки экипажа был достаточным и адекватный задачам полета.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

NODE 2 – модуль станции
TVIS – американская беговая дорожка (тредмил виброизолирующая система)
АСУ – ассенизационно-санитарное устройство
ВБ-3М – велоэргометр бортовой
ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера
ОДНТ – отрицательное давление на нижнюю часть тела
СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности
СОГС – средства обеспечения газовой среды
СТР – система теплорегуляции
ФГБ – функциональный грузовой блок

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.785:338

ПИЛОТИРУЕМАЯ ЛУННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ПОЛЕТОВ К ЛУНЕ

С.К. Крикалёв, О.А. Сапрыкин

Герой Советского Союза, Герой Российской Федерации, летчик-космонавт СССР, канд. психол. наук С.К. Крикалёв; канд. техн. наук О.А. Сапрыкин (ЦНИИмаш, г. Королёв)

Представлено 19 сценариев построения перспективной космической инфраструктуры, обеспечивающей три начальных фазы освоения Луны человеком (так называемой «пилотируемой лунной инфраструктурой»), в которых рассмотрено использование 23 космических средства. Предлагаемые сценарии проанализированы как с точки зрения решения задач освоения Луны, формируемых государственным заказчиком, так и с точки зрения возможности коммерциализации полетов к Луне. Преимущества и недостатки сценариев формализованы, даны оценки соответствующих численных показателей, методики расчетов. Показано, что эффективность задач освоения Луны логически и технически связана с перспективой коммерциализации космических полетов к Луне. Рациональные решения, продиктованные изучением и освоением Луны, можно рассматривать и как рациональные с точки зрения реализации коммерческих проектов – прежде всего, с точки зрения привлечения коммерческих инвестиций в дорогостоящие лунные миссии на рассматриваемых начальных этапах освоения. В свою очередь, в процессе исследования не были выявлены сценарии – эффективные с точки зрения коммерческого заказчика, но неэффективные с точки зрения государственного заказчика. Это означает возможность раннего привлечения к освоению Луны негосударственных коммерческих организаций. Даны предложения по рациональному составу и размерности космических средств, обеспечивающих пилотируемые полеты на трех основных фазах освоения Луны – для фазы орбитальных окололунных полетов, для фазы высадки человека на поверхность Луны и для фазы строительства на Луне посещаемой базы. Работа выполнена с привлечением финансирования Минобрнауки России по прикладным научным исследованиям и экспериментальным разработкам (ПНИЭР RFMEFI57815X0141).
Ключевые слова: пилотируемые полеты, Луна, коммерциализация космических полетов, типовые миссии, фазы освоения Луны, робототехнические комплексы, луноход, космические средства, трудоемкость, эффективность.

Manned Lunar Infrastructure and Commercialization of Flights to the Moon. S.K. Krikalev, O.A. Saprykin

The paper discusses 19 scenarios of the creation of future space infrastructure to ensure three initial phases of lunar exploration (so-called manned lunar infrastructure), which examine the use of 23 space facilities. Proposed scenarios were analyzed both in terms of solving the tasks of lunar exploration, defined by a government customer and in terms of possibility to commercialize flights to the Moon. Advantages and disadvantages of the scenarios are formalized; assessments of the relevant numerical values and of the calculation methodology are given. It is shown that the efficiency of tasks of lunar exploration is logically and technically related to the prospects of commercializing lunar exploration. Ef-

efficient solutions dictated by the research and exploration of the Moon can be regarded also as rational from the standpoint of implementing commercial projects – first of all from the standpoint of attracting investment in costly lunar missions during the initial phases of lunar exploration discussed here. In turn, the research did not reveal scenarios that are efficient from the standpoint of a commercial customer and are inefficient from the standpoint of a government customer. It means that non government commercial organizations can be involved in lunar exploration at the initial stages. The paper presents proposals on rational content and dimension of space facilities ensuring manned missions on three main phases of lunar exploration: the phase of lunar orbital flights, the phase of landing a human on the Moon's surface, and the phase of building a manned lunar base. Work was performed with attracting financing of applied scientific research and experimental developments by the Russian Ministry of Education and Science (ПНИЭР RFMEEI57815X0141).

Keywords: manned missions, Moon, commercialization of space missions, standard missions, phase of lunar exploration, robotic complexes, lunar rover, space facilities, laboriousness, efficiency.

I. Цели полетов к Луне

Освоение Луны является мультизадачным процессом, в ходе которого достигается совокупность различных целей – как связанных между собой, так и обособленных. Обозначим наиболее существенные из этих целей.

1. Детальное исследование Луны как природного объекта.
2. Изучение возможностей использования Луны для изучения Вселенной (внеатмосферная астрономия и т.д.).
3. Изучение природных ресурсов Луны с точки зрения возможности использования в интересах отдельных стран и человечества в целом.
4. Апробация новых технологий межпланетной и напланетной транспортировки человека, а также технологий создания обитаемых объектов в глубоком космосе (в том числе и с использованием внеземного вещества).
5. Демонстрация полетов человека к другой планете (в том числе и на ее поверхность) на регулярной основе как главного фактора коммерциализации лунных пилотируемых и автоматических миссий.

Цели № 1, 2 не относятся напрямую к вопросам коммерциализации космических полетов. Это область интересов научных коллективов, имеющих, как правило, государственное либо спонсорское финансирование от негосударственных фондов.

Три остальные цели потенциально предполагают коммерциализацию полетов к Луне, поскольку:

для цели № 3: изучение природных ресурсов Луны означает возможность обретения на последующих стадиях развития полезных веществ (минералов, воды, газов) в пространстве за пределами Земли, что может иметь прямую экономическую (в том числе и коммерческую) выгоду. Так, например, уже сегодня известны огромные месторождения титана, алюминия, железа на наблюдаемой поверхности Луны, на полюсах найдена вода, известна ториевая аномалия на обратной не наблюдаемой с Земли стороне Луны;

для цели № 4: апробация новых технологий на Луне – это возможность на практике продемонстрировать создание предельно удаленных обитаемых объектов, робототехнических комплексов различного назначения, автономных энергетических систем, транспортных систем нового поколения, компактных и высокоэффективных систем медицинского обеспечения и т.д. Коммерциализация такого рода достижений – очевидное следствие достижения заявленной цели в конкретных миссиях к Луне;

для цели № 5: регулярность полетов, их безаварийность напрямую ведет к снижению рисков последующих полетов, созданию устойчиво функционирующей транспортной инфраструктуры и, следовательно, является важным положительным фактором привлечения частного капитала в космонавтику.

Каждая цель может быть достигнута различными способами, различными средствами, иногда специфичными. Например, детальное исследование Луны как природного объекта может быть достигнуто, большей частью, и без непосредственной высадки человека на ее поверхность, с использованием автоматических средств (луноходов, роботов, автоматических буровых установок и т.д.). Цели № 4, 5 предполагают обязательное участие в экспедициях человека, что, в свою очередь, требует привлечения финансирования, в 100 раз превышающего стоимость миссий с использованием автоматических средств.

Вопрос о стратегии освоения Луны сводится, таким образом, к определению последовательности, в которой необходимо достигать перечисленные цели, а также к оптимизации типовых миссий на каждом этапе освоения.

II. Показатель комплексирования целей

Задачи в миссиях, как правило, сочетаются. Поэтому при анализе каждой типовой миссии необходимо использовать характеристику комплексирования целей в рамках одной миссии. Формализовать данную характеристику можно следующим образом.

Вариант 1. Предполагается, что цели №№ 1...5 равнозначны.

В данном случае для i -й типовой миссии показатель комплексирования целей, достигаемых в рамках миссии, может быть представлен выражением:

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^5 a_{ij}}{5}, \quad (1)$$

где a_{ij} – показатель применимости i -й миссии для достижения j -й цели.

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если цель миссией не достигается,} \\ 0,5, & \text{если частичное достижение цели в рамках миссии} \\ & \text{возможно,} \\ 1, & \text{если цель миссией достигается.} \end{cases} \quad (2)$$

Однако предположение о равнозначности целей является слишком грубым для того, чтобы его использовать в реальном долгосрочном планировании. Освоение – длительный процесс, его продолжительность применительно к Луне может составить многие десятки лет, возможно, столетий. На каждом этапе освоения существуют свои приоритеты при определении целей полетов. Поэтому предлагается рассмотреть более общее выражение, учитывающее различия в текущих приоритетах полетов к Луне.

Вариант 2. Цели №№ 1...5 неравнозначны и зависят от времени.

В данном случае для i -й типовой миссии в момент времени t показатель комплексирования целей, достигаемых в рамках миссии, может быть представлен выражением:

$$K_i(t) = \frac{\sum_{j=1}^5 (b_j(t) \times a_{ij})}{\sum_{j=1}^5 b_j(t)}, \quad (3)$$

где $b_j(t)$ – весовой коэффициент j -й цели в момент времени t .

Если $K_i(t) = 1$, это означает, что данная i -я миссия, реализованная во время t , обеспечивает достижение всех названных целей. Чем меньше показатель $K_i(t)$ ($K_i(t) \geq 0$), тем более миссия специализирована под конкретные цели. При $K_i(t) = 0$ миссия не имеет смысла, поскольку не обеспечивает решение ни одной из поставленных целей.

III. Типовые миссии полетов человека к Луне

Количество вариантов полетов человека на Луну на базе имеющихся и перспективных (на ближайшее будущее) технологий достигает несколько сотен. Например, в процессе подготовки данной статьи было проанализировано более 100 вариантов. Для формализации их описания необходимо систематизировать – типизировать миссии полетов человека к Луне. Типовая миссия четко идентифицируется номенклатурой космических средств, используемых в рамках единичного полета. Технические характеристики космических средств могут варьироваться в зависимости от особенностей типовой миссии. Например, энергетические возможности пилотируемого корабля существенно зависят от наличия межорбитального буксира. Таким образом, типовая миссия – это описание последовательности полетных операций, выполняемых определенным набором космических средств, характеристики которых не привязаны к конкретным проектным разработкам, определены лишь предварительно (на уровне проектно-баллистического, энергетического, ресурсного анализа) и могут быть в дальнейшем оптимизированы.

Варианты типовых миссий во многом зависят от стадии освоения Луны и определяются готовностью космических средств и космической инфраструктуры в целом. Рассмотрим три этапа освоения Луны:

1. Фаза «Орбита». Это облеты Луны и полеты человека на окололунную орбиту.

2. Фаза «Вылазка». Эта фаза предполагает полеты человека на Луну с кратковременным пребыванием его на поверхности без использования стационарных строений на Луне.

3. Фаза «База». На этой фазе полеты человека на Луну предполагают использование стационарных строений на Луне. За счет этого продолжительность пребывания человека может быть увеличена до нескольких месяцев.

Эти известные в среде специалистов этапы (фазы) могут рассматриваться в качестве временного фактора t , обозначенного в формуле (3). Соответственно можно обозначить t_1 – как фазу 1, t_2 – как фазу 2, t_3 – как фазу 3.

Примеры наиболее актуальных типовых миссий (ТМ) этапов 1, 2, 3 приведены в таблице 1. Для формирования ТМ рассмотрены следующие космические средства:

1. Пилотируемый корабль для полетов к Луне – ПК-Л.

2. Пилотируемый корабль-буксир для полетов к Луне, сочетающий функции и пилотируемого корабля, и межорбитального (межпланетного) буксира – ПК-Л(б).

3. Коммерческий пилотируемый корабль для полетов на орбитальные околоземные станции и для полетов на низкие околоземные орбиты (НОО) – КПК НОО. В данном рассмотрении предполагается, что данный корабль теоретически может быть использован в лунной миссии при определенных доработках, однако такое решение не может рассматриваться как совершенствование технологии межпланетного перелета либо как демонстрация возможности коммерциализации полетов на Луну.

Таблица 1

Привлекаемые космические средства	Фаза 1 «Орбита»						Фаза 2 «Вылазка»						Фаза 3 «База»						
	ТМ 1	ТМ 2	ТМ 3	ТМ 4	ТМ 5	ТМ 6	ТМ 7	ТМ 8	ТМ 9	ТМ 10	ТМ 11	ТМ 12	ТМ 13	ТМ 14	ТМ 15	ТМ 16	ТМ 17	ТМ 18	ТМ 19
ПК-Л		1	1				1		1		1			1		1			
ПК-Л (6)				1	1			1		1		1			1		1	1	1
КПК НОО	1					1							1						
ОС НОО						1							1						
ОС НЛО		1			1		1	1	1				1	1				1	1
ОС ВЛО			1	1					1						1				
СВ ТК	1		1		1				1				7						
СВ СК						5							1						
СВ СТК (50)			1																
СВ СТК (80)		1		1			2			2				3	2			1	
СВ СТК (130)					1			2	1						1			2	
СВ СТК (160)										1	1					2	2		2
МОБ (10)	1					4													
МОБ (20)													6						
МОБ (50)			1																
МОБ (60)		1					2							3					
МОБ (100)					1				1	1						2			2
ЛВПК							1		1		1	1	1	1		1	1	1	1
ЛВПК (6)								1		1					1				
ЛПК														1		1			1
ЛПК (6)															1		1	1	
МЛБ														1	1	1	1	1	1
РБ (60)				1				2		2		1			3		2	3	

4. Околоземная обитаемая станция (ОС) на НОО – ОС НОО.
5. Обитаемая станция на низкой окололунной орбите (НЛО) – ОС НЛО.
6. Обитаемая станция на высокой окололунной орбите (ВЛО) – ОС ВЛО.
7. Средство выведения тяжелого класса (для выведения от 15 до 50 тонн полезного груза) – СВ ТК.
8. Средство выведения среднего класса (для выведения от 5 до 15 тонн полезного груза) – СВ СК.
9. Средство выведения сверхтяжелого класса (для выведения 50 тонн полезного груза) – СВ СТК(50).
10. Средство выведения сверхтяжелого класса (для выведения 80 тонн полезного груза) – СВ СТК(80).
11. Средство выведения сверхтяжелого класса (для выведения 130 тонн полезного груза) – СВ СТК(130).
12. Средство выведения сверхтяжелого класса (для выведения 160 тонн полезного груза) – СВ СТК(160).
13. Межорбитальный буксир для транспортировки кораблей, грузов к Луне общей массой порядка 10 тонн – МОБ (10).
14. Межорбитальный буксир для транспортировки кораблей, грузов к Луне общей массой порядка 20 тонн – МОБ (20).
15. Межорбитальный буксир для транспортировки кораблей, грузов к Луне общей массой порядка 50 тонн – МОБ (50).
16. Межорбитальный буксир для транспортировки кораблей, грузов к Луне общей массой порядка 60 тонн – МОБ (60).
17. Межорбитальный буксир для транспортировки кораблей, грузов к Луне общей массой порядка 100 тонн – МОБ (100).
18. Лунный взлетно-посадочный комплекс – ЛВПК.
19. Лунный взлетно-посадочный комплекс-буксир, сочетающий функции и ЛВПК, и межорбитального (межпланетного) буксира – ЛВПК(б).
20. Лунный посадочный (грузовой) комплекс – ЛПК.
21. Лунный посадочный (грузовой) комплекс-буксир, сочетающий функции и ЛПК, и межорбитального (межпланетного) буксира – ЛПК(б).
22. Модуль лунной базы – МЛБ.
23. Разгонный блок для СВ СТК, обеспечивающий отлетную траекторию экспедиционного комплекса с низкой околоземной орбиты к Луне, общей массой порядка 60 тонн – РБ (60).

Рассмотрение нескольких подклассов средств выведения сверхтяжелого класса (для 50, 80, 130 и 160 тонн полезного груза) связано с качественным изменением схем полетов в зависимости от размерности средства выведения – с переходом от многопусковых схем полета к однопусковым. В зависимости от размерности средств выведения рассмотрено 5 размерностей межорбитальных буксиров, а также разгонный блок с условной размерностью 60 тонн. Различия между МОБ и РБ состоят в том, что МОБ обеспечивает несколько серий коррекций орбиты, включая коррекции в окололунной области. РБ обеспечивает лишь коррекцию орбиты на отлетной траектории экспедиционного комплекса в околоземной области пространства, коррекции в окололунной области пространства обеспечиваются при этом лунными кораблями либо посадочными комплексами.

Для сравнительного анализа из общего блока возможных вариантов полетов к Луне были отобраны 19 типовых миссий, рассмотрение которых наиболее актуально в настоящее время.

В таблице 2 приведены также экспертные оценки показателей a_{ij} и $b_j(t)$, используемые в выражении (3) применительно к каждому этапу (фазе) и каждой типовой полетной миссии. Весовой показатель целей $b_j(t)$ оценивался по 5-бальной шкале ($0 \leq b_j(t) \leq 5$), исходя из интересов реализации космических программ на уровне государства. Значения весовых коэффициентов $b_j(t)$ определены с использованием метода парных сравнений [1]. В соответствии с данным методом эксперту предъявляются показатели попарно, для каждой пары эксперт указывает, какой принцип более важен, или их важность равнозначна. Кроме того, приведены также и результаты расчетов показателей комплексирования целей для каждой рассмотренной типовой миссии $K_i(t)$.

Таблица 2

Показатели a_{ij}, b_j

Показатели a_{ij}, b_j , Заказчик	Фаза 1 «Орбита»						Фаза 2 «Вылазка»						Фаза 3 «База»							
	ТМ 1	ТМ 2	ТМ 3	ТМ 4	ТМ 5	ТМ 6	ТМ 7	ТМ 8	ТМ 9	ТМ 10	ТМ 11	ТМ 12	ТМ 13	ТМ 14	ТМ 15	ТМ 16	ТМ 17	ТМ 18	ТМ 19	
a_1	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
a_2	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1
a_3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
a_4	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
a_5	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Государственный заказчик	b_1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	b_2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5
	b_3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5
	b_4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	b_5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
	K_i	0,14	0,88	0,73	0,73	0,88	0,14	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	1	1	1	1	1	1
Коммерческий заказчик	b_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	b_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	b_3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	b_4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	b_5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	K_i	0,03	0,68	0,65	0,65	0,68	0,03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Как следует из результатов расчета, наименьшие значения показателей $K_i(t)$ имеют миссии № 1 и № 6 ($K_i(t) = 0,14$). Это связано с тем, что данные миссии предполагают лишь облеты Луны. Максимальные значения показателей $K_i(t)$ имеют миссии №№ 14...19 ($K_i(t) = 1$). То есть, создание обитаемой базы на Луне будет обеспечивать достижение всех поставленных целей.

IV. Коммерциализация полетов к Луне

Предположим, что все типовые миссии реализуются коммерческими организациями.

В таком случае наибольшую важность приобретают цели №№ 3, 4 и 5. Весовые коэффициенты $b_j(t)$ существенно изменятся. Например, для рассматриваемых

фаз они могут быть распределены в соответствии с таблицей 2. В таблице 2 также приведены результаты расчетов показателя комплексирования целей $K_i(t)$. Как видим, качественно результаты не изменились относительно таблицы 1. Смысл типовых миссий №№ 1, 6 с облетом Луны стал еще более иллюзорным ($K_i(t) \rightarrow 0$). То есть, варианты типовых миссий, максимально мотивированные государственными интересами, а также варианты полетов к Луне, продиктованные коммерческими интересами, практически совпадают:

- для фазы 1 «Орбита» – это миссии №№ 2, 5;
- для фазы 2 «Вылазка» – это все предложенные миссии №№ 7–13;
- для фазы 3 «База» – это все предложенные миссии №№ 14–19.

Однако рассмотрение типовых миссий лишь с точки зрения комплексирования целей является недостаточным для реального планирования миссий. Необходимо иметь ресурсные оценки каждой миссии для того, чтобы делать взвешенные рекомендации по их использованию.

V. Ресурсные оценки типовых миссий

Обоснование стоимости каждой типовой миссии требует проведения детального анализа всех необходимых компонент – конструкторской, производственной, испытательной, подготовительной, эксплуатационной. Для предварительного анализа полетных миссий, когда их количество превышает десятки и сотни вариантов, такой подход чаще всего является неприемлемо трудоемким. Если бы рассматривался этап использования Луны, то было бы достаточно оценивать трудоемкость *изготовления и эксплуатации* каждого задействованного в миссии космического средства. Однако, поскольку рассматривается этап освоения Луны (причем его наиболее ранняя – начальная стадия), порядок трудоемкости *изготовления и эксплуатации* каждого космического средства будет в несколько раз ниже порядка трудоемкости *создания* данного средства. Поэтому в данной работе предложено оценивать стоимостные (ресурсные) характеристики миссий, ориентируясь на понятие трудоемкости *создания* каждого задействованного космического средства, включая трудоемкость его разработки, а также наземных и летных испытаний.

Такую оценку можно провести лишь экспертным методом, базируясь на трудоемкости создания аналогичных космических объектов – прототипов.

У каждого из рассматриваемых космических средств такие прототипы имеются. Определяющим показателем трудоемкости является параметр *сложности* разработки изделия (d_i), оцениваемый по 30-бальной шкале. Трудоемкость создания каждого космического средства D_{ii} является производной величиной относительно его сложности d_i ($d_i \sim D_{ii}$) и выражается в процентах относительно интегральной трудоемкости создания всех рассматриваемых изделий в целом. При определении величин d_i использовался метод парных сравнений [1]. При экспертном анализе сложности изделий использовались открытые данные по прототипам, приведенные в литературе и Интернете [2, 3, 4, 5].

Трудоемкость каждой миссии на 90 % определяется трудоемкостью создания задействованных в миссии космических средств. Поэтому для анализа ресурсных оценок типовых миссий (для оценки относительной трудоемкости миссии D_i) на качественном уровне можно использовать выражение:

$$D_i(t) = \sum_{i=1}^{23} D_{ii} \times n_{ii}, \quad (4)$$

где D_{il} – трудоемкость создания l -го космического средства, используемого в i -й типовой миссии (всего рассматривается 23 космических средства); n_{il} – количество l -х космических средств, используемых в i -й типовой миссии.

Результаты расчетов относительных трудоемкостей миссий $D_i(t)$ приведены на гистограмме (рис. 1). При этом используется допущение, что трудоемкости создания l -го космического средства практически не зависят от типа миссии. То есть, $D_{il} (l=1, \dots, L) \approx Const$. То есть, космические средства являются универсальными, оптимизированными для большинства типовых миссий.

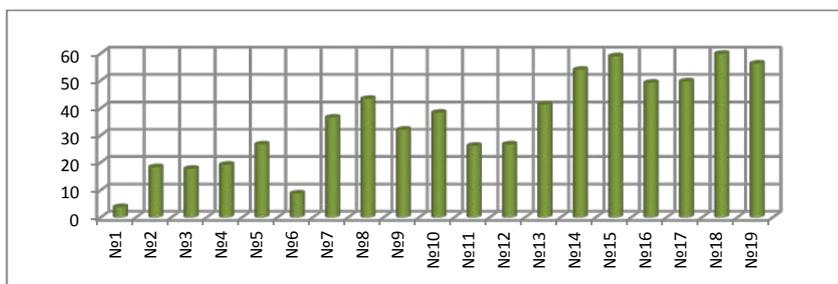


Рис. 1. Относительная трудоемкость типовых миссий

Как видим, трудоемкость полетов на лунную базу (№№ 14–19) в два-три раза превосходит трудоемкость миссий на окололунную орбиту, а относительно облетных миссий (№№ 1, 6) может превышать на порядок.

VI. Показатель интегральной значимости достигнутых целей

Рассмотрим выражение:

$$R_i(t) = \sum_{j=1}^5 (b_j(t) \times a_{ij}). \quad (5)$$

Данное выражение характеризует интегральную значимость достигнутых целей с учетом их текущей значимости в процессе реализации i -й типовой миссии в момент времени t . Используя характеристику R_i , можно сравнивать целевую результативность миссий относительно друг друга. Учитывая, что весовой коэффициент $b_j(t)$ рассматривался по 5-бальной шкале, характеристика R_i оценивается в диапазоне: $0 \leq R_i \leq 25$. Результаты расчетов величин R_i приведены в таблице 3. При этом рассмотрены два подхода в формировании приоритетов: первый – исходя из интересов реализации космических программ на уровне государства, второй – исходя из интересов реализации коммерческих космических программ. Для расчетов использовались параметры $b_j(t)$ таблицы 2.

Интегральная значимость пилотируемых миссий максимальна при государственной шкале приоритетов и достигает на фазе 3 («База») своего близкого к максимуму значения (23 из 25 возможных). При опоре на коммерческую шкалу приоритетов интегральный показатель R_i уступает «государственному» варианту, что является естественным следствием более прагматичного взгляда на целевую составляющую миссий к Луне. В обоих вариантах облетные миссии (ТМ № 1 и ТМ № 6) минимальны по целевой эффективности.

Таблица 3

Заказчик	Показатель $R_i(t)$																			
	Фаза 1 «Орбита»						Фаза 2 «Вылазка»						Фаза 3 «База»							
	ТМ 1	ТМ 2	ТМ 3	ТМ 4	ТМ 5	ТМ 6	ТМ 7	ТМ 8	ТМ 9	ТМ 10	ТМ 11	ТМ 12	ТМ 13	ТМ 14	ТМ 15	ТМ 16	ТМ 17	ТМ 18	ТМ 20	
Государство	2,5	15	12,5	12,5	15	2,5	18	18	18	18	18	18	18	23	23	23	23	23	23	
Коммерч. организация	0,5	11	10,5	10,5	11	0,5	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	

VII. Сравнительный анализ эффективности миссий

Проведем анализ результатов расчетов интегральной значимости типовых миссий (табл. 3) и ресурсных затрат (рис. 1).

Государство так же, как и коммерческая организация, руководствуется требованием эффективности миссий. В обоих вариантах заказчик заинтересован получить максимальный целевой эффект при минимальных затратах. Формализовать это можно следующим образом:

$$E_i(t) = R_i(t)/D_i(t), \quad (6)$$

где $E_i(t)$ – показатель эффективности i -й типовой миссии, выполняемой в период времени t .

Максимальное значение показателя $E_i(t)$ будет свидетельствовать о том, что рассматриваемая миссия наиболее эффективна – больший результат достигается при меньших затратах.

В таблице 4 приведены результаты расчетов $E_i(t)$ для двух вариантов шкалы приоритетов – «государственной» и «коммерческой». Те же результаты в виде гистограммы приведены на рисунке 2. Как видим, выбор рациональных миссий для последующего детального их рассмотрения достаточно нагляден. Причем качественно картина для вариантов государственного заказчика и коммерческого заказчика не меняется.

VIII. Выводы

Имея результаты в виде таблицы 4 либо рисунка 2, можно дать вполне однозначные рекомендации относительно наиболее рациональных вариантов полетов к Луне на каждом из трех рассмотренных этапах. В частности:

1. Максимальной эффективностью вложений трудовых затрат при достижении поставленных целей (с учетом неравновесности этих целей) обладают типовые миссии №№ 2, 3, реализуемые на фазе «Орбита» (рис. 3). Это полеты с выходом на окололунную орбиту и стыковкой пилотируемого корабля к окололунным объектам – низкоорбитальной либо высокоорбитальной лунной станции. При этом различие варианта наиболее эффективной типовой миссии № 2 с однопусковой

Таблица 4

Этап	№ типовой миссии	Показатель эффективности $E_i(t)$	
		Государственный заказчик	Коммерческий заказчик
Фаза 1 «Орбита»	1	0,658	0,132
	2	0,82	0,601
	3	0,706	0,593
	4	0,651	0,547
	5	0,562	0,412
	6	0,284	0,057
Фаза 2 «Высадка»	7	0,492	0,437
	8	0,414	0,368
	9	0,561	0,498
	10	0,469	0,417
	11	0,687	0,611
	12	0,674	0,599
	13	0,434	0,386
Фаза 3 «База»	14	0,426	0,315
	15	0,39	0,288
	16	0,467	0,346
	17	0,463	0,342
	18	0,384	0,284
	19	0,409	0,302

Рис. 2. Показатель эффективности $E_i(t)$

схемой доставки с СВ СТК(80) относительно ближайшего по эффективности варианта с двухпусковой схемой доставки с использованием СВ СТК(50) и СВ ТК (типичная миссия № 3) составляет порядка 14 %, что можно считать заметным преимуществом.

2. На фазе «Вылазка» наиболее эффективной представляется типовая миссия № 11, предполагающая полет на Луну по однопусковой схеме с использованием СВ СТК(160) и МОБ(100) (рис. 4). Достаточно близка по эффективности к максимальной типовая миссия № 12, отличия составляют порядка 2 %. В отличие от ТМ № 11, в ТМ № 12 предполагается использование пилотируемого корабля-буксира ПК-Л(б) и разгонного блока на ракете-носителе СВ СТК(160). Отличие в эффективности однопусковых схем относительно двухпусковых схем (ТМ №№ 7–10) составляет порядка 30 %, что, безусловно, является существенным преимуществом. Увеличение количества запусков (ТМ № 13) не приводит к увеличению эффективности миссий.

3. На фазе «База» максимально эффективен вариант типовой миссии № 16 с использованием СВ СТК(160) и МОБ(100) (рис. 5). Практически такой же уровень эффективности у типовой миссии № 17, в которой вместо МОБ(100) используется корабль-буксир ПК-Л(б) и РБ(60). Экономический выигрыш относительно максимально эффективных вариантов по отношению к трехпусковым схемам (ТМ №№ 18, 19) может составлять около 14 %.

4. Вариант типовой миссии с задействованием многопусковых схем с коммерческим кораблем для низких околоземных орбит и околоземной станции (ТМ № 6) наименее эффективен из всех предложенных к рассмотрению.

5. Отличия в рекомендациях для государственного заказчика и частного (коммерческого) в реализации миссий незначительны, но они существуют. Так, например, для типовой миссии № 1 с облетом Луны эффективность, с точки зрения государственного заказчика, соответствует уровню максимальных значений, а с точки зрения коммерческого заказчика – уровню минимальных значений. То есть, полеты, малоэффективные для частного инвестора, могут иметь большое значение для государственного заказчика. Обратное утверждение не подтверждается: миссии, эффективные с точки зрения государственного заказчика, практически всегда эффективны и для коммерческого заказчика.

6. В целом миссии в интересах государственного заказчика имеют несколько более высокие значения показателей эффективности $E_i(t)$, чем для коммерческого, поскольку количество целей, решаемых в интересах государства, априори шире, чем для коммерческой организации.

7. Рекомендуемый состав космических средств, входящих в перспективную космическую инфраструктуру, может быть определен по наиболее эффективным типовым миссиям для всех трех фаз освоения Луны:

- пилотируемый корабль для полетов к Луне – ПК-Л;
- обитаемая станция на низкой окололунной орбите (НЛО) – ОС НЛО;
- средство выведения сверхтяжелого класса для выведения 80 тонн полезного груза – СВ СТК(80);
- средство выведения сверхтяжелого класса для выведения 160 тонн полезного груза – СВ СТК(160);
- межорбитальный буксир для транспортировки кораблей, грузов к Луне общей массой порядка 60 тонн – МОБ (60);
- межорбитальный буксир для транспортировки кораблей, грузов к Луне общей массой порядка 100 тонн – МОБ (100);
- лунный взлетно-посадочный комплекс – ЛВПК;
- лунный посадочный (грузовой) комплекс – ЛПК;
- модуль лунной базы – МЛБ.

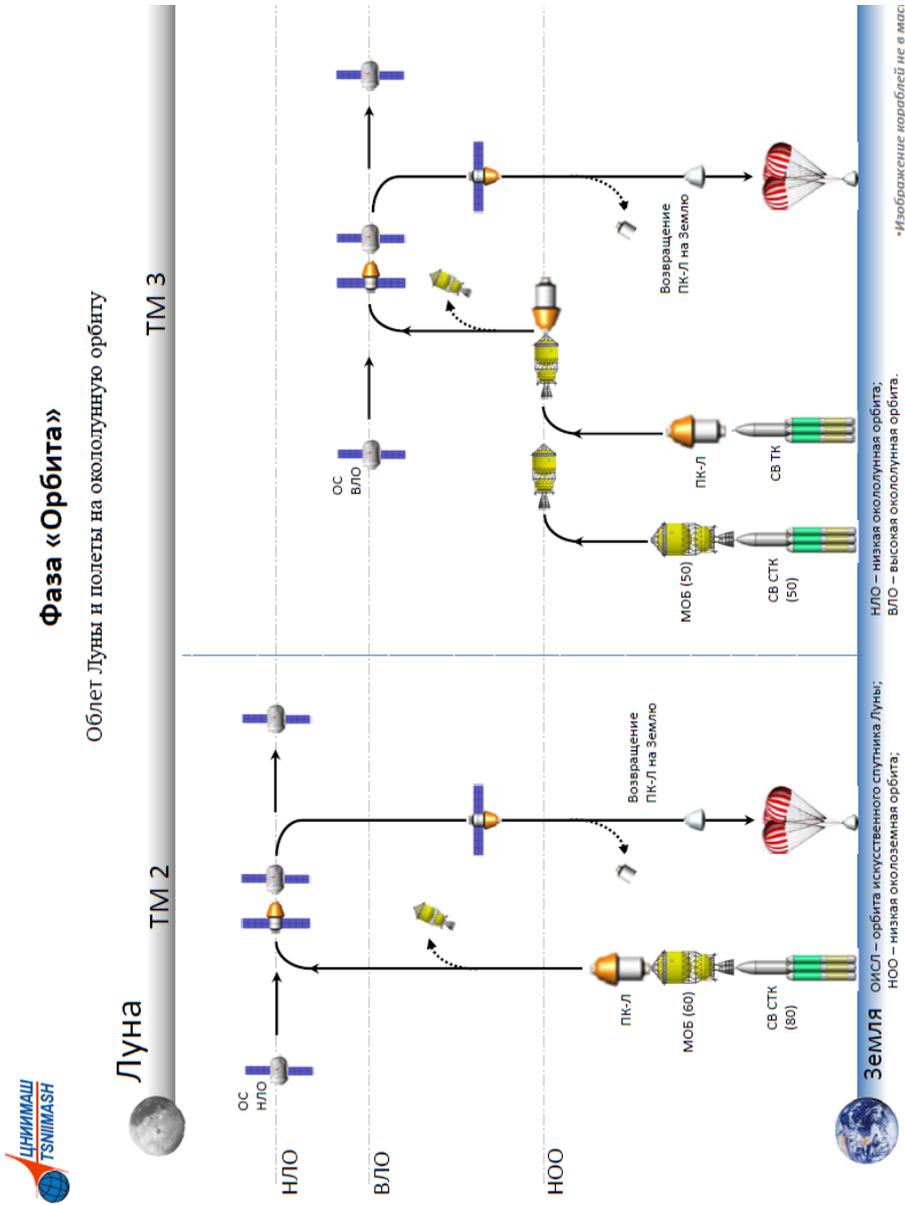


Рис. 3. Варианты с максимальными значениями $E_i(t)$ для фазы 1 «Орбита»

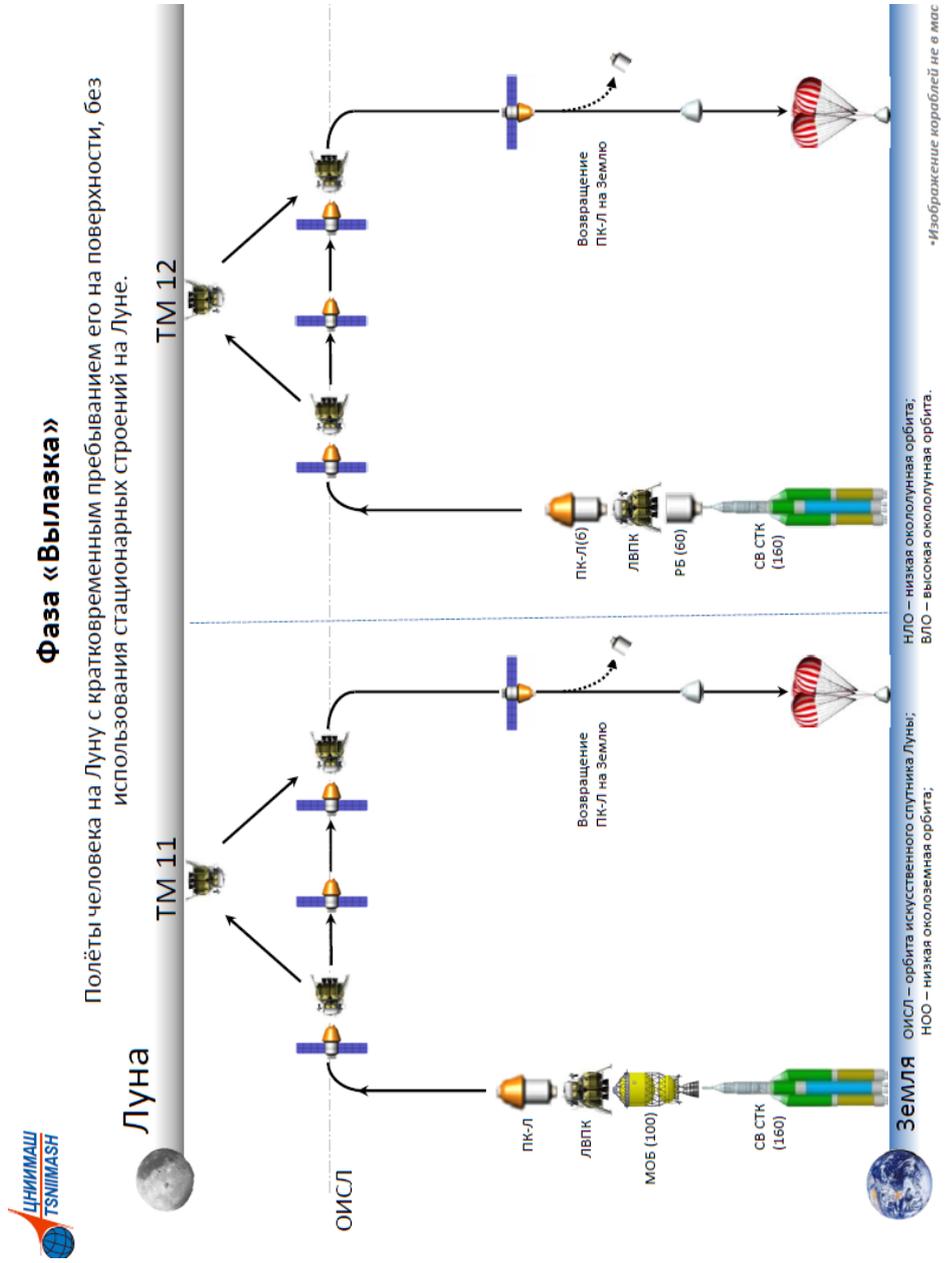


Рис. 4. Варианты с максимальными значениями $E_i(t)$ для фазы 2 «Вылазка»

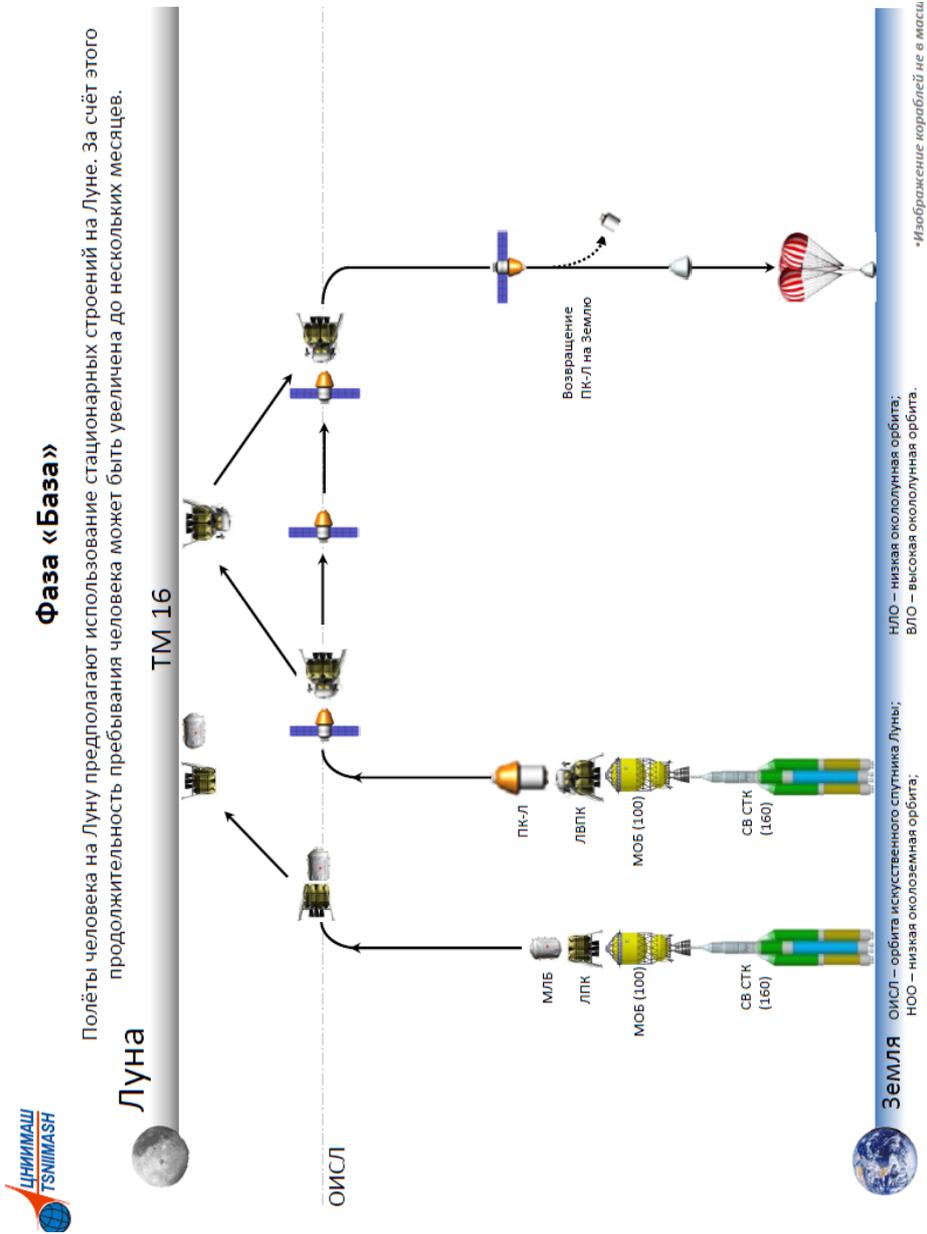


Рис. 5. Вариант с максимальным значением $E_i(t)$ для фазы 3 «База»

Некоторые элементы в данном списке могут быть заменены следующим образом:

а) ПК-Л заменен кораблем-буксиром ПК-Л(б) при одновременной замене МОБ(100) на РБ(60).

б) ОС НЛЮ может быть заменена на орбитальную станцию на высоких окололунных орбитах (ОС ВЛЮ).

При такого рода замене возможно некоторое снижение эффективности типовых миссий.

8. Результаты расчетов показывают, что для достижения целей и государственного и коммерческого заказчиков вполне возможно использовать единые космические средства. Это означает, что варианты рационального построения миссий, реализуемых за счет государственного и частного финансирования, практически совпадают. Таким образом, привлечение частного капитала для финансирования создания пилотируемых лунных космических средств может осуществляться с самых ранних полетов к Луне. Впоследствии все выбранные космические средства достаточно эффективно могут быть использованы в частных космических программах лунного направления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
- [2] Уманский С.П. Отечественные ракеты-носители. «Земля и Вселенная». – М., 1994. – № 2. <http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/ziv/1994/02/m.html>.
- [3] Космические грузовики, 10 тяжелейших ракет-носителей. http://nmm.me/blogs/praporweg/kosmicheskie_gruzoviki_10_tyazheleyshih_raket-nositeley/.
- [4] The SpaceX Falcon Heavy Booster: Why Is It Important? John K. Strickland, Jr. September, 2011. <http://www.nss.org/articles/falconheavy.html>.
- [5] Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

УДК 658.512.6

**МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

В.А. Соловьев, Г.А. Ржевский, П.О. Скобелев, О.И. Лахин

Докт. техн. наук, профессор, член-корр. РАН В.А. Соловьев (РКК «Энергия»)
PhD, почетный профессор Г.А. Ржевский (Открытый университет Милтона Кейнса, Великобритания)

Докт. техн. наук П.О. Скобелев (ИПУСС РАН–СГАУ)
О.И. Лахин (НПК «Разумные решения»)

Рассматриваются принципы построения интеллектуальных аэрокосмических систем, базирующихся на использовании баз знаний и мультиагентных технологий. Даются определения основных ключевых понятий предлагаемой методологии управления сложными адаптивными системами. Предлагается метод адаптивного планирования ресурсов в реальном времени для разрешения конфликтов и выработки согласованного решения путем переговоров и уступок агентов для поиска баланса интересов. Предлагается использование онтологий для представления знаний, позволяющих агентам находить возможности во взаимодействии для адаптации поведения системы к новым задачам и изменяющимся условиям. Представлен пример применения мультиагентных технологий для адаптивного планирования грузопотока российского сегмента Международной космической станции. Рассматриваются перспективы использования технологий для решения актуальных задач управления сложными техническими объектами.

Ключевые слова: интеллектуальные аэрокосмические системы, мультиагентные технологии, базы знаний, управление ресурсами, адаптивное планирование, реальное время, предметные онтологии, грузопоток РС МКС.

**Multiagent Technologies in Smart Aerospace Systems. V.A. Solov'ev,
G.A. Rzevski, P.O. Skobelev, O.I. Lakhin**

The paper covers principles of building smart aerospace systems, based on the use of knowledge bases and multiagent technologies. Definitions of key concepts of the proposed methodology for managing complex adaptive systems are given. The paper provides a method of adaptive resource scheduling in real time for conflict resolution and finding a coordinated solution through negotiations and concessions of agents in order to find a balance of interests. Use of ontologies for knowledge presentation is proposed. With the help of ontologies, agents can find opportunities for cooperation with the aim of adapting the system behavior to new tasks and changing conditions. The paper provides an example of multi-agent technology application for adaptive scheduling of cargo flow of the Russian Segment of International Space Station. Prospects of the use of technologies for solving urgent problems of controlling complex technical objects are discussed.

Keywords: smart aerospace systems, multiagent technology, knowledge base, resource management, adaptive scheduling, real time, domain ontology, cargo flow of the ISS RS.

Введение

Одной из современных тенденций мировой глобальной экономики является постоянно растущая сложность современного мира, обусловленная высокой неопределенностью изменений спроса и предложения, а также динамикой возникновения непредсказуемых событий. Эта тенденция отмечается в обзоре мнений директоров крупнейших корпораций, проведенном корпорацией IBM в 2009 году [1]. Радикальные изменения в организации вопросов управления, которые предстоит пережить крупным корпорациям для ответа на новые вызовы и перехода в новое

информационное общество, отмечаются также в другом, только что вышедшем обзоре IBM [2], где фактически дается новая постановка задачи создания новых подходов, методов и средств поддержки принятия решений и коммуникации при формировании и работе в продуктивных междисциплинарных командах.

Одна из причин грядущих изменений состоит в том, что в принятии решений мы до последнего времени рассчитывали на стабильность мира, а неопределенность и неожиданные события не брались в расчет или рассматривались как временные недоразумения. Однако эти взаимозависимые «мелочи», если они не обрабатываются вовремя, имеют тенденцию превращаться в большие проблемы, которые уже невозможно решить простыми средствами. Это становится характерным для многих областей, где традиционные подходы создают сложные проблемы, которые появляются в результате множества взаимодействий («эмерджентно» – от англ. emergent – возникающий непредвиденно), как непредвиденные последствия бесчисленного множества самых малых решений.

Для решения такого рода сложных проблем предлагается использовать новую методологию науки о сложности, основы которой заложил И. Пригожин [3].

Для практической реализации этой методологии было предложено использование мультиагентных технологий (МАТ) [4], являющихся сравнительно новым направлением в области информационных технологий, которое начало формироваться в 70–80-е годы XX века на стыке достижений в областях объектно-ориентированного программирования, искусственного интеллекта, параллельных вычислений и телекоммуникаций. В наших предыдущих работах [5] было экспериментально показано, что решение любой сложной задачи планирования и оптимизации ресурсов может быть получено путем самоорганизации агентов, имеющих множество противоположных интересов, способных как конкурировать, так и кооперировать на виртуальном рынке программной системы. Получаемое при этом решение рассматривается как «неустойчивое равновесие» (или «устойчивое неравновесие») интересов таких сущностей, достигающих в ходе своих взаимодействий определенного баланса интересов (консенсуса).

Мультиагентные технологии позволяют перейти от иерархических, централизованных, последовательных программ к открытым, распределенным, сетевым автономным программам, работающим автономно и взаимодействующим между собой для выработки согласованных решений при решении поставленных задач. При этом открываются возможности решения сложных задач, например, распределения, планирования и оптимизации ресурсов, распознавания образов, умного проектирования и т.д. Такого рода задачи часто нельзя решить классическими методами комбинаторного перебора, рост вычислительной сложности которых растет и имеет экспоненциальный характер, но можно решать методами рационального принятия решений, заменяющих полный перебор вариантов выявлением конфликтов и взаимными уступками, что отвечает распределенному подходу к принятию решений (Distributed Problem Solving).

Для реализации такого подхода становятся необходимы интеллектуальные системы нового класса, которые используют фундаментальные принципы самоорганизации и эволюции, присущие живым системам, например, колонии муравьев или рою пчел [6]. Такие интеллектуальные системы, использующие по существу «биологический» (bio-inspired) подход, демонстрируют феномен «интеллекта роя» (Swarm Intelligence) и показывают высокую эффективность, гибкость и живучесть.

При этом в мультиагентных системах ключевое значение для принятия решений агентами при управлении ресурсами играют знания о предметной области – как иначе агенту заказа узнать, например, с какими ресурсами он может взаимодействовать. Применение баз знаний о предметной области позволяет сделать мультиагентную систему достаточно универсальной и легко настраиваемой под особенности различных предметных областей. Один из подходов создания баз знаний связан с использованием онтологий, представленных семантическими сетями понятий и отношений предметной области [7].

Космос – новая актуальная сфера человеческой деятельности, освоение которого открывает новые перспективы человечеству и формирует мощный вызов всем существующим технологиям, включая информационные. При этом априорно имеющаяся здесь особая высокая сложность и неопределенность постоянно порождают проблемы, которые можно решить только с использованием новых подходов, связанных с созданием и применением интеллектуальных аэрокосмических систем, построенных на основе мультиагентных технологий и баз знаний.

Одно из возможных направлений применения предлагаемой методологии в аэрокосмической отрасли связано с созданием интеллектуальных систем управления полетами космических аппаратов, где особое внимание необходимо уделять планированию полетов на всех уровнях. Огромное значение такие системы уже сегодня могут иметь, в частности, для управления полетом Международной космической станции (МКС), создание и эксплуатация которой является одним из сложнейших проектов за всю историю человечества, в реализации которого участвуют большие коллективы ученых и инженеров из России, США, Европы, Японии и ряда других стран. При этом качественная и эффективная поддержка принятия решений в междисциплинарных командах на Земле является главным залогом надежности и безопасности для экипажа [8–12].

Одной из важнейших задач жизнеобеспечения работы МКС является управление грузопотоком по доставке важнейших грузов на станцию, таких, как топливо, воздух, вода, продукты питания, научная аппаратура для космических экспериментов, различное оборудование, а также возврат результатов космических экспериментов на Землю и утилизация грузов. При планировании грузопотока требуется учитывать множество разных по своей природе деталей, факторов, правил, предпочтений, ограничений и критериев, влияющих на принятие решений в реальном времени по непрерывно поступающим событиям [13].

А что говорить про дальние полеты, которые однажды станут реальностью?

Новая философия управления сложными адаптивными системами

Сложные системы характеризуются в первую очередь нелинейностью своего поведения, когда малое входное воздействие на систему приводит к большим изменениям на выходе, равно как и наоборот, когда большие входные воздействия могут несущественно влиять на результирующие изменения.

Также возможны существенные задержки, колебания и осцилляции решений, лавинообразные изменения параметров и многие другие неожиданные реакции, ставящие в тупик управленцев и специалистов.

До XX века в науке преобладало «линейное мышление», и изучались устойчивые процессы, а из математических свойств линейных систем следует однозначный детерминизм, когда причина однозначно определяет следствие. Однако не все явления природы являются линейными, устойчивыми и воспроизво-

димыми, а феномену сложности до сих пор нет однозначного точного определения.

В работе [14] предлагается следующее определение сложности: *«Сложность является свойством открытой системы, которая состоит из большого числа разнообразных, частично автономных, активно взаимодействующих элементов, называемых агентами. Сложная система обычно не имеет жесткого централизованного управления, а ее поведение определяется взаимодействием агентов, и поэтому, не будучи хаотичным, является неопределенным (недетерминированным), поскольку в каждой ситуации определяется свободой выбора агентов и зависит от принимаемых ими решений».*

Сложные системы обладают следующими основными характеристиками:

- открытость – определяет взаимодействие с внешней средой;
- разнообразие – определяет автономность и взаимосвязь агентов;
- отсутствие централизованного управления (но при наличии «помогающего» в критических ситуациях центра) – определяет способность агентов находить баланс интересов для согласования решений;
- эмерджентность поведения – определяет способность системы находить решение через взаимодействие своих элементов.

Таким образом, сложная система – это самоорганизующаяся система, построенная на поиске и поддержании баланса (гармонии) интересов агентов, где интеллект системы проявляется в цепочках взаимодействий и согласованных решений для достижения баланса интересов агентов, который мгновенно изменяется при изменении ситуации, что и определяет чувствительность системы к изменениям.

Рассматриваемые сложные адаптивные системы состоят из автономных (самостоятельных) элементов (агентов), которые в результате взаимодействий и собственных решений, предпочтений и ограничений образуют или разрывают связи между собой. В результате целостность сложной системы формируется «снизу вверх» путем самоорганизации образующих ее элементов, что рассматривается как более высокая ступень в организации систем, предопределяя ее открытость, гибкость и эффективность, надежность и живучесть.

Сложную систему невозможно разделить, как это делается в классическом системном анализе, на подсистемы, поведение которых анализируется отдельно, поскольку разрыв связей между различными элементами сложной системы неминуемо повлечет за собой искажение поведения всей сложной системы в целом.

Выделяют семь ключевых свойств, которые отличают сложные недетерминированные системы от детерминированных систем [15]: связность, автономность, эмерджентность, неравновесность, нелинейность, самоорганизация и эволюция.

1. Связность – система состоит из большого числа автономных агентов (элементов), находящихся в тесном взаимодействии друг с другом.

2. Автономность – элементы имеют собственное целеполагание и не могут быть просто «вызваны» для выполнения требуемой функции, иначе они потеряют свой контекст и никогда не достигнут своих целей. Агенты должны быть независимы, но, в то же время, они подчиняются определенным законам, правилам и нормам своего сообщества. Несмотря на то что может не существовать общего управляющего центра, их поведение не является хаотичным, а направлено на достижение частных целей, которые формируют общую цель сообщества.

3. Эмерджентность – общее сложное поведение системы рождается (формируется) в процессе взаимодействия относительно простых агентов, что ограни-

чивает поведение агентов. Эмерджентные явления возникают спонтанно, в непредвиденные моменты времени, которые очень трудно заранее предсказать и которые определяются текущей ситуацией и множеством самых малых решений агентов. Основа этого явления – наличие положительных и отрицательных обратных связей в контурах управления агентами, когда локальные взаимодействия элементов системы формируют глобальные структуры, например, расписания и планы, которые, в свою очередь, влияют на поведение образовавших их элементов.

4. Неравновесность – общее поведение системы «удалено от равновесия» (абсолютно оптимального состояния) в связи с частым возникновением непредвиденных событий и обстоятельств, которые не позволяют системе вернуться в состояние равновесия. При определенных условиях в таких системах возникают колебания (осцилляции), связанные с циклическим переходом от одного состояния равновесия к другому.

5. Нелинейность – мелкие изменения на входе могут приводить к большим изменениям на выходе системы («эффект бабочки»). При этом в самоорганизующихся системах наблюдаются и другие феномены нелинейного поведения, такие как резонансы, осцилляции, катастрофы, бифуркации, автокаталитические реакции и т.д.

6. Самоорганизация – система способна к самоорганизации в случае возникновения новых событий, например, связанных с появлением новых или отзывом уже распределенных заказов, полочками ресурсов и т.д. Под самоорганизацией в узком смысле принято понимать только установление или изменение связей между элементами (например, заказами и ресурсами), но в широком смысле – это и изменение целей и задач агентов, приобретение знаний и т.д.

7. Эволюция – система необратимо развивается во взаимодействии с окружающей средой, адаптивно пересматривая принятые решения. Такую систему нельзя «откатить» назад, поскольку прошел тот момент времени и уже изменились условия, при которых ранее были приняты решения. Примеры ко-эволюции все чаще возникают в сетевых системах, где уже отдельные самоорганизующиеся системы могут ко-эволюционировать под действием событий.

Примерами сложных адаптивных систем в окружающем нас мире являются экология, климат, мировой рынок, семья, команда, рой пчел, человеческий мозг, человеческое общество, эпидемии, террористические сети, дорожное движение, жизненный цикл самолета или космического аппарата.

Сложные системы предполагают простейший «интеллект» в базовых элементах для принятия решений, но достаточно разнообразные протоколы их взаимодействия, благодаря которым элементы гибко реагируют на изменения и обеспечивают адаптацию планов к событиям.

Традиционные подходы к управлению не могут быть эффективно применимы к сложным адаптивным системам, которые характеризуются высокой степенью неопределенности, поскольку принципы самоорганизации напрямую противоречат стремлению тотально контролировать каждый шаг в решении проблемы.

Управление сложными адаптивными системами для достижения поставленных целей предполагает процесс изменения находящихся под нашим контролем параметров. Изменение этих параметров позволяет уменьшить или увеличить сложность системы, при этом можно увеличить или уменьшить степень свободы системы для поиска и согласования вариантов решения сложной задачи.

При адаптивном управлении сложными системами с использованием мультиагентных моделей можно выделить следующие ключевые параметры сложно-

сти: уровень автономности агентов, степень связности и сила (прочность) связей между агентами, удовлетворенность и запас энергии агентов.

Автономность агентов обозначает степень свободы в принятии решений, данную им в системе, чтобы решать, как поступать в той или иной ситуации. Связность агентов обозначает, насколько регламентированы взаимодействия агентов между собой в системе. Сила (прочность) связей между агентами обозначает взаимную удовлетворенность агентов связью и способность агентов противостоять угрозе разрыва связей. Удовлетворенность агентов обозначает величину, обратно пропорциональную разнице между текущим и идеальным значением по заданному агенту целевому критерию. Энергия агентов обозначает условные денежные средства, которые играют роль потенциальной энергии, позволяя перестраивать решение, при этом наибольшие изменения в системе следует ожидать от агентов, обладающих высокой энергией и являющихся неудовлетворенными.

Таким образом, управление сложными системами требует совершенно новых подходов, моделей, методов и алгоритмов в целях достижения желаемого адаптивного поведения системы.

Мультиагентные технологии для адаптивного управления

Сложные задачи, такие как распределение, планирование и оптимизация ресурсов, плохо решаются или не решаются вовсе классическими методами. Решение классических задач планирования ресурсов (также известных как NP-трудные задачи) обычно формулируется как пакетный процесс, в котором все заказы и ресурсы известны заранее и не изменяются в процессе работы [16].

В составе традиционных ERP систем (систем управления предприятием) в последнее время все больше предлагается планировщиков ресурсов (часто называемых ASP-средствами – Advanced Scheduling and Planning), разрабатываемых такими известными компаниями как SAP, Oracle, Manugistic, i2, ILOG, J-Log и другие. Однако эти системы, как правило, реализуют пакетные версии линейного или динамического программирования, программирования с учетом ограничений и других классических методов, основанных на комбинаторном поиске вариантов, которые на практике оказываются малопригодными.

Для уменьшения сложности поиска разработаны методы, использующие эвристики и метаэвристики [17], которые при некоторых условиях позволяют получать приемлемые решения за разумное время за счет сокращения вариантов комбинаторного поиска. Также для увеличения скорости поиска приемлемого решения используются «жадные» локальные методы поиска, методы имитации отжига, программирование в ограничениях, табу поиска, генетические и муравьиные алгоритмы и др. Вышеуказанные методы в основном также используют пакетную обработку и с трудом расширяются дополнительными целевыми критериями, не позволяя учитывать множественные факторы, которые часто используются в реальной жизни, которые могут задаваться не только формулами и неравенствами, но также таблицами, графиками и алгоритмами.

Кроме того, поиск вариантов в применяемых методах на реальных данных, как правило, занимает слишком много времени, и при этом результаты обычно получаются весьма неправдоподобными, мало сравнимыми с решениями, принимаемыми людьми, на практике, и не пригодными для принятия решений.

В отличие от классических больших, централизованных, неделимых и последовательных программ, мультиагентные системы построены в виде распре-

ленных групп небольших автономных программных объектов, работающих для получения результата асинхронно и согласованно.

Мультиагентные технологии изначально применялись для решения классических задач оптимизации с использованием подходов распределенного решения задач, например, задач распределенной оптимизации в системах с ограничениями (DCOP) [18]. Также было разработано несколько биотехнологических методов, например, роевая оптимизация, гибридные методы на основе искусственной иммунной системы и оптимизация методом роя частиц, для решения задач планирования производства и других [19–20]. В качестве следующего шага был разработан рыночный подход к планированию, где агенты заказов и агенты ресурсов участвуют в непрерывных аукционах, основанных на протоколах Contract Net [21–22].

В основе проводимых в последнее время разработок [23–24], дающих возможность ответить на стоящие перед современными системами вызовы, лежат мультиагентные технологии, позволяющие представить процесс решения любой сложной проблемы как процесс самоорганизации и поиска баланса противоположных интересов базовых агентов потребностей и возможностей, реализуемый через механизмы переговоров с уступками на основе рыночных механизмов. В мультиагентных системах решение любой сложной задачи формируется эволюционным путем с возможным пересмотром принятых ранее решений за счет взаимодействия и самоорганизации большого числа простых агентов, непрерывно конкурирующих и кооперирующих друг с другом.

Общие принципы построения мультиагентных систем и дорожная карта развития этого направления до 2030 года представлена на сайте Ассоциации AgentLink [25], объединяющей разработчиков мультиагентных систем Европейского союза.

Агент – это автономный программный объект, способный достигать поставленных целей в условиях неопределенности путем выработки и анализа вариантов принятия решений и согласованного взаимодействия с другими агентами, действуя в интересах или от лица своего пользователя (владельца), а также воспринимать изменения из внешнего мира, вырабатывать свою реакцию на это воздействие и в соответствии с этим формировать ответное действие в среду.

При этом выделяют следующие ключевые характеристики программных агентов:

- автономность (autonomy) – способность функционировать для достижения поставленных целей без вмешательства других систем или человека, контролируя свои действия и внутреннее состояние;
- проактивность (proactivity) – агент демонстрирует управляемое целями поведение, проявляя инициативу для улучшения своего текущего состояния;
- реактивность (reactivity) – агент воспринимает внешнюю среду и реагирует на события изменений, адаптируя свое поведение для достижения целей;
- социальное поведение (social ability) – агент взаимодействует с другими агентами среды для согласования решений.

Свойства мультиагентных систем в сравнении со свойствами традиционных систем приведены в таблице.

Подчеркнем, что в отличие от программного объекта агент – это автономный программный объект, имеющий собственную цель, которую он постоянно стремится достичь, поэтому его нельзя «вызвать» как обычный «метод» (иначе он потеряет свое текущее состояние и обязательства перед другими агентами). При таком подходе агента можно только «попросить» что-то сделать; а согласится он

или откажет полученному запросу – зависит от степени продвижения его к своей цели с учетом своих обещаний другим агентам и от того, насколько возможно изменение этих договоренностей в текущей ситуации. Этот механизм реализуется через выявление конфликтов и проведение переговоров с другими агентами.

Таблица

Сравнение свойств мультиагентных и традиционных систем

Свойства традиционных систем	Свойства мультиагентных систем
Иерархии больших программ	Большие сети малых агентов
Последовательное выполнение операций	Параллельное выполнение операций
Инструкции сверху вниз	Переговоры равных сторон
Централизованные решения	Распределенные решения
Управляются данными	Управляются знаниями
Предсказуемость	Самоорганизация
Стабильность	Эволюция
Стремление уменьшать сложность	Стремление наращивать сложность
Тотальный контроль	Создание условий для развития

Для достижения поставленной цели агент должен уметь реагировать на события, решать различные задачи, принимать решения и коммуницировать с себе подобными для их согласования. Такие взаимодействия агентов описываются специальными протоколами, которые регламентируют асинхронные или синхронные схемы развития «диалога» между агентами, включая информирование об изменениях, посылку различного рода предложений и реакцию на эти предложения. При этом пересылка сообщения от одного агента к другому должна быть осуществлена в любой момент времени, вне зависимости от состояния агентов.

Таким образом, программный агент – это не просто «алгоритм», это обычно набор сценариев поведения и взаимодействия, управляемых блоком планирования действий и анализа результатов, иногда называемым «личностью» агента (Personality). С некоторой степенью упрощения можно считать, что агент представляет собой «машину состояний» подобно конечному автомату или автомату с памятью, в которой любое событие на входе переводит агента из одного состояния в другое. Но на практике агент более похож на небольшую операционную систему, обеспечивающую автономную работу в модельном или реальном времени.

Отметим важные свойства программных агентов, которыми они должны обладать для достижения поставленных целей:

- иметь поставленные цели, следовать им и выбирать способы их достижения в зависимости от текущей ситуации;
- реагировать на события и изменения ситуации в среде путем мониторинга самой среды или получая сигналы (сообщения);
- обращаться к встроенным сценариям возможных действий или в базу знаний, чтобы определить, какую задачу необходимо выполнить и как это сделать;
- отправлять сообщения другим агентам или пользователям или, наоборот, получать от них сообщения;
- решать задачи, необходимые для принятия решений;
- анализировать получаемую информацию, вырабатывать и сопоставлять варианты решений, принимать решения и согласовывать с другими агентами;
- устанавливать и разрывать связи с другими агентами;
- оценивать эффективность своих решений и работы в целом.

В процессе своего жизненного цикла агенты могут быть постоянно активными или временно активироваться при возникновении событий, переходить из пассивного состояния в активное и наоборот, а также быть проактивными, т.е. самостоятельно, без внешних побуждающих воздействий искать возможности увеличения ценности своих решений для достижения поставленных целей.

Ценность решения – совокупный показатель эффективности работы агентов отдельных элементов сети предприятия (или всех элементов предприятия в целом), который включает в себя такие показатели, как прибыль, качество или эффективность обслуживания, себестоимость услуги или товара, надежность и безопасность функционирования, риски или любые другие.

Мультиагентная система (МАС) – система, состоящая из одной или более групп агентов, конкурирующих или сотрудничающих друг с другом с целью выполнить общую задачу таким образом, чтобы увеличить ценность принимаемых решений для всей системы (например, предприятия в целом). Поведение МАС определяется не одним детерминированным алгоритмом, а формируется эволюционным путем из взаимодействия составляющих ее агентов.

МАС обладают всеми характеристиками сложных адаптивных систем, в частности, самоорганизацией, которая в контексте мультиагентной технологии может быть определена следующим образом: *самоорганизация в МАС – способность группы агентов самостоятельно изменять существующие и/или устанавливать новые отношения между состоящими в ней агентами с целью обработки новых заказов, восстановления после сбоя и максимизации ценности решений для системы.*

Одним из важных применений МАС является адаптивное распределение ресурсов в условиях, когда число заказов (потребностей в ресурсах) и/или количество ресурсов, которые необходимо распределить, непредсказуемо меняется во время самого процесса распределения и исполнения заказов, что существенно отличает данную постановку от классической.

Этот подход был развит в последние годы в широком диапазоне применений: от управления высокоскоростными поездами до управления грузопотоком МКС.

Базы знаний для адаптивного управления

Знания о предметной области имеют ключевое значение для принятия решений агентами при управлении ресурсами.

Один из возможных подходов для создания универсальной мультиагентной системы, легко настраиваемой под особенности различных предметных областей, связан с созданием баз знаний на основе онтологий, представленных семантическими сетями понятий и отношений предметной области [26].

Понятие «онтология» получило активное развитие в последнее время в связи с развитием направления семантического Интернета (Semantic Web), целью которого является представление информации о содержании Интернет-страниц в виде, пригодном для компьютерной обработки. В настоящее время страницы «не знают», что именно в них содержится, что делает смысловой поиск очень ограниченным и, тем более, не дает возможности программам рассуждать о содержимом или поддерживать диалог с пользователем.

База знаний содержит знания о предметной области, классы понятий и отношений, а также факты, касающиеся экземпляров этих понятий и отношений, необходимые агентам для выработки, принятия и согласования решений.

Онтология – часть базы знаний, которая содержит понятия, представленные сетью из классов объектов; отношений между классами объектов; свойств объектов; атрибутов классов объектов; сценариев поведения класса объектов.

Классы объектов – это узлы, а отношения – связи между ними. Вместе со свойствами, атрибутами и сценариями классы объектов и отношения содержат все знания, требуемые для работы мультиагентной системы [27].

Цели создания онтологий весьма разнообразны и могут включать следующие:

- нормативная – унификация понятий и отношений предметной области;
- формирование электронного «толкового словаря» предметной области;
- автоматические рассуждения на основе знаний предметной области;
- автоматический контроль правильности входных данных;
- поддержка деятельности по накоплению, разделению и повторному использованию знаний предметной области (предприятия);
- построение самообучающихся систем за счет того, что знания отделены от программного кода;
- интеграция междисциплинарных знаний различных пользователей.

Для создания модели представления знаний, изначально рассчитанной на описание процессов (действий) пользователей, нами была предложена концептуальная модель мира предметной области, базирующаяся на идеях Аристотеля [28].

Предлагаемая базовая модель мира позволяет описывать не только декларативные знания о предметной области, понятия и сущности «мира», но и процедурные знания, деятельную компоненту, представляющую сценарии действий над объектами, выражающими законы мира, свойства и функции объектов, а также действия субъекта над объектами мира. Кроме того, модель мира всегда предполагает наличие некоторой модели пространства и времени, в рамках которого существуют и взаимодействуют все объекты мира, над которыми можно выполнять действия.

Метаонтология содержит определения ключевых концептов и является общей для всех различных предметных миров (физических и абстрактных). Для данной модели она включает следующие концепты: «объекты» – сущности, характеризующиеся свойствами, «свойства», отражающие способность объектов вступать во взаимодействия, «процессы» – цепочки действий по изменению состояний объектов, «отношения», позволяющие связывать объекты и конструировать сложные объекты из простых, и «атрибуты», характеризующие состояния концептов.

Предложенная метаонтология базируется на следующих аксиомах [29]:

- в мире существуют объекты, обладающие свойствами и характеризующиеся своими состояниями;
- поведение объектов определяется законами мира, задающими процессы как цепочки действий над объектами, их свойствами и отношениями;
- с каждым объектом можно совершать действия, изменяя его состояние и свойства, а также отношения с другими объектами;
- отношения между объектами могут отражать структурные, функциональные, временные или любые другие виды связей;
- чтобы выполнить действие над объектом, необходимо соблюдение определенных условий, которые задаются свойствами и отношениями;
- сложные объекты строятся из простых объектов путем выполнения действий (процессов) над ними для установления отношений и связывания простых объектов в сложные;

- свойства выражают способность объектов вступать в процессы взаимодействия на основе законов мира;
- события, действия (процессы) изменяют состояния объектов, их свойства и отношения и запускают новые процессы;
- процессы состоят из действий с объектами так же, как сложные объекты состоят из простых;
- с каждым объектом мира можно что-то делать в любой момент времени (нет тупиковых состояний), но чтобы осуществить действие над объектом, необходимо выполнить определенные условия;
- объекты, свойства, отношения, процессы (действия) характеризуются атрибутами различных типов, которые имеют диапазоны значений и конкретные значения в заданный момент времени;
- атрибуты объекта или отношения являются качественной или количественной характеристикой понятия.

Для создания и управления базами знаний предлагается использовать разрабатываемый в настоящее время конструктор онтологий, моделей и сцен, реализующий данную модель мира [30].

В конструкторе онтологий, моделей и сцен для удобства построения различных элементов концептуальной модели можно выделить три уровня описания предметной области: «онтология»–«модель»–«ситуация (сцена)».

- Онтология – описывает понятия и отношения (подобно толковому словарю), необходимые для описания знаний в любой предметной области (аэрокосмические предприятия, биотехнологии, медицина, наносистемы, живые системы и т.д.); на основе онтологии в дальнейшем строится модель деятельности.
- Модель – описывает устойчивые конфигурации объектов, упрощающие создание формализованных описаний сцен в конкретных ситуациях (например, не следует каждый раз описывать конфигурацию Международной космической станции, достаточно сохранять эти сведения в модели для дальнейшего использования).
- Ситуация (сцена) – описывает экземпляры понятий и отношений в заданный момент времени (набор фактов), при этом сцена подобна мгновенной «фотографии» ситуации в заданный момент времени.

Таким образом, онтология является основой для построения концептуальных моделей сложных объектов предметной области и моделей ситуаций, представляемых как сцены мира, задаваемых на вход мультиагентной системы.

Пример применения мультиагентных технологий для интерактивного планирования грузопотока РС МКС

Рассмотрим пример промышленной реализации интеллектуальной системы управления ресурсами в реальном времени, построенной на основе применения мультиагентных технологий и предметных онтологий. Как пример реализации предложенной методологии, в 2010–2014 гг. разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию интерактивная мультиагентная система построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов РС МКС [31].

Данный проект, выполненный по заказу РКК «Энергия», был направлен на решение задачи построения программы полета и планирования грузопотока российского сегмента Международной космической станции (РС МКС).

Мультиагентная система для формирования программы полета и планирования грузопотока РС МКС предоставляет интерактивную поддержку разработки

программы полета и плана доставки грузов, учитывая множество правил и ограничений: например, различные типы космических кораблей и модулей РС МКС, число космонавтов, прогнозирование расхода топлива и других критически важных ресурсов, солнечную активность и баллистику, минимальный интервал времени между операциями стыковки и отстыковки, постоянное присутствие, по крайней мере, одного транспортного пилотируемого корабля «Союз», пристыкованного к МКС, и многие другие особенности [32]. Пример программы полета, сформированной в системе с учетом этих и множества других факторов путем итерационного взаимодействия различных пользователей, представлен на рис. 1.

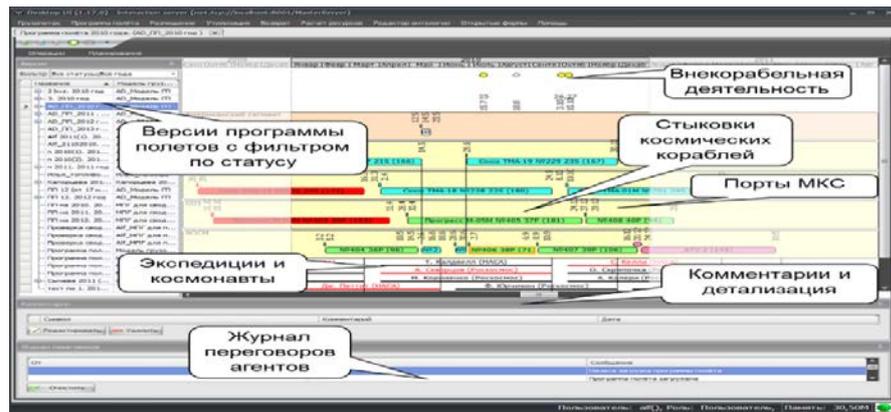


Рис. 1. Интерактивный редактор программы полетов

Основной особенностью системы стал тот факт, что она позволяет планировать грузопоток РС МКС адаптивно, по мере выявления новых потребностей станции, когда новые грузы могут вытеснять уже распределенные по полетам транспортных кораблей, имеющие меньший приоритет или возможность более поздней доставки на станцию, с учетом наличия места на ближайшем транспортном корабле или места размещения на борту, утилизации и возврата грузов на Землю (рис. 2).

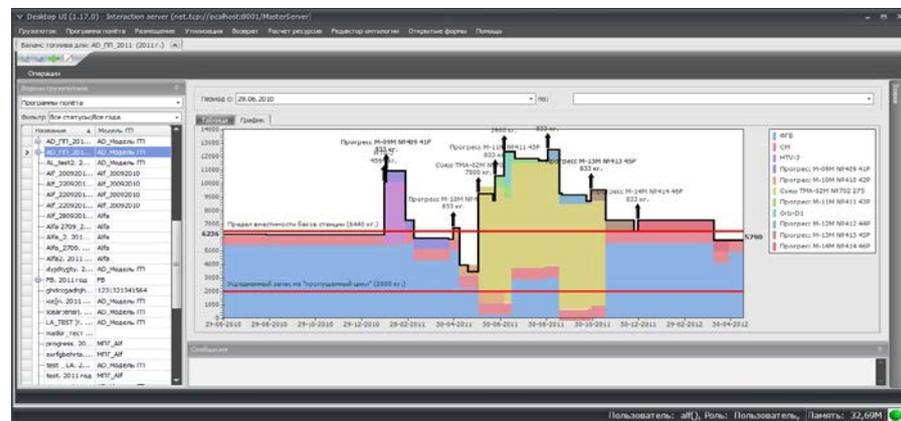


Рис. 2. План потребления и использования ресурсов

С использованием разработанной системы было создано несколько программ полета на период 2010–2016 гг., а также выполнен детальный расчет ресурсов и построено расписание грузопотока на 2011–2016 гг.

Интерактивный, гибкий и адаптивный характер взаимодействия с пользователями в системе позволил повысить эффективность принятия решений в сравнении с использовавшимися ранее Excel-таблицами.

Основной эффект внедрения системы был получен от сокращения времени на принятие решений при рассмотрении новых заявок и возможности моделировать различные варианты планирования для определения наилучшей реакции на поступающие события, что обеспечило снижение рисков снабжения станции критически важными грузами.

Перспективы применения мультиагентных технологий в интеллектуальных аэрокосмических системах

В настоящее время при управлении российским сегментом Международной космической станции имеется ряд важных, актуальных и значимых задач, которые могут эффективно решаться на основе мультиагентных технологий.

В частности, в настоящее время с использованием предлагаемой методологии ведется разработка автоматизированных систем:

- поддержки процесса формирования и выполнения программ научно-прикладных исследований на РС МКС;
- поддержки принятия решений при использовании бортовых ресурсов в процессе парирования аварийных ситуаций;
- организации работ смен Главной оперативной группы управления (ГОГУ);
- тренинга навыков ситуационной поддержки принятия решений сменным руководителем полетов и специалистами ГОГУ;
- управления бортовыми ресурсами РС МКС.

В рамках дальнейшего применения мультиагентных технологий и создания предметных онтологий предлагается создание следующих интеллектуальных систем поддержки принятия решений для управления полетом МКС:

- анализа и прогнозирования состояния систем космических аппаратов;
- задействования технических средств наземного комплекса управления и каналов связи РС МКС;
- интерактивной доводки планов полетных операций для автоматизированной системы планирования РС МКС.

Отработка принципов создания указанных систем имеет перспективу их применения и в более широком масштабе для поддержки принятия решений по управлению ресурсами в комплексных проектах разработки, производства и эксплуатации сложных изделий ракетно-космической техники на уровне крупнейших предприятий отрасли.

Заключение

В настоящей работе рассматриваются основные принципы построения интеллектуальных аэрокосмических систем, базирующихся на использовании мультиагентных технологий и баз знаний, и дается обзор предлагаемой методологии управления сложными адаптивными системами.

Показано, что мультиагентные технологии уже сегодня позволяют решать сложные задачи и создавать промышленные системы для управления ресурсами

принципиально нового класса, базирующиеся на фундаментальных принципах самоорганизации и эволюции. Разработанные методы и средства создания мультиагентных систем с использованием баз знаний оказываются применимы для решения широкого круга сложных задач, от управления грузопотоком РС МКС до планирования проектов и цехов машиностроительных предприятий, что свидетельствует о высокой действенности развиваемого подхода.

В частности, в результате внедрения данного класса систем обеспечивается повышение качества и эффективности работы подразделений, сокращаются затраты, уменьшается зависимость от человеческого фактора, а также обеспечивается безопасность и надежность космических полетов.

Первый опыт применения мультиагентных технологий в аэрокосмической отрасли для адаптивного планирования ресурсов показывает высокую эффективность разработок и перспективы их развития и применения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Как извлечь выгоду из сложностей? Мнения, полученные при проведении глобального опроса среди исполнительных директоров. – IBM USA. – 2009.
- [2] A new way to work: Futurist Insights to 2025 and Beyond. – IBM USA. – 2015.
- [3] Prigogine I. The End of Certainty: Time, Chaos and the new Laws of Nature. Free Press, 1997.
- [4] Wooldridge M.. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley and Sons Ltd, February 2002, Chichester, England, 340 pp.
- [5] Скобелев П.О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 12. – С. 33–46.
- [6] Bonabeau E., Theraulaz G. Swarm Smarts. What computers are learning from them? // Scientific American. – 2000. – Vol. 282. – N 3. – P. 54–61.
- [7] Скобелев П.О. Онтология деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени // Онтология проектирования. – 2012. – № 1(3). – С. 26–48.
- [8] Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов / Соловьев В.А., Любинский В.Е., Жук Е.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 1(1). – С. 27–37.
- [9] Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов (продолжение) / Соловьев В.А., Любинский В.Е., Жук Е.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 2(2). – С. 30–36.
- [10] Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов (продолжение) / Соловьев В.А., Любинский В.Е., Жук Е.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 1(3). – С. 16–27.
- [11] Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов (продолжение) / Соловьев В.А., Любинский В.Е., Жук Е.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 2(4). – С. 44–51.
- [12] Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов (окончание) / Соловьев В.А., Любинский В.Е., Жук Е.И. // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 3(5). – С. 25–33.
- [13] Лахин О.И., Майоров И.В. Метод адаптивного планирования грузопотока РС МКС на основе мультиагентной технологии // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т. 16, № 12. – С. 847–852.
- [14] George Rzevski and Petr Skobelev, Managing Complexity, WIT Press, March 2014, 216 pages.
- [15] Rzevski, G., “A practical Methodology for Managing Complexity”. Emergence: Complexity & Organization – An International Transdisciplinary Journal of Complex Social Systems. Volume 13, Nos. 1-2, 2011, pp. 38-56.
- [16] Leung, Y-T, 2004, Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis, CRC Computer and Information Science Series, Chapman & Hall, London.

- [17] Vos, S. 2001, "Meta-heuristics: The State of the Art" in Local Search for Planning and Scheduling, eds A Nareyek, Springer-Verlag, Berlin, pp.1–23.
- [18] Rolf CR, Kuchcinski, K, 2011, 'Distributed Constraint Programming with Agents', in Proceedings of the Second International Conference on Adaptive and Intelligent Systems, Springer-Verlag, Berlin, pp. 320–331.
- [19] Gongfa, L, 2011, 'A Hybrid Particle Swarm Algorithm to JSP Problem', IET Journal of Adaptive & Dynamic Computing, pp. 12–22.
- [20] Xueni, Q, Lau, H, 2010, 'An AIS-based Hybrid Algorithm with PSO for Job Shop Scheduling Problem' in Proceedings of the Tenth IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Lisbon, pp. 371–376.
- [21] Pinedo, M., 2008, Scheduling: Theory, Algorithms, and System, Springer, Berlin.
- [22] Allan, R, 2010, 'Survey of Agent Based Modeling and Simulation Tools', Computational Science and Engineering Department, Technical Report DL-TR-2010-007.
- [23] Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application // 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). France, Toulouse.2011. Springer. – pp. 5–14.
- [24] Skobelev P. Bio-Inspired Multi-Agent Technology for Industrial Applications / Faisal Alkhateeb, Eslam Al Maghayreh and Iyad Abu Doush (Ed.) // Multi-Agent Systems – Modeling, Control, Programming, Simulations and Applications. InTech., Austria, 2011. Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/bio-inspired-multi-agent-technology-for-industrial-applications>.
- [25] M. Luck, P. McBurney, and O. Shehory and S. Willmott, Agent Technology: Computing as Interaction (A Roadmap for Agent Based Computing), AgentLink, 2005. ISBN 0854328459. <http://www.agentlink.org/roadmap/index.html>.
- [26] Скобелев П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени // Онтология предприятия. – 2012. №1(3). С. 26–48.
- [27] Методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах / Матюшин М.М., Вакурина Т.Г., Котеля В.В., Скобелев П.О., Лахин О.И., Кожеников С.С., Симонова Е.В., Носкова А.И. // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 2(69). – С. 9–17.
- [28] Корпоративная распределенная онтология для управления российским сегментом международной космической станции / Вакурина Т.Г., Лахин О.И., Юрьгина Ю.С., Симонова Е.В., Коршиков Д.Н., Носкова А.И. // Труды XVI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 30 июня–03 июля 2014 г. – Самара: СНЦ РАН, 2014. – С. 435–443.
- [29] Онтология российского сегмента Международной космической станции и ее практическое использование в интеллектуальных аэрокосмических приложениях / Вакурина Т.Г., Котеля В.В., Лахин О.И., Матюшин М.М., Скобелев П.О. // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» 20–22 февраля 2014 г. – Минск: БГУИР, 2014. – С. 221–226.
- [30] Методы представления знаний для решения задач моделирования / Коршиков Д.Н., Лахин О.И., Носкова А.И., Юрьгина Ю.С. // Материалы V Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» 19–21 февраля 2015 г. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 425–428.
- [31] Лахин О.И. Особенности постановки задачи планирования программы полета и грузопотока российского сегмента Международной космической станции // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. «Технические науки». – 2015. – № 3(47).
- [32] Лахин О.И., Майоров И.В. Метод адаптивного планирования грузопотока РС МКС на основе мультиагентных технологий // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т. 16, № 12. – С. 487–852.

УДК 338.48:629.78

**АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ
ПИЛОТИРУЕМОЙ КОСМОНАВТИКИ**

В.А. Сиволап, А.А. Курицын, А.А. Ковинский

Канд. техн. наук В.А. Сиволап; докт. техн. наук А.А. Курицын;
А.А. Ковинский (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются возможности коммерциализации, т.е. получение прибыли, в такой отрасли как пилотируемая космонавтика, которая всегда считалась сугубо государственной. Начиная с запуска первых кораблей, почти 55 лет пилотируемые космические программы являлись прерогативой государства, были символом их мощи и орудием политики. Однако в начале XXI века ситуация поменялась. Роскосмос стал осуществлять коммерческие полеты на российский сегмент МКС. Впервые в США в 2012 году выполнен полет первого частного коммерческого грузового корабля «Dragon» компании SpaceX к МКС, полным ходом создаются частные пилотируемые космические корабли, построен первый частный космопорт «Америка». Пилотируемая космонавтика стала сферой интересов отдельных частных лиц и компаний. При этом частный космос может не только приносить большие прибыли владельцам соответствующих средств, но, как и традиционный, государственный, он ведет к созданию новых технологий, а значит, расширению инновационных возможностей общества. Уже сейчас государственные структуры заимствуют отдельные технологии, изделия и продукты, созданные «частниками». В ближайшие 15–20 лет рынок космических услуг будет поделен, и место частных компаний в нем станет довольно существенным.

Ключевые слова: пилотируемая космонавтика, космический туризм, государственно-частное партнерство.

Analysis of Commercialization Trends of Manned Space Exploration.**V.A. Sivolap, A.A. Kuritsyn, A.A. Kovinsky**

The paper considers commercialization possibilities, i.e. profit earning in such industry as manned spaceflight, which has always been considered to be purely state. During almost 55 years, manned space programs were the state's prerogative, the symbol of its power and a political instrument. However, at the beginning of the 21st century the situation changed. Roscosmos began to fulfill commercial flights to the ISS Russian Segment. In 2012, *Dragon* cargo spacecraft of SpaceX performed the first commercial mission to the ISS; private manned space vehicles are currently being developed on a full scale; the first *America* private spaceport is already built. Manned spaceflight became the sphere of interests of private persons and companies. At that, private cosmos not only brings a great profit to owners of relevant transport resources, but also, similarly to a traditional, state industry, promotes the development of new technologies and thus enhances the innovative capabilities of society. Even now, government institutions borrow some technologies and products, created by private companies. In the next 15–20 years, the market of space services will be divided and the share of private companies would be quite substantial.

Keywords: manned spaceflight, space tourism, public private partnership.

Приведем определение коммерциализации [16] в соответствии с экономическим словарем:

1) широкое использование коммерческих начал в экономике, расширение количества коммерческих организаций;

2) подчинение деятельности целям извлечения прибыли, и с учетом текущего состояния пилотируемой космонавтики в мире, можно определить основные существующие направления коммерциализации пилотируемой космонавтики: космический туризм и государственно-частное партнерство.

Космический туризм – это оплачиваемые из частных средств полеты в космос или на околоземную орбиту в развлекательных или научно-исследовательских целях [4, 11, 12].

Государственно-частное партнерство – совокупность форм средне- и долгосрочного взаимодействия государства и бизнеса для решения общественно значимых задач пилотируемой космонавтики на взаимовыгодных условиях [4, 11, 12].

Рассмотрим первое направление коммерциализации пилотируемой космонавтики.



Рис. 1. Непрофессиональные космонавты, проходившие подготовку к полету на российских ПКА

Программа Международной космической станции открыла новое направление пилотируемой космонавтики – космический туризм [4–5, 11–12, 13]. За 12 лет пилотируемых полетов на МКС десятью непрофессиональными космонавтами успешно выполнено 11 полетов на российских ПКА, всего же в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина проходили подготовку по программе МКС более 20 непрофессиональных космонавтов (рис. 1). Может не всех из них можно в полной мере назвать туристами, т.к. за некоторых полет оплачивали космические агентства. При этом возраст космических туристов варьировался от 23 до 60 лет [1, 4–5]. В настоящее время человек, соответствующий определенным требованиям: здоровье, физическая тренированность и типовые антропометрические данные, заплатив опреде-

ленную сумму денег, может осуществить космический полет и насладиться видами Земли с высоты более 400 км.

К настоящему времени не сложилось единой теоретической трактовки понятия «космический туризм» и «космический турист». Это объясняется сравнительно недавним введением этих выражений в обиход. В этой связи следует разобраться с тем, что представляет собой суть понятия «космический туризм», и можно ли назвать его одним из разновидностей туризма?

Международной конференцией по статистике путешествий и туризма в 1991 году было дано определение: туристом является любой посетитель, т.е. лицо, которое путешествует и осуществляет пребывание в местах, находящихся вне пределов его обычной среды, в течение периода времени, не превышающего 12 месяцев, с любой целью, кроме занятия оплачиваемой там деятельностью.

Под космосом обычно понимается высота, превышающая 100 км над уровнем моря – так называемая линия Кармана, условная верхняя граница атмосферы Земли.

В космическом праве установлено понятие «космического пространства». «Космическое пространство» – область космоса, простирающаяся от внешней границы воздушного пространства (100 километров от поверхности Земли) до пределов лунной орбиты – так называемый ближний космос, и за ее пределами, т.е. далее 384 тысяч километров – дальний космос.

Таким образом, другим определением будет: **космический туризм** – полет или серия полетов одного или нескольких человек в космос, который оплачен из негосударственных средств, на коммерческой основе.

Можно смело заявить, что как минимум, семь туристов на МКС, без сомнения, называются космическими, так как все они выходили за границы воздушного пространства (свыше 100 км) на космическом объекте, оплатив полет из личных средств.

Исходя из вышесказанного, **космический турист** – гражданин, отправляющийся в космическое пространство, простирающееся от условной внешней границы воздушного пространства (100 километров от поверхности Земли) до пределов лунной орбиты – так называемый ближний космос, и за ее пределами, т.е. далее 384 тысяч километров – дальний космос, для временного пребывания в познавательных, профессионально-деловых и иных целях без занятия оплачиваемой деятельностью в период до 12 месяцев подряд.

Согласно исследованиям, проведенным Ховардом Маккарти, экспертом по государственной политике США, доходы от космического туризма превзойдут 1,5 млрд долларов уже к середине следующего десятилетия [9–11].

В России в настоящее время ряд частных компаний работают в отрасли космического туризма и по другим направлениям, кроме МКС [1, 3]. Например, существует проект орбитальной коммерческой космической станции (ККС), представленной компанией «Орбитальные технологии». Международная космическая компания ExcaliburAlmazLimited заявила о создании космической транспортной системы, способной доставлять грузы и людей на низкую космическую орбиту, на Луну и далее. Данная компания предполагает использовать корабли и модули, оставшиеся по программе «Алмаз». На рис. 2 представлена связка корабля ТКС и модуля, создававшегося для станции «Алмаз».

По заявлению руководства РКК Энергия, существует проект облета Луны с использованием транспортного корабля типа «Союз». Данный проект включает в себя промежуточную стыковку к МКС. Предложенный проект очень сложный, однако существующие технические возможности позволяют это сделать [3].

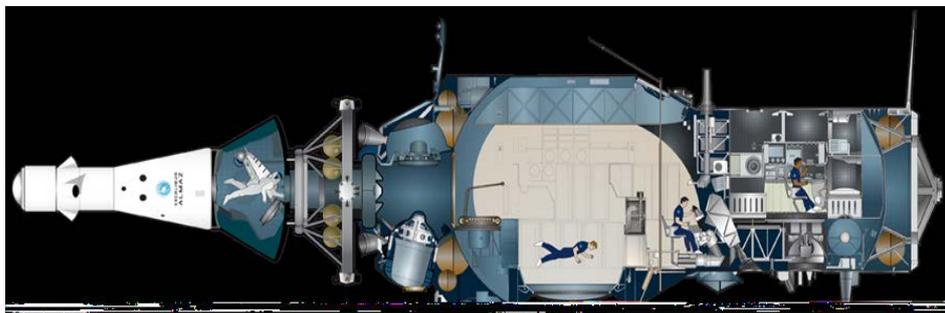


Рис. 2. Пилотируемая космическая транспортная система компании ExcaliburAlmazLimited (РФ, США)

В планах российских разработчиков (Ракетно-космическая корпорация «Энергия») еще один модифицированный корабль – пилотируемый корабль нового поколения (ПТК НП) – 4-местный, двое из экипажа корабля могут быть туристы (рис. 3) [3, 6–8, 14]. Отличие конструкции в том, что кресла экипажа располагаются не в одном ряду, а друг напротив друга.

Планируется, что ПТК НП будет стартовать с российского космодрома «Восточный» в Амурской области.

Планируемая численность экипажа:

- при полетах к МКС, орбитальной пилотируемой станции – доставка экипажа до четырех человек, возвращение экипажа до шести человек;
- при полетах к Луне – 2–4 человека;
- при выполнении автономного полета – до четырех человек (определяется целевыми задачами).

На пилотируемых кораблях возможно предоставление коммерческих услуг в рамках космического туризма.



Рис. 3. ПТК НП в полете

Решение правительства США допустить частные компании реализовывать самостоятельно проекты пилотируемых полетов вызвало настоящий бум космического туризма в США [4]. Компания Bigelow Aerospace заявила о намерении построить первую частную космическую гостиницу, тестовые запуски прототипов надувных модулей уже были осуществлены. Станция будет состоять из надувных элементов «Sundancer» и «ВА 330», стыковочного узла, солнечных батарей и пристыкованных пилотируемых капсул (рис. 4). НАСА и компания Bigelow Aerospace в 2016 году планируют отправить к МКС для тестов первый надувной жилой модуль BEAM (Bigelow Expandable Activity Module). Модуль планируется запустить с помощью ракеты-носителя Falcon 9 компании SpaceX.



Рис. 4. Проект космической гостиницы компании Bigelow Aerospace

Компания ParagonSpaceDevelopment представила проект уникального стратостата, в котором капсула с туристами будет подниматься на высоту более 30 км. Ряд компаний активно создают туристические суборбитальные корабли. В 2011 году молодая компания Stratolaunch Systems анонсировала проект воздушного старта ракет-носителей среднего класса (рис. 5). Идея воздушного старта стара, однако никто еще не смог создать самолет размером с два Боинга 747. Такой самолет позволит запускать ракеты, способные выводить на низкую орбиту корабли класса «Союз». В случае успеха по заявлению организаторов стоимость выведения 1 килограмма полезной нагрузки на орбиту может быть уменьшена на порядок.



Рис. 5. Проект воздушного старта компании Stratolaunch Systems

Ближе всех к цели проведения туристических суборбитальных полетов подошла компания VirginGalactic с кораблем SpaceShipTwo и самолетом-носителем WhiteKnightTwo. SpaceShipOne уже осуществлял полеты на высоту более 100 км.

На рис. 6 показан полет корабля SpaceShipTwo. Первые полеты с туристами планировались уже в текущем году, продано значительное количество билетов по цене от 200 до 250 тысяч долларов. Однако, к большому сожалению, первый построенный образец корабля разбился во время испытаний, один из пилотов погиб. Компания заявляет о продолжении программы, второй корабль готов более чем на 50 %.



Рис. 6. Частный космопорт «America» (США) и SpaceShipTwo с самолетом-носителем WhiteKnightTwo

Создание целой космической отрасли на деньги частного капитала – это своего рода революция, которая кардинально ускоряет темпы развития всей космонавтики в целом. В США для запуска суборбитальных аппаратов уже создан первый в мире космопорт с названием «America» в пустыне Мохаве (Нью-Мексико). В будущем для полетов суборбитальных кораблей SpaceShipTwo во всем мире планируется постройка нескольких космопортов. Сейчас существуют проекты создания кораблей такого класса и в России. Суборбитальные рейсовые полеты могут иметь хорошую перспективу, к примеру, суборбитальный полет из Америки в Россию будет занимать всего 3–4 часа вместо 9–11 как сейчас.

Виды и качество услуг, предоставляемых туристам в полетах на российских пилотируемых космических кораблях и полетах на суборбитальных аппаратах, существенно отличаются. Каждый кандидат на полет должен сам решать, чему он должен отдать предпочтение. Также можно отметить, что по правилам Международной федерации космонавтики (в отличие от США) космонавтом или астронавтом, выполнившим космический полет, может называться человек, выполнивший два условия: поднялся на высоту выше 100 км и совершил не менее одного облета вокруг Земли. Таким образом, туристы, выполнившие суборбитальный полет, в Международной классификации астронавтов (космонавтов) официально учитываться не будут.

Если рассмотреть перспективы космического туризма в мире, представленные ранее, то можно определить 4 возможных направления космического туризма в будущем (рис. 7):



Рис. 7. Предполагаемые направления развития космического туризма

1. Длительные полеты космических туристов более одного месяца, которые включают в себя полеты на коммерческие (международные, национальные) орбитальные космические станции и полеты в дальний космос на вновь разрабатываемых кораблях типа ПТК НП и Orion.

2. Полеты космических туристов длительностью от 15 суток до месяца. Такие полеты могут осуществляться как на орбитальных космических станциях, так и в процессе автономных полетов орбитальных космических кораблей типа ПТК НП, частных кораблей Dragon V2, CST-100 «Starliner» и т.п. Предположительная длительность автономного полета данных кораблей может достигать 30 суток.

3. Полеты космических туристов длительностью до 15 суток, как это происходит в настоящее время при полетах к МКС. Такого рода полеты наиболее отработаны, несколько суток вполне достаточно, чтобы ощутить все факторы космического полета, провести на борту корабля символическую деятельность, полюбоваться Землей из космоса. Такие полеты могут осуществляться и на борту орбитальных космических кораблей, возможны полеты на геостационарную орбиту и внутри лунной орбиты и т.п.

4. Суборбитальные полеты длятся менее суток. Кроме корабля SpaceShipTwo в настоящее время еще ряд компаний из нескольких стран заявили о создании проектов суборбитальных кораблей.

Видимо, к наземному космическому туризму можно отнести туры, позволяющие всем заинтересованным лицам получить на Земле ощущения, сопоставимые с выполнением космического полета, т.е. испытать себя на центрифуге, в барокамере, гидролаборатории, самолете-лаборатории, на космическом тренажере. В настоящее

время Центр подготовки космонавтов может оказывать такие услуги. Также предлагаются программы космической подготовки по различным направлениям. В 2010 году в ЦПК был открыт первый в России молодежный Космоцентр [1].

Второе возможное направление коммерциализации пилотируемых космических программ – это **государственно-частное партнерство**. В России данное понятие существует и активно используется в ряде отраслей, например, строительство автотрассы Москва–Санкт-Петербург.

В настоящее время в России существует несколько перспективных пилотируемых транспортных систем. Но реализуются только два: создание корабля «Союз МС», как следующей модификации корабля «Союз», и разработка пилотируемого транспортного корабля нового поколения ПТК НП, все разработки РКК «Энергия». Однако заказчиком этих работ является государство и выполняются они полностью под его контролем, поэтому назвать эти проекты коммерческими трудно.

В начале этого века в США предложили новую форму привлечения частных компаний в пилотируемую космонавтику, для чего внедрены две программы по развитию национальной коммерческой космической индустрии: Commercial Cargo Program и Commercial Crew Development. Задачами этих программ являются использования возможностей частного бизнеса для осуществления пилотируемых программ. Программа ССр уже полностью отработана и две коммерческие компании SpaceX и Orbital начали активную доставку грузов на МКС [9–10].

В ближайшее время появятся первые частные пилотируемые космические корабли, способные осуществлять доставку астронавтов на низкие околоземные орбиты как по программе МКС, так и в туристических целях (таблица – программа Commercial Crew Development о предоставлении финансов коммерческим компаниям для развития пилотируемых космических аппаратов в США с 2010 по 2014 год) [14].

Таблица

Коммерческая программа США по транспортировке экипажей –
Commercial Crew Development (CCDev)

Этапы программы CCDev (годы):	CCDev1 (2010–2011)	CCDev2 (2011–2012)	CCiCap (2012–2014)	CPC1 (2013–2014)	Общее (2010–2014)
Затраты на создание ПКА (млн долл.):					
The Boeing Company	18.0	92.3 + 20.6	460.0 + 20.0	9.9	620.8
Blue Origin	3.7	22.0	–	–	25.7
Sierra Nevada Corporation	20.0	80.0 + 25.6	212.5 + 15.0	10.0	363.1
SpaceX	–	75.0	440.0 + 20.0	9.6	544.6
Excalibur Almaz	–	0	–	–	0
Общее:	41.7	315.5	1167.5	29.5	1554.2

Наибольшую финансовую поддержку получила компания Boeing с их кораблем CST-100 «Starliner» (Boeing) (рис. 8). Корабль CST-100 «Starliner» должен быть чуть крупнее «Аполлона», экипаж корабля может составлять до 7 человек. В космос его сможет поднимать либо Atlas V, либо Delta IV, либо Falcon 9. «100» в названии этой машины означает высоту самой низкой околоземной орбиты в ки-

лометрах, номинальную границу космоса. CST-100 создают не только для рейсов к МКС. Предполагается, что новый корабль от Boeing будет возить в космос космических туристов и летать к частной космической гостинице «Bigelow». Также финансовую поддержку получили проекты кораблей «Dream Chaser» (Sierra Nevada) (рис. 9) и «Dragon V2» (SpaceX) (рис. 10). Кстати, корабль «Dream Chaser» внешне является полным аналогом корабля, разрабатываемого в СССР в XX веке по проекту Спираль.

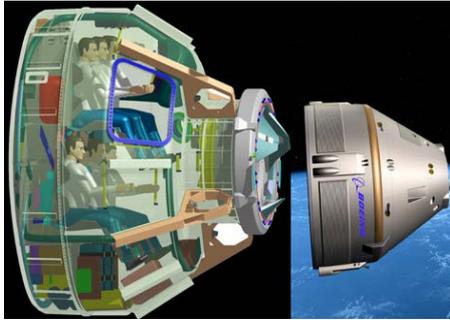


Рис. 8. CST-100 компании Boeing

Рис. 9. «Dream Chaser»
компании Sierra Nevada

Рис. 10. «Dragon V2» компании SpaceX

Но, как и в России, в США существует и государственная программа по пилотируемым космическим аппаратам. К ней относится программа по созданию многоцелевого космического корабля «Орион» (рис. 11) [4]. «Орион» разрабатывается только в интересах НАСА для полетов к Луне и в дальний космос.

С учетом заявлений Берта Рутана, разработчика корабля SpaceShip, составлен прогноз возможного количества космических туристов до 2100 года. По этому прогнозу к концу столетия с учетом суборбитальных полетов в космосе уже может побывать от 400 до 700 тысяч человек (рис. 12) [2, 4].

Таким образом, по результатам проведенных исследований коммерциализации пилотируемой космонавтики можно сделать следующие выводы:

1. Полеты человека на околоземную орбиту становятся повседневным событием, технология доставки человека на низкую орбиту (200–500 км) достаточно хорошо отработана за 55 лет полетов. В связи с этим в ближайшие десятилетия

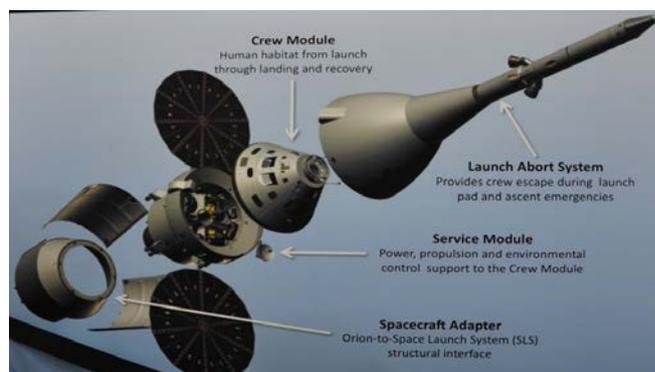
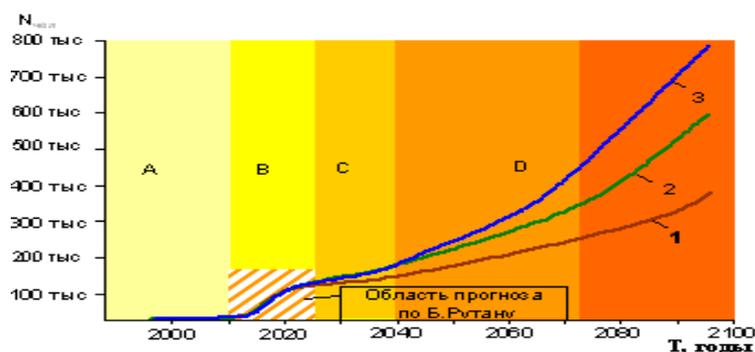


Рис. 11. Структура многоцелевого космического корабля «Орион»

Рис. 12. Количество туристов в космосе
(нарастающим итогом по годам, 1, 2, 3 – различные варианты прогноза: умеренный, оптимистический, сверхоптимистический)

частный бизнес активно будет внедряться на рынок услуг, связанных с пилотируемым космосом. Частный космос освоит космический туризм во всех его формах. Туриндустрия станет осваивать пилотируемый космос очень интенсивно, завоевывающая постепенно все новые и новые рубежи: суборбитальные полеты, короткие орбитальные полеты на космолайнерах (несколько витков вокруг Земли), длительные полеты на ПКА, полеты в многоместных орбитальных отелях и пр. Другими сферами занятости частного бизнеса в пилотируемой космонавтике будет доставка грузов и людей на пилотируемые орбитальные комплексы. Можно ожидать, что к середине века эта ниша частными фирмами будет заполнена достаточно хорошо.

2. Неуклонный ежегодный рост объемов как спроса, так и предложений рынка космического туризма, появление все новых партнеров и новых областей коммерческого сотрудничества не только свидетельствует о растущей заинтересованности все большего количества стран космическими разработками, но и, безусловно, открывает возможности перед учеными из стран, не имеющих соответствующей космической базы, принимать участие в космических проектах и разработках. Это способствует объединению усилий ученых и разработчиков из разных стран, накоплению опыта международного сотрудничества в такой важной и перспективной сфере

деятельности человека как освоение космоса, что, в конечном итоге, способствует прогрессивному развитию не только отрасли, но и общества в целом.

3. Чтобы своевременно и эффективно использовать возможности частного бизнеса в российской пилотируемой космонавтике, нужно уже сейчас создавать для него необходимые условия и в первую очередь нормативно-правовую базу, которая сейчас, в отличие от США, в России практически отсутствует. Все изделия частных компаний должны соответствовать требованиям безопасности, установленным государственными органами. Это ограничение коммерческие фирмы должны принимать безоговорочно.

По мнению главы Госкорпорации И.А. Комарова «Роскосмос» заинтересован в привлечении частных инвесторов и в развитии рынка космических технологий. «Это позволит сосредоточиться на научных исследованиях, прорывных технологиях, меньше заниматься коммерцией, если частные компании будут это делать более эффективно» [15].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лончаков Ю.В. Центр подготовки космонавтов на пути инновационного развития (к 55-летию НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина) // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(14). – 2015.
- [2] Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года / Под ред. акад. РАН Б.Е. Чертока. – М.: Изд-во «РТСофт», 2010. – 846 с.
- [3] Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы. – М.: РКК «Энергия», 2011. – 584 с.
- [4] Концепции, направления и перспективы развития мировой пилотируемой космонавтики / Крючков Б.И., Курицын А.А., Ярополов В.И. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2013.
- [5] Особенности подготовки непрофессиональных космонавтов к полетам на МКС / Крючков Б.И., Курицын А.А. Харламов М.М. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(15). – 2015.
- [6] Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева в первом десятилетии XXI века (2001–2010). – М.: РКК «Энергия», 2011. – 832 с.
- [7] Государственная программа Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013–2020 годы» (распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 2594-р), <http://www.federal-space.ru/115/>.
- [8] Курицын А.А., Сохин И.Г. Опыт создания орбитальных пилотируемых комплексов в мире и анализ перспектив их развития // Вопросы истории естествознания и техники. – 2011. – Вып. 3.
- [9] Commercial Resupply Launch. URL:http://www.nasa.gov/mission_pages/station/living/launch/index.html.
- [10] Dragon Readies for Operational Delivery. URL:http://www.nasa.gov/mission_pages/station/living/launch/crs1missionpreview.html.
- [11] Ковинский А.А. Направления коммерциализации пилотируемых космических программ в России и США // Материалы XX научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, г. Королёв, Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева, 2014. – С. 697–698.
- [12] Ковинский А.А., Курицын А.А. Пилотируемые проекты исследования Луны и окололунного пространства // Материалы XLIX научных чтений памяти К.Э. Циолковского «К.Э. Циолковский и инновационное развитие космонавтики» – Калуга: Изд-во «Эйдос», 2014 – С. 80-81.
- [13] Training Space Tourists to Fly the ISS / Boris Kryuchkov, Andrei Kuritsyn, Alexander Kovinsky //Room. The Space Journal #2 (4) 2015. – London, Great Britain.
- [14] <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
- [15] <http://www.kem.kp.ru/daily/26476.5/3345713/>.
- [16] http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ_dict/7570

УДК 004.896:331.101.1

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К РОБОТУ-ПОМОЩНИКУ ЭКИПАЖА ПИЛОТИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.Г. Сорокин, И.Г. Сохин

Канд. воен. наук, доцент В.Г. Сорокин; докт. техн. наук, доцент И.Г. Сохин
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Предложен подход к обоснованию структуры эргономических требований к характеристикам антропоморфного робота-помощника экипажа пилотируемого космического комплекса на основе анализа эргатической системы «космонавт–робот-помощник экипажа–профессиональная среда деятельности».

Ключевые слова: антропоморфная робототехническая система, космонавт, пилотируемый космический комплекс, профессиональная среда деятельности, робот-помощник экипажа, эргономические требования.

System Approach to the Substantiation of Ergonomic Requirements for the Robotic Assistant of a Crew aboard Manned Space Complexes.

V.G. Sorokin, I.G. Sokhin

The paper suggests an approach to the substantiation of the structure of ergonomic requirements for characteristics of the anthropomorphic robotic assistant of a crew of a manned space complex on basis of an analysis of the ergatic system “cosmonaut – robotic assistant of a crew – professional activity environment”.

Keywords: anthropomorphic robotic system, cosmonaut, manned space complex, professional activity environment, robotic assistant of a crew, ergonomic requirements.

Введение

Реализация целей пилотируемой космонавтики предполагает существенное усложнение деятельности экипажей существующих и перспективных пилотируемых космических комплексов (ПКК) и увеличение объемов работ, связанных с техническим обслуживанием, выполнением трудоемких монтажно-восстановительных работ, рутинных и опасных операций. В этой связи особый интерес представляет использование антропоморфных робототехнических систем (АРТС) в качестве роботов-помощников экипажей (РПЭ) ПКК для поддержки их внутрикорабельной деятельности (ВнуКД), а в перспективе и напланетной деятельности.

Задачами, решаемыми АРТС в ходе ВнуКД, как показывают результаты исследований, проведенных в НИИ ЦПК [1, 2, 3], могут быть:

- техническое обслуживание бортовых систем и аппаратуры ПКК (плановые рутинные операции экипажа и аварийно-спасательные операции);
- операционная поддержка деятельности экипажа ПКК (функция «третьей руки» – подать инструмент, подсветить рабочую зону и т.п.);
- информационная поддержка деятельности экипажа (представление управляющей и справочной информации в реальном масштабе времени);
- психологическая поддержка членов экипажа ПКК.

В современных условиях в связи с отсутствием опыта применения РПЭ в космической деятельности актуальность приобретает эргономическое сопровождение процесса их создания, испытаний и эксплуатации. Эргономическое сопро-

вождение проектирования АРТС необходимо, в частности, для обоснования эргономических требований к АРТС, включения этих требований в состав технических заданий на выполнение опытно-конструкторских работ по созданию образцов АРТС. Эргономические требования должны обеспечить оптимизацию совместной деятельности космонавта и АРТС в условиях космического полета.

Для обоснования структуры эргономических требований к характеристикам РПЭ предлагается использовать системный подход. В основе данного подхода лежит целостный, всесторонний и комплексный анализ взаимосвязей космонавта-оператора и АРТС при их совместной деятельности. Для реализации принципов системного подхода при выборе структуры эргономических требований к характеристикам РПЭ необходимо исследовать сложную эргатическую систему (ЭС) «космонавт-РПЭ-профессиональная среда деятельности» и факторы, влияющие на эффективность ее функционирования.

Модель эргатической системы «космонавт-робот-помощник экипажа-профессиональная среда деятельности»

Модель исследуемой ЭС «космонавт-РПЭ-профессиональная среда деятельности» представлена на рис. 1 [1, 2, 3].



Рис. 1. Модель ЭС «космонавт-РПЭ-профессиональная среда деятельности»

Структурными компонентами разработанной модели ЭС являются космонавт-оператор (оператор РПЭ), представляющий собой сложную биологическую систему, робот-помощник экипажа (АРТС), представляющий собой сложную техническую систему, и профессиональная среда деятельности, представляющая собой некую среду, в которой осуществляется профессиональная деятельность космонавта-оператора [1, 2, 3].

РПЭ включает в себя автоматизированное антропоморфное исполнительное устройство и человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), представляющий собой интеллектуальную систему взаимодействия оператора РПЭ с роботом.

ЧМИ позволяет оператору РПЭ осуществлять взаимодействие и управлять РПЭ на значительном удалении от места проведения работ, т.е. дистанционно.

На деятельность оператора РПЭ в составе эргатической системы существенное влияние оказывает профессиональная среда и ЧМИ. Профессиональная среда деятельности включает в себя материальную и организационную среды. Первая из них характеризует рабочее место оператора РПЭ, а вторая – условия организации деятельности оператора РПЭ на рабочем месте.

Качество и эффективность функционирования ЭС зависит от множества факторов различной природы – технических, психологических, организационных. В частности, эффективность взаимодействия человека-оператора и АРТС зависит от идеологии построения ЧМИ – от оптимальности распределения функций между оператором РПЭ и антропоморфным роботом, от характеристик средств отображения информации и органов управления и др. Основная задача при разработке и применении РПЭ заключается в обеспечении взаимной адаптации требований к техническим характеристикам РПЭ и реальных возможностей и способностей человека, организации процесса управления таким образом, чтобы его сложность (т.е. требования, предъявляемые к оператору РПЭ) соответствовали биологическим возможностям человека. Формирование оптимальных требований к РПЭ и ЭС в целом возможно лишь при условии комплексного анализа и учета как всех внешних факторов, зависящих от исполнительного устройства, ЧМИ и профессиональной среды деятельности оператора РПЭ, так и внутренних факторов, определяемых психофизиологическим состоянием оператора РПЭ и состоянием его подготовленности [1, 2, 3].

Внешние по отношению к человеку-оператору факторы (рис. 2), распределенные по трем группам (технического объекта управления, ЧМИ и окружающей среды), отражают специфику предметной области и определяются условиями, в которых осуществляется деятельность космонавта-оператора.

Факторы технического объекта управления (ТОУ), от которых существенно зависит характер и особенности деятельности человека-оператора РПЭ, сведены в три блока: сложность, ограничения, надежность. Как показывает практика эксплуатации различных ЭС, наиболее существенным фактором является сложность ТОУ [1, 2, 12].



Рис. 2. Внешние факторы системы «космонавт (оператор РПЭ)–профессиональная среда деятельности»



Рис. 3. Факторы технического объекта управления

Факторы сложности ТОО классифицированы по трем направлениям, различаемым при проведении системных эргономических исследований (рис. 3):

– *техническая* сложность ТОО, традиционно определяемая такими характеристиками, как число элементов системы, число взаимосвязей между ними и характер их поведения;

– *операциональная* сложность ТОО для оператора РПЭ, определяемая существующим ЧМИ, выполняющим обработку и представление информации, а также автоматизирующим часть функций управления ТОО;

– *субъективная* сложность ТОО для оператора РПЭ – индивидуальная для каждого конкретного человека-оператора, зависящая от его знаний, опыта и индивидуальных способностей.

Факторы, накладываемые ограничения на ТОО, классифицированы на *временные; точностные; опасности*.

Факторы надежности ТОО классифицированы на *частоты отказов; наложение отказов* [15].

Человеко-машинный интерфейс служит посредником между оператором РПЭ и ТОО и практически полностью определяет качество и эффективность взаимодействия между ними. Структура факторов, определяемых ЧМИ, представлена на рис. 4.

Окружающая среда – это все то, что окружает и обеспечивает деятельность человека-оператора (ЧО) в составе ЭС, оказывая влияние на его состояние, работоспособность, настроение и другие внутренние свойства ЧО.

Факторы, определяемые окружающей средой, разделены на факторы материальной среды (рис. 5) и организационной среды (рис. 6).

Факторы материальной среды подразделяются на два блока: рабочая среда и рабочее место.

Факторы рабочей среды определяются рабочими условиями (физическими и санитарно-гигиеническими факторами), которые окружают оператора РПЭ в его рабочей области [13].



Рис. 4. Факторы человеко-машинного интерфейса



Рис. 5. Факторы материальной среды



Рис. 6. Факторы организационной среды

Факторы рабочего места определяются рабочим расположением, рабочим пространством и экипировкой, а также оснащением средствами отображения информации, органами управления и вспомогательным оборудованием [10].

Факторы организационной среды подразделяются на четыре блока: операционная, напряженность деятельности, организация работы, профессиональная подготовка.

Факторы операциональной среды определяются структурой деятельности, алгоритмами деятельности и процедурами.

Факторы напряженности деятельности определяются степенью физической, операционной, информационной нагрузок, интеллектуальными и эмоциональными способностями.

Факторы организации работы определяются режимом работы и характером и результатами групповой деятельности.

Факторы профессиональной подготовки определяются качеством отбора кандидатов в космонавты, наземной подготовкой, подготовкой на борту ПККА.

Структура эргономических требований к роботу-помощнику экипажа пилотируемого космического комплекса

Исходя из структуры факторов, определяющих эффективность функционирования ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности», и требований ряда государственных эргономических стандартов [8–10, 12–14], построена разветвленная структура эргономических требований к РПЭ.

Структура общих требований к организации эргатической системы «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности» представлена на рис. 7.



Рис. 7. Структура общих требований к организации ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности»



Рис. 8. Структура общих требований к характеристикам организации деятельности оператора РПЭ в ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности»



Рис. 9. Структура общих требований к характеристикам технических средств обеспечения деятельности оператора РПЭ в ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности»

Структура общих требований к характеристикам организации деятельности оператора РПЭ в ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности» применительно к алгоритмам деятельности и информационным моделям представлена на рис. 8.

Структура общих требований к характеристикам технических средств обеспечения деятельности оператора РПЭ в ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности» представлена на рис. 9.

Структура общих требований к характеристикам средств формирования и поддержания работоспособности оператора РПЭ в ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности» представлена на рис. 10.

Структура общих требований к характеристикам ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности», обусловленных факторами внешней среды представлена на рис. 11.

Структуризация эргономических требований к характеристикам ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности» позволит наметить программу дальнейших эргономических исследований с целью формирования эргономических требований в форме системы количественных и качественных показателей.

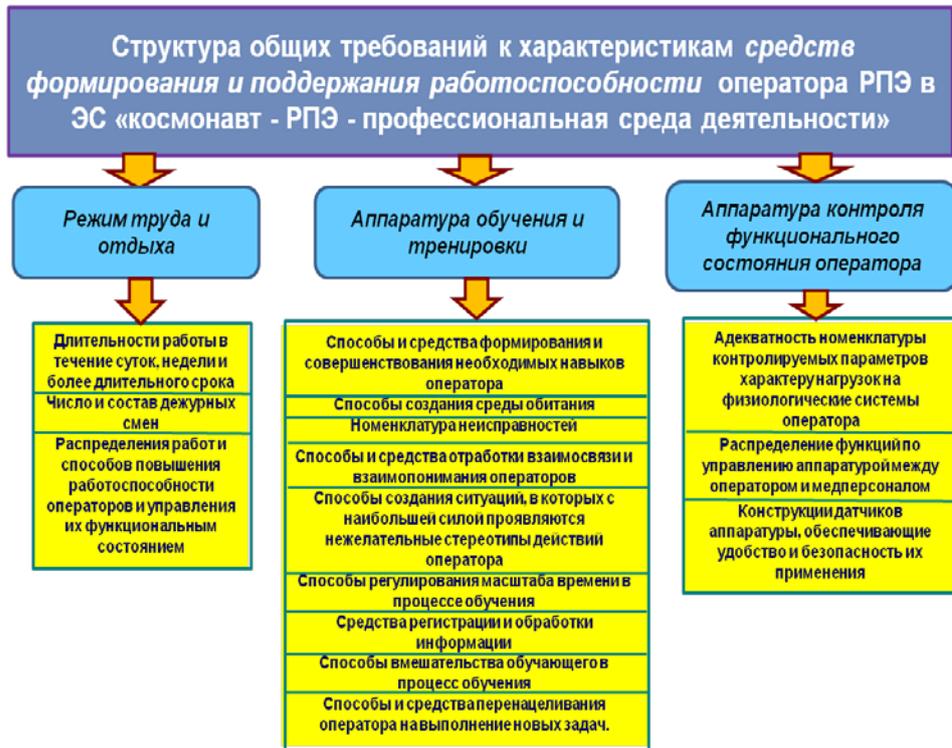


Рис. 10. Структура общих требований к характеристикам средств формирования и поддержания работоспособности оператора РПЭ в ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности»



Рис. 11. Структура общих требований к характеристикам ЭС «космонавт–РПЭ–профессиональная среда деятельности», обусловленных факторами внешней среды

Заключение

На основании системного подхода к анализу взаимодействия космонавта-оператора с роботом-помощником обоснована комплексная структура эргономических требований к функционированию эргатической системы «космонавт-робот-помощник экипажа-профессиональная среда деятельности» и к роботу-помощнику экипажа, в частности. Данная структура может быть положена в основу разработки детальных эргономических требований к создаваемым роботам-помощникам экипажей перспективных ПКК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Применение антропоморфных робототехнических систем для поддержки деятельности экипажей перспективных пилотируемых комплексов / Сорокин В.Г., Сохин И.Г., Крючков Б.И. // Тезисы докладов 8 Международного аэрокосмического конгресса. – М., 2015. – С. 40–45.
- [2] Сохин И.Г., Сорокин В.Г. Эргономическое сопровождение создания антропоморфных робототехнических систем для поддержки деятельности экипажей // Тезисы докладов 8 Международного аэрокосмического конгресса. – М., 2015. – С. 270–271.
- [3] Эргономические проблемы создания и применения антропоморфных роботов-помощников экипажей перспективных космических миссий / Лончаков Ю.В., Сиволап В.А., Сохин И.Г. // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб., 2015. – С. 191–199.
- [4] Анохин А.Н., Острейковский В.А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 2001.
- [5] Бурдаев М.Н., Сосюрка Ю.Б. Космическая эргономика и эргономические принципы экспериментальной отработки и испытаний образцов космической техники. Учебное пособие. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звёздный городок, 2012.
- [6] ГОСТ РВ 29.08.005-2000. Алгоритмы деятельности операторов образцов вооружения и военной техники. Методы контроля эргономических требований.
- [7] ГОСТ В 29.04.002-84. Алгоритм и структура деятельности оператора. Общие эргономические требования.
- [8] ГОСТ РВ 29.05.007-96. Интерфейс человеко-машинный. Общие эргономические требования.
- [9] ГОСТ РВ 29.05.012-99. Информационное обеспечение деятельности операторов вооружения и военной техники. Общие эргономические требования.
- [10] ГОСТ 26387-84. Система «человек-машина». Термины и определения.
- [11] ГОСТ РВ 29.05.009-97. Технические средства поддержки функционального состояния и работоспособности оператора военной техники. Общие эргономические требования.
- [12] ГОСТ 20.39.108-85. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора.
- [13] ГОСТ Р ЕН 614-1-2003. Эргономические принципы конструирования. Термины, определения и общие принципы.
- [14] ГОСТ РВ 29.00.002-2005. Эргономическое обеспечение. Основные положения.
- [15] Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. – М., 1982.

УДК 629.78.007

ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В.С. Коренной, П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов

Канд. техн. наук В.С. Коренной; канд. техн. наук П.П. Долгов;
канд. техн. наук Е.Ю. Иродов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассмотрены вопросы безопасного функционирования робототехнической системы, предназначенной для технической поддержки экипажей пилотируемых космических комплексов в процессе осуществления внекорабельной деятельности. Определены возможные потенциальные опасности, связанные с использованием робототехнической системы на борту перспективного пилотируемого комплекса. Разработаны предложения по предотвращению штатных и аварийных ситуаций, минимизации опасностей для космонавтов и перспективного пилотируемого комплекса.

Ключевые слова: робототехническая система, внекорабельная деятельность, опасности, штатные ситуации.

Security Issues of Application of a Space Robotic System during Extravehicular Activity. V.S. Korennoy, P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov

The paper discusses issues of the safe operation of a robotic system designed for supporting crews of manned space complexes during extravehicular activity. Feasible potential dangers associated with the use of robotic systems on the board of future manned complex were determined. Suggestions on preventing off-nominal and emergency situations, minimizing hazards for cosmonauts and a manned complex have also been developed.

Keywords: robotic systems, extravehicular activity, dangers, off-nominal situations.

Современная космическая робототехника представляет собой перспективное научно-техническое направление. Робототехнические системы космического назначения сегодня активно разрабатываются и используются в международных космических проектах США, Канады, Японии, стран Европейского союза.

Для технической поддержки экипажа пилотируемого космического комплекса (ПКК) в процессе осуществления внекорабельной деятельности (ВКД) наиболее актуальной представляется разработка робототехнической манипуляционной системы (РТМС) [1, 2]. Робототехническая манипуляционная система – это многофункциональное мобильное робототехническое средство, способное решать широкий спектр задач, связанных с транспортировкой полезного груза (ПГ) и выполнением манипуляционных операций на внешней поверхности космических объектов.

Для повышения эффективности деятельности космонавтов при выполнении работ в открытом космосе РТМС на борту российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) может выполнять следующие операции [3]:

- транспортировка укладок с оборудованием и инструментом;
- периодическая замена экспонируемых образцов;
- запуск малых космических аппаратов с борта МКС;
- фотографирование результатов работы на внешней поверхности станции, т.е. инспекция локальных областей внешней поверхности станции;
- инспекция внешней поверхности МКС.

Для РТМС, предназначенной для работы на перспективных ПКК, перечень операций может быть расширен и в него могут быть введены следующие работы [3]:

- инспекция и контроль состояния аппаратуры, а также систем ПКК;
- монтаж (демонтаж) и обслуживание аппаратуры и систем ПКК;
- погрузка (разгрузка) шлюзовых камер;
- транспортировка полезного груза по внешней поверхности ПКК;
- сборка конструкций, монтажно-демонтажные работы;
- ремонтно-восстановительные работы.

Эффективное функционирование РТМС зависит, прежде всего, от их безопасной и безаварийной работы. Поэтому одной из специфических особенностей, с которой приходится сталкиваться, в первую очередь, при эксплуатации РТМС, является их повышенная опасность для окружающего оборудования, элементов конструкции и космонавта-оператора, работающего в непосредственной близости от РТМС. При этом помимо традиционных опасностей, присущих любому технологическому оборудованию, РТМС несут ряд новых потенциальных источников опасностей:

- манипулятор РТМС, представляющий собой многозвенный механизм, часто значительных размеров, обладающий несколькими степенями подвижности и перемещающийся с достаточно высокой скоростью, может оказаться в любой точке рабочей зоны неожиданно для космонавта-оператора, причинив механические повреждения скафандру;

- движения или действия РТМС могут быть столь сложны, что даже космонавт-оператор не может уверенно предполагать, какими они будут в следующий момент. Например, «отключенный» на первый взгляд робот может внезапно начать движение, перемещение манипуляторов, сжатие захватного устройства и т.п.;

- поведение РТМС, определяемое управляющей программой и качеством комплектующих элементов устройства управления, в случае ошибок в программе либо сбоя в микросхемах может стать вообще непредсказуемым;

- манипулирование на значительных скоростях полезным грузом, обладающим часто большими габаритами и массой, при ненадежном их удержании либо ошибочном раскрытии захватного устройства представляет опасность повреждения внешней поверхности ПКК или травмирования космонавта-оператора выпавшим ПГ.

Опасности, которые могут быть вызваны со стороны РТМС, можно разделить на две группы:

- опасности, которые могут возникнуть для космонавта-оператора: столкновение, повреждение скафандра, травмирование космонавта (вплоть до смертельного), вызванные нерасчетными или аварийными движениями РТМС;

- опасности, которые могут возникнуть для технических средств или внешней поверхности ПКК: повреждение, поломка, уничтожение оборудования или внешней поверхности, вызванные нерасчетными или аварийными движениями РТМС.

На основе анализа требований по безопасности при внекорабельной деятельности и при использовании робототехники на борту Международной космической станции [4], а также анализа работ и операций, выполненных на российском сегменте МКС по время выходов в открытый космос [5, 6], были определены возможные потенциальные опасности, связанные с использованием РТМС на борту ПКК. Укрупненный перечень возможных нештатных (аварийных) ситуаций при работах с РТМС и основные мероприятия по их предотвращению (выходу из них) представлены в таблице.

Таблица

Укрупненный перечень возможных нештатных (аварийных) ситуаций при работах с РТМС и основные мероприятия по их предотвращению

Возможная нештатная (аварийная) ситуация	Последствия	Мероприятия по предотвращению нештатных ситуаций
Выход из строя (или полная разрядка) источника питания (аккумулятора)	РТМС не может передвигаться по поверхности станции	Осуществление внепланового выхода. Подключение к внешней базовой точке для подзарядки аккумулятора. Эвакуация РТМС в герметичный отсек для замены аккумулятора
Выход из строя систем манипуляторов (или одного из них), обеспечивающих передвижение по такелажным элементам	РТМС не может передвигаться по поверхности станции (заваливается на одну сторону)	Аварийный останов РТМС. Осуществление внепланового выхода, приведение РТМС в транспортировочное положение, эвакуация РТМС в герметичный отсек для ремонта
Выход из строя захватных устройств базового блока	РТМС не может передвигаться по поверхности станции, отсутствует надежное безлюфтовое крепление на такелажных элементах	Аварийный останов РТМС. Осуществление внепланового выхода, приведение РТМС в транспортировочное положение, эвакуация РТМС в герметичный отсек для ремонта
Выход из строя систем манипулятора, обеспечивающих перемещение полезной нагрузки	РТМС не может выполнять операции по перемещению ПГ	Аварийный останов РТМС. Программный перевод РТМС в герметичный отсек для ремонта
Выход из строя захватных устройств манипулятора	РТМС не может выполнять операции по захвату ПГ	Аварийный останов РТМС. Программный перевод РТМС в герметичный отсек для ремонта
Выход из строя устройства фиксации ПГ на базовом блоке	РТМС не может выполнять операции по перемещению грузов	Аварийный останов РТМС. Программный перевод РТМС в герметичный отсек для ремонта
Выход из строя системы технического зрения	РТМС не может выполнять целевые операции	Аварийный останов РТМС. Осуществление внепланового выхода, эвакуация РТМС в герметичный отсек для ремонта
Выход из строя блока осветителей	РТМС может ограниченно выполнять свои функции на световом участке орбиты, и не сможет выполнять на теневом участке	На освещенном участке орбиты выполнить переход РТМС к шлюзовой камере, осуществить ввод в герметичный отсек для ремонта
Выход из строя приемно-передающего устройства	РТМС не воспринимает команды и не может выполнять целевые операции	Осуществление внепланового выхода, эвакуация РТМС в герметичный отсек для ремонта
Самопроизвольная (неконтролируемая) работа РТМС	РТМС осуществляет самопроизвольные движения манипуляторов и захватывающих устройств	Аварийный останов РТМС. Осуществление внепланового выхода, отключение питания, эвакуация РТМС в герметичный отсек для ремонта
Остановка или застревание РТМС в шлюзовой камере	Невозможность использования шлюзовой камеры, проблемы при проведении ВКД	Ручное управление режимами работы шлюзовой камеры. Аварийное извлечение РТМС из шлюзовой камеры внутрь ПКК или на внешнюю поверхность

В процессе эксплуатации РТМС необходимо также рассмотреть условия безопасности на следующих этапах:

- вывод РТМС на внешнюю поверхность ПКК;
- аварийного возвращения неработающего РТМС в герметичный отсек.

В процессе вывода РТМС на внешнюю поверхность ПКК космонавт находится в непосредственной близости от РТМС, при этом робототехническая система должна находиться в транспортировочном положении с заряженными аккумуляторами, исключая любое срабатывание механизмов, шарниров или захватывающих устройств. В таком состоянии РТМС помещается в шлюзовую камеру и осуществляется ее вывод на внешнюю поверхность ПКК. Затем по команде (от космонавта или с Земли) РТМС по специальной программе переходит из транспортировочного положения в рабочее, закрепляется на базовой точке вблизи шлюзовой камеры, осуществляет проверку своих систем и выдает сигнал готовности к работе.

В процессе аварийного возвращения неработающей РТМС внутрь ПКК космонавт-оператор также находится в непосредственной близости от РТМС и вынужден осуществлять ее транспортировку. Для безопасного осуществления данной операции необходимо предусмотреть наличие у РТМС следующих функций:

- аварийного отключения РТМС (т.е. прекращение выполнения ею любых действий независимо от степени заряженности аккумулятора);
- механического раскрытия захватывающих устройств (с целью отделения РТМС от такелажных элементов);
- механического перемещения манипуляторов РТМС (с целью приведения ее в транспортировочное положение).

После этого космонавт может завести РТМС, находящуюся в транспортировочном положении, в шлюзовую камеру и далее в герметичный отсек.

Подробный перечень расчетных нештатных ситуаций (НшС) и мероприятий по выходу из них должен быть сформулирован на основе детального анализа систем РТМС, возможных отказов и неисправностей и разработки моделей возникновения и развития возможных НшС. Необходимые мероприятия по выходу из НшС должны быть включены в эксплуатационную и технологическую документацию.

РТМС и ее составные части должны быть конструктивно исполнены так, чтобы предотвращать возникновение и развитие аварийных ситуаций при выполнении космонавтами штатных операций при эксплуатации и техническом обслуживании РТМС.

Все органы управления подсистем РТМС, непреднамеренное включение которых может привести к возникновению аварийной ситуации, должны быть оборудованы блокирующими приспособлениями.

Для обеспечения безопасности применения РТМС для поддержки экипажа в процессе осуществления внекорабельной деятельности необходимы конструктивные решения и средства, надежно предотвращающие соударения робота с элементами конструкции ПКК, оборудованием, находящимся на внешней поверхности. Множество и непредсказуемость трасс и зон, в которые потребуются перемещаться РТМС, затрудняют или даже не допускают программирование автоматического управления движением. Также сложно будет применять ручное дистанционное управление в условиях относительно быстро меняющегося и не в полном объеме контролируемого положения РТМС в сложной и ограниченной окружающей обстановке с многочисленными препятствиями, повреждение которых недопустимо.

Выводы

1. Рассмотрены вопросы безопасного функционирования робототехнической системы, предназначенной для технической поддержки экипажей пилотируемых космических комплексов в процессе осуществления внекорабельной деятельности.

2. Определены возможные потенциальные опасности, связанные с использованием РТМС на борту ПКК. Рассмотрены возможные нештатные (аварийные) ситуации и вероятные опасности, связанные с использованием РТМС на ПКК. Проанализированы возможные последствия данных нештатных ситуаций и разработаны предложения по предотвращению нештатных или аварийных ситуаций (выходу из них), предотвращению опасности для космонавтов и ПКК. Разработанные предложения позволят минимизировать последствия данных опасностей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Средства робототехнического обеспечения функций перспективной космической инфраструктуры / А.А. Градовцев, А.С. Кондратьев, А.В. Лопота // Научно-технические ведомости, СПбГПУ. – 2013. – № 1. – С. 111–118.
- [2] Подход к построению робототехнических систем для работы в космосе / Г.И. Падалка, П.П. Долгов, А.А. Алтунин // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(9). – 2013.
- [3] Подход к обоснованию задач робототехнических систем для работы в открытом космосе / П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(16). – 2015.
- [4] Правила полета. Том В. Раздел В 12 «Робототехника». Раздел В 15 «Внекорабельная деятельность». – НАСА–Космический центр им. Л.Б. Джонсона, 2011.
- [5] Циклограммы внекорабельной деятельности. Архив полетов. Сайт Центра управления полетами. [Электронный ресурс]. http://www.mcc.rsa.ru/arh_vid.htm.
- [6] Внекорабельная деятельность. [Электронный ресурс]. <http://spaceva.h16.ru/>.

УДК 65.012.34:004.94+621.3.09:659.154

**ПРИМЕНЕНИЕ RFID-ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ КОСМОНАВТОВ
НА БОРТУ ПИЛОТИРУЕМОГО КОМПЛЕКСА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕДИЦИНСКИХ УКЛАДКОВ И АПТЕЧЕК**
А.В. Поляков, В.П. Дашевский, А.А. Карпов, Б.И. Крючков, В.М. Усов

Канд. мед. наук А.В. Поляков (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

Канд. техн. наук, доцент В.П. Дашевский; докт. техн. наук, доцент А.А. Карпов (СПИИРАН)

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. мед. наук, профессор В.М. Усов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Длительные космические полеты требуют организации развитой системы медицинского обеспечения, одной из составляющих которой является готовность к оказанию медицинской помощи членам экипажа на борту пилотируемого космического комплекса (ПКК). Основным видом медицинской помощи на борту ПКК является применение лекарственных средств из состава бортовой аптечки и из медицинских упаковок. При нештатных медицинских ситуациях критически важным становится быстрый поиск необходимых лекарственных средств, их надежная идентификация и оперативное получение инструкций по их применению космонавтами, непосредственно вовлеченными в процесс оказания медицинской помощи. Кроме того, в аспектах рационального расхода полетного времени экипажа на ПКК решается задача контроля поступления и расхода содержимого медицинских упаковок и упаковок. В настоящей работе представлены подходы к решению указанных задач на основе RFID-технологий. Основное внимание уделяется задаче информационной поддержки в поиске и применении лекарственных средств из состава бортовой аптечки.

Ключевые слова: пилотируемый космический комплекс (ПКК), медицинское обеспечение пилотируемых полетов, медицинская помощь на борту ПКК, МКС, бортовые медицинские аптечки, RFID-технологии, «умные хранилища».

**Application of RFID Technologies for Information Support of
Cosmonauts Aboard Manned Spacecraft When Using Medical Packs
and First Aid Kits. A.V. Polyakov, V.P. Dashevsky, A.A. Karpov,
B.I. Kryuchkov, V.M. Usov**

The long-duration space missions require an advanced system of medical support, which includes among others the preparedness to provide medical assistance to crew members aboard a manned space complex (MSC). The main type of medical assistance aboard the MSC is the use of available pharmaceuticals. In off-nominal medical situations the quick search of necessary medicines, their safe identification and prompt getting of the instructions on their administration for cosmonauts involved directly in the process of delivering medical aid can be critical. Besides, in view of rational use of crew flight time, the monitoring of delivering and using the content of medical packs and first aid kits is performed. The paper presents approaches to solving the said task using RFID technologies. The main attention is paid to information support of the search and administration of available pharmaceuticals.

Keywords: manned space complex, medical support of manned missions, medical care aboard MSC, ISS, on-board first aid kits, RFID technologies, “smart storage”.

Введение

Современный орбитальный ПКК представляет собой сложную организационно-техническую систему, для обеспечения нормального функционирования которой космонавтам необходимо решать многочисленные вопросы организации внутрикорабельной деятельности (ВнуКД). Для эффективного использования полетного времени необходимо предпринимать усилия для рациональной организации внутрикорабельной деятельности экипажа путем внедрения новых информационных технологий.

В повседневной жизнедеятельности экипажа немало времени расходуется на поиск необходимого груза, извлечение конкретного предмета из укладок, нахождение к нему сопроводительной и эксплуатационной документации и ее изучение (для медицинских препаратов – инструкций по применению), прочтение этих (как правило, в твердой копии) материалов. Решение комплекса перечисленных задач только отчасти обеспечено существующей на МКС системой управления инвентаризацией (СУИ), которая требует постоянного совершенствования [8, 24, 25].

В нештатных ситуациях (НшС) на борту ПКК, в том числе, медицинских НшС, снижение времени, затрачиваемого космонавтом на выполнение тех или иных действий, может сыграть критическую роль в аспектах сохранения жизни и здоровья членов экипажа, обеспечения безопасности полета.

В работе [8] выделена недостаточно исследованная задача повышения удобства пользования средствами информационной поддержки при получении подсказок и инструктивных предписаний, в том числе, на основе мобильных устройств (типа планшета, смартфона или ноутбука).

Несмотря на то что космонавты могут обратиться к наземным группам поддержки в Центре управления полетами (ЦУП) практически по всему перечню текущих вопросов, значительной экономии временных затрат экипажа можно добиться применением технологий, снижающих объем ручного труда при поиске необходимых предметов, инструментария, документации.

В данном исследовании принимаются следующие предположения:

1) МКС представляет собой один из самых масштабных проектов космической деятельности, связанный с построением искусственной среды обитания человека, что требует развитой системы обеспечения предметами первой необходимости, предметами личного пользования и средствами оказания медицинской помощи в нештатных медицинских ситуациях, что, в свою очередь, порождает проблему улучшения информационной поддержки экипажа при их поиске и идентификации.

2) Для мониторинга динамики перемещения предметов и материалов, отслеживания их местонахождения, быстрого поиска необходимого предмета (объекта) из большой их совокупности в местах складирования и размещения, контроля сроков пригодности и инструкций к применению и пр., перспективно применение современных технологий кодирования и идентификации, органично интегрированных с системой информационной поддержки экипажа.

3) Как часть более общей проблемы рациональной организации ВнуКД, остается актуальной задача быстрого приведения в готовность средств оказания медицинской помощи космонавтам на борту российского сегмента (РС) МКС, что важно и для других режимов «быстрого реагирования» на осложнения текущей ситуации, требующих оперативного нахождения необходимого набора предметов, инструментария, документации для коррекции неблагоприятных состояний здоровья, купирования патологических процессов.

Таким образом, можно констатировать актуальность задач организации на РС МКС процедур поиска и идентификации предметов, лекарственных средств из состава бортовых аптечек и медицинских упаковок, уточнения их предназначения и порядка использования для оказания медицинской помощи членам экипажа, в том числе, неотложной помощи при травмах и заболеваниях.

Эти задачи можно рассматривать в русле проблемы применения информационных помощников (электронных ассистентов на смартфонах) и создания интеллектуального окружения для экипажа на ПКК, наделяя предметы и объекты свойствами интерактивности. В числе кандидатов на эту роль в первую очередь необходимо рассматривать решения на основе радиочастотной идентификации (RFID – *англ.*: Radio-Frequency Identification) как способа автоматической идентификации объектов, при котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках.

При этом принципиально важное условие – при всех модификациях при внедрении высоких технологий: не увеличивать трудозатраты экипажа, а, напротив, внедрять решения, позволяющие максимально упростить и ускорить эти процессы на борту МКС [9, 20, 21].

Особенности системы оказания медицинской помощи на МКС с использованием бортовых медицинских аптечек и упаковок

Сохранение здоровья и поддержание работоспособности космонавтов входит в число приоритетных задач обеспечения безопасности пилотируемых космических полетов. Очевидна нежелательность ошибок экипажа при использовании любого средства или инструментария на борту МКС. При применении средств оказания медицинской помощи ошибки могут иметь катастрофический характер, особенно в тех случаях, когда необходимо быстро купировать острые нарушения состояния здоровья членов экипажа на борту ПКК.

До настоящего времени на МКС не решены в полной мере вопросы включения на постоянной основе в состав основных экспедиций космонавта-исследователя с базовым медицинским образованием, имеющего необходимую специализацию врача (в терминологии партнеров по МКС: прошедших профессиональную сертификацию по аэрокосмической медицине и оказанию экстренной медицинской помощи). Сегодня основные решения по применению средств оказания медицинской помощи принимают специалисты, работающие в ЦУПе [1–3, 12]. Однако непосредственное применение лекарств должен осуществлять сам космонавт, в том числе, в ситуации оказания экстренной медицинской помощи пострадавшему партнеру по экспедиции.

В таких условиях все члены экипажа должны владеть полной информацией о составе средств оказания медицинской помощи, местонахождении медицинских аптечек и упаковок на борту МКС, способах применения медикаментов при выявлении нарушений состояния здоровья. Также очевидна актуальность совершенствования средств информационной поддержки экипажа на борту ПКК по вопросам контроля состояния различных инструментов, предметов и материалов медицинского назначения, в том числе, лекарственных препаратов для экстренного оказания медицинской помощи.

В этой ситуации одно из возможных решений – более широкое использование бортовых систем кодирования и идентификации средств медицинского назначения, консультативных поисковых систем для информационной поддержки лиц, вынуж-

денных самостоятельно применять те или иные лекарственные средства, включенные в состав аптечек и медицинских упаковок, а также электронные средства позиционирования и дистанционной идентификации объектов на борту ПКК.

Для оказания медицинской помощи при развитии в пилотируемом полете заболеваний и травм на борту ПКК предусмотрено оснащение медицинскими аптечками и медицинскими упаковками, укомплектованными в соответствии с ожидаемыми неблагоприятными событиями в отношении рисков для здоровья и работоспособности членов экипажа.

Для учета наличия и контроля расхода медицинских средств, входящих в состав бортовой аптечки или медицинской упаковки, используется информация о перечне средств оказания медицинской помощи, которую можно рассматривать как ключевые слова записей базы данных (БД) для поиска лекарственных препаратов:

- наименование;
- единица измерения;
- количество;
- вид упаковки;
- место нахождения;
- срок годности.

По результатам представленных сведений можно констатировать необходимость более широкого применения в пилотируемом космическом полете технологии кодирования и идентификации. Эти технологии позволяют создавать устройства, имеющие ассистивную направленность, а именно, предназначенные для повышения удобства, простоты и оперативности работы с информацией, хранимой с помощью RFID-меток непосредственно в месте расположения необходимых в данный конкретный момент времени объектов и предметов и актуализируемой для чтения космонавтом в момент обращения к необходимому объекту или предмету. В этом случае выигрыш во времени дает применение RFID-систем для экспресс-ознакомления членов экипажа с содержимым так называемых «умных хранилищ» и быстрый доступ к электронным инструкциям по применению лекарственных средств и использованию медицинского инструментария.

Особенности использования технологии RFID для дистанционной идентификации

Современные RFID-технологии весьма развиты и разнообразны по основным характеристикам меток и считывателей, и сегодня нет универсальных решений, одинаково эффективных в любой области практического применения.

В литературе отмечается ряд достоинств RFID-технологии [7, 10, 11, 13, 14, 18, 19].

В работе [7] систематизированы преимущества RFID-технологии:

- В пассивных метках не требуются использования встроенных источников энергии. Питание на них поступает от сканера по индуктивной связи.
- Пассивные метки обладают почти неограниченным сроком эксплуатации, при этом они могут нести в себе довольно большое количество информации.
- Метки имеют сравнительно небольшие размеры и могут быть выполнены в виде самоклеящихся этикеток, они способны хранить в себе и передавать объемы информации до 1 *Мбита* (в то время как, к примеру, линейный штрих-код содержит всего лишь около 50 *байт*). Существуют так называемые программ-

руемые чиповые метки, которые позволяют даже загружать небольшие JAVA-приложения.

- Благодаря наличию контрольных сумм и шифрования RFID-технологии гарантируют стопроцентную идентификацию и защиту от подделок.
- Высокая пропускная способность обработки RFID-меток. В среднем скорость прочтения одной метки составляет от 30 до 100 миллисекунд.
- Для считывания информации не требуется визуального контакта с метками. Идентификация и регистрация меток производится автоматически при их попадании в зону действия антенны считывателя. RFID-метки не стираются и не пачкаются, выдерживают высокие температуры и механические и химические воздействия.
- RFID-считыватели позволяют считывать несколько меток, попавших в зону считывания одновременно (от 20 до 1000 *шт./с*), с расстояния от 0,1 до 7,0 м. С чуть меньших расстояний возможна запись в метки пользовательских данных.
- RFID позволяет легко модифицировать информацию о единице хранения. Если нужно изменить информацию о единице хранения, достаточно просто перезаписать ее. Следовательно, нет необходимости печатать новый штрих-код или сопроводительную информацию.

Наиболее часто в литературе обсуждаются следующие экономические вопросы применения RFID (преимущественно, применительно к транспортной логистике):

- ускорение и уменьшение трудоемкости операций учета объектов – приемка, отгрузка, инвентаризация, поиск заданных объектов;
- снижение издержек, связанных с неверным выбором объекта или продукции;
- быстрое получение информации об объекте из базы данных по уникальному идентификатору метки или непосредственно из метки объекта;
- снижение издержек, связанных с подделкой продукции за счет установки RFID-меток с защитой от дублирования и использования контрольных считываний меток на стороне дилеров, продавцов или конечных потребителей;
- подтверждение гарантийного срока продукции по RFID-меткам при предъявлении претензий совместно с быстрым получением данных на продукт.

Значительно меньше данных об использовании этих технологий в составе средств ассистивной направленности, в том числе, для информационной поддержки принятия пользователем решений на применение того или иного средства. Важной особенностью, которая может быть использована в интересах ассистивных решений, является то, что благодаря RFID-меткам можно одновременно считывать данные о нескольких экземплярах хранения. В частности, на этой основе были получены различные решения построения «умного хранилища» и, как частного его случая, «умной полки» [26, 27].

Для дальнейшего рассмотрения различных подходов к проблемам применения технологии RFID для автоматизации процессов контроля над оборотом лекарственных средств необходимо сформулировать несколько основных принципов.

1. **Принцип открытых стандартов.** Выбираемые технологии RFID должны регламентироваться международными стандартами, чтобы обеспечить наиболее свободный доступ к этим технологиям всем заинтересованным сторонам.

2. **Принцип позитивной мотивации.** Для успешного внедрения технологии RFID пользователи должны быть заинтересованы в сохранении в исправном состоянии применяемых считывателей и меток.

3. Принцип постепенного внедрения с сохранением альтернативной технологии на случай непредвиденных сбоев новой системы. Во многих реальных задачах технологию RFID невозможно внедрить мгновенно. Требуется значительное время на создание баз данных, создание инфраструктуры считывателей, инициализацию и установку RFID-меток на реальные объекты. Кроме того, до внедрения технологии RFID уже существуют проверенные годами методы альтернативного учета «по старинке». Например, инвентарные номера на бумажных бирках закрепляются на поверхности учитываемых объектов, а более подробные описания хранятся в картотеке. Главная проблема заключается в том, что после ввода в эксплуатацию системы на основе RFID остро встает вопрос об утилизации предыдущей «бумажной» системы. Этот вопрос чаще всего решается в пользу (хотя бы временного) «сосуществования» двух систем, что приводит на практике к компромиссу между: а) желанием повысить экономическую эффективность, поскольку технология RFID ускоряет в несколько раз работу персонала при штатной эксплуатации (и это снижает основные эксплуатационные расходы), и б) необходимостью иметь «запасной вариант» на случай возникновения нештатной ситуации отказа элементов технологии RFID. Тем самым, при разработке и внедрении новых систем на основе RFID важно предусматривать возможность постепенного перехода с сохранением в рабочем состоянии альтернативных технологий.

Этапы жизненного цикла средств оказания медицинской помощи

Лекарственные средства проходят несколько этапов на пути от производства до своего применения на борту ПКК. Каждый этап имеет свои особенности, которые в конечном итоге определяют конкретные требования к технологиям RFID. Наиболее важными этапами можно считать процесс выпуска отдельных лекарственных средств соответствующими предприятиями, компоновку из них медицинских упаковок, доставку их на борт ПКК, хранение на борту, а затем использование по назначению либо выработку срока годности и последующую утилизацию. За компоновку медицинских упаковок и аптек отвечают наземные службы и организации, а за последний этап несут ответственность сами космонавты.

Доставка на борт ПКК

Первоначальный этап, связанный с маркировкой отдельных лекарственных средств и последующей их реализацией, практически не отличается от подобных операций с другими объектами в земных условиях. Для этих задач наиболее вероятным кандидатом является стандарт EPCGlobal Gen2, который применяется для маркировки товаров и продвигается как замена штрих-коду. Единственное требование к технологии RFID на данном этапе – возможность идентификации типа товара, его серийного или инвентарного номера, и, вероятно, даты выпуска. Другими словами, в этом случае происходит модификация технологии, основанной на штрихкодировании. В процессе доставки на борт ПКК данная информация только считывается, модификация не требуется.

Необходимо заметить, что для задач идентификации подходят все существующие системы RFID, допускающие запись и хранение хотя бы 256 бит пользовательской информации в метках.

Хранение на борту ПКК

Хранение предметов на борту ПКК существенным образом отличается от аналогичного хранения в земных условиях. С течением времени любому месту складирования и хранения грузов требуется инвентаризация. И если в земных условиях подобная операция является регулярной и дешевой в отношении цены рабочего времени персонала, то в условиях ПКК инвентаризация приводит к расходу дорогостоящего полетного времени экипажа. В условиях на МКС, когда экипажи являются многонациональными, сопоставление реально хранимых лекарств, поставленных разными странами, с записями в базе данных (БД) чревато ошибками, цена которых также велика.

Важность эффективного контроля состояния хранилища заключается в том, что необходимо полностью исключить негативную составляющую человеческого фактора из процесса срочного поиска необходимых предметов медицинского назначения и лекарств. Проверка хранилищ должна производиться прямо в местах хранения с использованием средств автоматизации, снижающих до минимума ручные операции. Инициатором проверки может выступать как экипаж ПКК, так и ЦУП. Результатом автоматизированной проверки должен быть электронный документ, позволяющий оперативно оценивать наличие и состав доступных средств оказания медицинской помощи, учитывать их сроки годности, текущие остатки, планировать их утилизацию и поставку новых средств на замену выбывающим.

Технология RFID, пригодная для организации автоматизированного хранилища, должна обладать несколькими дополнительными свойствами по сравнению с инвентаризацией в «ручном» режиме.

1. Метки, применяемые для учета хранимых объектов, должны иметь возможность записи дополнительной информации: даты первого вскрытия упаковки с лекарством, текущего количества (таблеток, ампул, и т.п.), текущего срока годности.

2. Технология должна базироваться на метках индуктивного типа, так как магнитное поле сконцентрировано вблизи антенны считывателя. Объем, подверженный контролю со стороны считывателя, более предсказуем. Это позволяет точнее определять факт присутствия объекта внутри хранилища и в то же время отсеять нежелательный захват других меток, расположенных снаружи хранилища.

3. Хранилище должно иметь несколько зон считывания, чтобы фиксировать не только факт наличия объекта внутри, но и определять его местоположение с точностью до полки, ячейки. Каждая ячейка должна обладать индикацией (подсветкой), чтобы упростить поиск лекарственного средства и его возврат на место. Наличие множества зон считывания делает актуальным вопрос о стоимости оборудования для организации хранилища. Считыватели разных частотных диапазонов существенно отличаются в цене (от 20 до 50 раз).

Использование средств из состава медицинских аптечек по назначению

Применение средств медицинского обеспечения на борту ПКК является самым ответственным этапом жизненного цикла. От быстрого поиска необходимого средства и инструкции к нему может зависеть жизнь членов экипажа. Технологии RFID, существующие в виде коммерчески доступных образцов, могут существенно ускорить и облегчить решение этой задачи. Интеграция RFID-считывателя в электронные мобильные устройства (смартфоны, планшеты) имеет хорошие перспективы пойти еще дальше и реализовать систему интерактивной помощи по

выбору лекарства по имеющимся симптомам, а затем перейти непосредственно к поиску необходимого лекарства.

Рассмотрим в качестве примера простой случай – ознакомление космонавта с инструкцией по применению конкретного лекарственного препарата на предмет определения необходимости его приема при нарушении состояния здоровья (то есть «по имеющимся показаниям», исходя из жалоб и наблюдаемых симптомов расстройств).

Для ознакомления с инструкцией к лекарственному препарату при сегодняшних подходах организации работы с аптечкой / медицинской укладкой космонавту необходимо:

- 1) найти и открыть аптечку / медицинскую укладку;
- 2) выбрать лекарственное средство;
- 3) извлечь из него медицинскую инструкцию;
- 4) развернуть ее и найти там раздел с показаниями к применению (что бывает не просто выполнить в условиях невесомости и ограничений по времени);
- 5) найти в инструкции признаки нарушений состояния здоровья, совпадающие с наблюдаемыми у человека симптомами в данный момент времени;
- 6) в случае если найденная инструкция описывает показания, не совпадающие с симптомами, необходимо сложить инструкцию, упаковать ее обратно вместе с препаратом и перейти к шагу 2.
- 7) использовать лекарственное средство по назначению.

Таким образом, значительное полетное время тратится на работу с твердыми носителями информации с целью правильно идентифицировать необходимое средство. Изучение инструкции, содержащей специальные термины, в условиях дефицита времени может затруднять ее правильное понимание и выполнение.

Альтернативой инструкциям на твердом носителе может служить RFID-система на основе смартфона, построенная на принципах ассистивной поддержки, при использовании которой процесс поиска и чтения инструкции может быть значительно упрощен. Космонавту достаточно поднести считыватель к закрытой упаковке, чтобы он автоматически считал внутри нее информацию: коды симптомов и дозировку, срок годности. При совпадении кодов симптомов электронный ассистент выдает сигнал, а также на экране индицируется код лекарства для поиска детальной информации в БД (дозировка, срок годности, показания и противопоказания, потенциальные осложнения и пр.). При этом детальная информация может извлекаться из БД с учетом языковых предпочтений пользователя. Таким образом, технология RFID может помочь существенно сократить время поиска, а также избавить космонавта от ряда вспомогательных манипуляций: вскрытия упаковок и дополнительного изучения инструкций на твердом носителе, хотя полностью исключить их применение на борту не следует: они могут быть необходимы при выходе из строя электронных устройств.

Второй важный пример практической возможности ускорения поиска конкретного лекарственного препарата или некоторого набора лекарств с помощью мобильного электронного ассистента (МЭА) в случае симптоматического лечения (лечения, направленного на устранение отдельных симптомов, например, применение обезболивающих средств) связан с обеспечением доступа в так называемое «умное хранилище». Процедура ассистивной поддержки в этом случае дает возможность, используя мобильное приложение, ускорить поиск лекарственных средств. Такой же подход (с точки зрения организации информационного поиска лекарств) имеет место и при дистанционном назначении пациенту лекарственного

препарата специалистом по выявленной симптоматике. В расширенном варианте ассистивной поддержки электронный вариант списка необходимых лекарств может быть передан в бортовую ЭВМ, имеющую связь с оснащенными RFID-считывателями ячейками «умного хранилища». ЭВМ находит ячейки хранилища, содержащие указанные лекарства, и включает индикацию (подсветку) этих ячеек для непосредственного доступа к ним. После использования неиспользованные лекарственные препараты могут быть возвращены в хранилище. Достаточно лишь поднести лекарство к специальному считывателю, ответственному за возврат лекарств, и система автоматически «подсветит» ячейку, в которой оно должно храниться.

Утилизация отходов и просроченных препаратов

Утилизация отходов как процесс, включающий процедуры идентификации удаляемых объектов, также требует внесения изменений в БД записей о текущем состоянии хранилищ. Среди особенностей данного процесса можно отметить следующее:

1. Лекарственные средства и медицинские материалы, имеющие ограниченный срок годности, должны быть утилизированы по истечении данного срока, чтобы не занимать место в хранилище и исключить случаи возникновения негативных эффектов на состояние здоровья (побочных эффектов и осложнений). Эта задача может быть выполнена с помощью ЭВМ, которая может периодически производить расчет сроков годности и сообщать экипажу о необходимости произвести «чистку хранилища» от просроченных лекарств.

2. При необходимости ЭВМ может выдавать точное местоположение и подсвечивать ячейки хранилища, где находятся просроченные лекарственные средства.

3. Для упрощения работы экипажа по коррекции базы данных к бортовой ЭВМ может придаваться специализированный считыватель, расположенный в месте приема отходов. Попадание в зону его действия автоматически влечет удаление из БД сведений о наличных лекарственных средствах, а также внесение удаленных средств в протокол учета движения грузов.

Такое решение, в частности, представлено в публикации [28] применительно к борту МКС.

Применение RFID-технологий для организации медицинской помощи на ПКК с учетом существующих стандартов и протоколов

Мобильные устройства в качестве электронного ассистента

В настоящее время многие мобильные устройства типа смартфонов и планшетов оснащаются NFC-чипами, позволяющими считывать информацию с бесконтактных карт и организовывать информационный обмен между двумя активными устройствами с поддержкой NFC (NFC – *англ.*: Near Field Communication – технология связи на близких расстояниях).

Поскольку бесконтактные карты по существу являются RFID-метками стандарта ISO 14443, то поддержка технологии NFC в смартфонах и планшетах открывает новые широкие возможности для создания приложений RFID с отраслевой поддержкой.

Сегодня многие современные смартфоны могут с близкого расстояния (до 100 мм) читать содержимое RFID-меток типа MIFARE Classic 1K, 4K. Данные метки имеют от 1 до 4 Кб памяти, до 3 Кб полезных данных, поддерживают шифрование информации. Также есть метки с памятью до 32 Кб, что позволяет сохра-

нить описание почти любого лекарственного препарата и читать его автономно с помощью смартфона, то есть вообще без доступа к внешней БД, требующего применения планшета или ноутбука и технологий обмена данными в сети.

Стандарт ISO 14443 обеспечивает достаточно высокую скорость чтения меток (до 848 *кбит/с*), но это преимущество достигается, в том числе, и ценой сокращения дальности чтения меток. Поэтому остается открытым вопрос, удастся ли обойтись NFC-совместимыми метками для решения задачи организации «умного хранилища» в полном объеме потребительских характеристик. Самым удачным и универсальным решением могло бы стать построение такого «умного хранилища», ячейки которого позволяют уверенно считывать информацию из меток, встроенных в упаковку лекарственных препаратов при любом их расположении в хранилище. Это техническое решение находится в стадии проработки, поскольку зависит от характеристик коммерчески доступных продуктов. Вероятно, эту задачу можно решить, используя считыватели с мощностью до 500 *мВт*.

Применительно к расширению ассистивных свойств целесообразно исследовать вопросы речевого ввода в смартфон диагностической информации о назначении лекарств, чтобы облегчить настройки БД и считывателей и предоставлять пользователю информацию для слухового и зрительного восприятий [5].

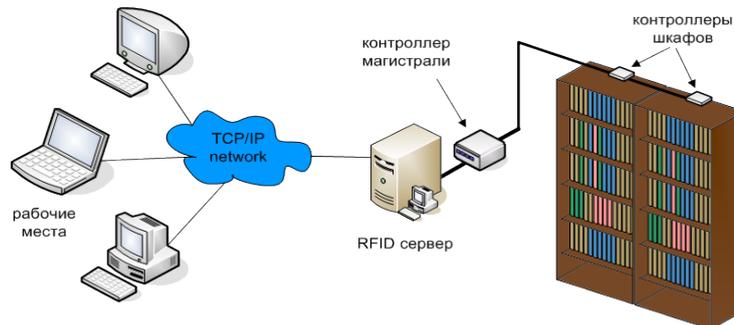
Концепция «умного хранилища»

Построение «умного хранилища» предполагает такую организацию системы хранения объектов, которая позволяет производить их идентификацию, поиск и инвентаризацию без непосредственного участия человека для выполнения этих операций в ручном режиме. Это существенно повышает скорость и точность подобных операций.

Появление технологии RFID открыло новые технические возможности для реализации автоматизированных хранилищ. Практические реализации этой идеи столкнулись с рядом технических трудностей. Главная трудность, как показано в работе [4], заключается в том, что распределенное хранилище требует большого количества считывателей, которые необходимо организовать в виде сети, подключить к управляющей ЭВМ и снабдить питанием. Использование обычных коммерчески доступных считывателей привело к громоздкой и дорогой системе, поэтому в СПИИРАН были предприняты попытки исследования нескольких оригинальных конструкций хранилища. Одна часть вопросов ранее прорабатывалась для построения автоматизированного книжного шкафа, другое приложение было связано с хранением учтенных носителей служебной информации (накопителей типа USB Flash) [4, 6, 7].

Опыт создания собственных конструкций показал, что системы с малым количеством дорогих считывателей и большим числом коммутируемых антенн сложны в установке и «капризны» в настройке, поскольку значительная часть проводов несет в себе аналоговые сигналы накачки антенн, требует хорошего согласования. Гораздо практичнее показали себя небольшие считыватели с антенной, интегрированной в печатную плату, либо расположенные от намотанной антенны в непосредственной близости. В этом случае основное содержание проводов, соединяющих все в одну систему, сводится к цифровой информационной магистрали и проводам питания. В опытах, проводимых в СПИИРАН [4, 6, 7], магистраль была организована на основе интерфейса RS-485, который позволяет объединять до 256 абонентов на общей двухпроводной линии.

Рассмотрим общую архитектуру на примере книжного хранилища, изображенного на рисунке.



Пример «умного книжного хранилища» с удаленным доступом

Каждая полка шкафа снабжается одним или несколькими считывателями (в зависимости от ширины полки), которые включаются в общую информационную магистраль. Магистраль шкафа выходит на промежуточный контроллер шкафа, основное назначение которого состоит в сокращении служебного трафика по системной магистрали. Контроллеры шкафов объединяются в магистраль верхнего уровня и подключаются к управляющей ЭВМ (RFID-серверу) через специализированный контроллер магистрали. Управляющая ЭВМ обеспечивает доступ к хранилищу через сеть TCP/IP.

В развитие данного подхода была также создана конструкция хранилища с ячейками, за каждой из которых закреплено небольшое число объектов.

Каждая ячейка представляет собой небольшой корпус, закрепляемый на DIN-рейку, в котором смонтирована плата считывателя с индикатором. На DIN-рейке монтируются специальные 5-контактные разъемы, образующие единую шину для организации питания считывателей и линии связи RS-485. Таким образом, получается модульная система, где каждый считыватель может быть заменен без отключения питания остальных. В случае необходимости управляющая ЭВМ может подать команду в любой считыватель и включить определенный режим индикации или подсветки, чтобы помочь пользователю найти нужную ячейку для извлечения или возврата хранимого объекта.

Этот подход имеет прямую аналогию с некоторыми разработками НАСА в области использования RFID-технологий в космических объектах для хранения лекарств в защищенных хранилищах, в частности, представленных в работе [28].

Кроме решений на аппаратном уровне, в процессе разработки «умного хранилища» (в виде «умного шкафа») было также создано специальное программное обеспечение:

- «Промежуточное программное обеспечение» (*англ.*: middleware) для унификации взаимодействия прикладных программ и считывателей. Конечная цель – разделить задачи администрирования системы и ее использования, а также сделать прикладные программы независимыми от конкретного оборудования (его протоколов, драйверов и прикладных библиотек для ограниченного набора средств проектирования).

- «Прикладное программное обеспечение» для законченного технического решения, пригодного к эксплуатации обычным пользователем.

Процесс инвентаризации применительно к конструкции «умных хранилищ» имеет свои особенности. Наиболее сложная проблема заключается в том, что метки, расположенные слишком близко, образуют связанные резонансные контуры

антенн и дальность, а также точность их считывания уменьшается вплоть до нуля. Кроме того, большее количество меток требует значительных энергозатрат на питание, что создает дополнительную нагрузку на считыватель и снижает дальность чтения. Таким образом, не любая конфигурация считывателей и меток будет надежно функционировать. Об этой особенности производители в сопроводительной документации на свои изделия обычно не пишут, однако полностью решить эту проблему можно только путем изменения способов модуляции сигнала или изменением меток, что практически неосуществимо. Это означает необходимость проведения специальных испытаний с учетом конкретных условий эксплуатации изделия и требований к пользовательским характеристикам, включая эргономические показатели.

Заключение

Во время полетов на ПКК решается большой комплекс вопросов создания безопасных условий жизнедеятельности экипажа, снижения медицинских рисков и рациональной организации жизнедеятельности членов экипажа [17].

В данной статье преимущественно затронуты вопросы использования на борту ПКК современных RFID-технологий, которые пригодны для расширения информационной поддержки экипажа по многим организационно-тактическим вопросам медицинского обеспечения космонавтов в полете, включая:

- 1) получение, постановку на учет, хранение различных материалов медицинского назначения, в частности, лекарственных средств и решение вопросов по их утилизации на основе автоматизации процесса идентификации;
- 2) управление запасами и формирование заявок на потребные средства медицинского назначения, мониторинг расходования и контроль годности к применению средств медицинского назначения на борту РС МКС;
- 3) оперативный поиск требуемого медицинского имущества, помощь экипажу при принятии решений правильного применения имеющихся в аптечках / медицинских укладках лекарственных средств при диагностировании нарушений состояния здоровья космонавта в полете и при симптоматическом лечении.

Показано, что существуют апробированные на практике решения, которые могут быть интегрированы в рамках единой концепции применения средств информационной и ассистивной поддержки экипажа на борту ПКК и реализованы в рамках концепции построения «умного хранилища».

По мнению участников программы полетов на МКС состав медицинских и информационных средств, имеющихся на РС МКС, обеспечивает требуемый уровень медицинской безопасности в полете, что положительно влияет на полноту и качество выполнения полетного задания. Однако по результатам выполненного анализа можно сделать вывод, что имеются резервы существенного повышения пользовательских характеристик средств информационной поддержки космонавтов на РС МКС.

Среди коммерчески доступных RFID-систем сегодня имеется множество различных вариантов технических и программных решений. Важно то, что использование RFID-систем позволяет с принципиально новых методических позиций рассматривать сам порядок организации работ, так или иначе связанных с необходимостью дистанционного мониторинга различных объектов. По существу, в первую очередь меняется интерфейс человека с рабочей средой, которой придают свойства интерактивности и интеллектуальности.

Еще один аспект затронутой проблемы информационного обеспечения экипажа на борту РС МКС, дополнительно к работам [15, 16], заключается в наделении свойствами интерактивности тех объектов, с которыми должен работать экипаж, что достигается построением RFID-системы, сопряженной с электронной документацией и другим контентом, который может быть оперативно по запросу космонавта отображен на мобильных устройствах (смартфонах и планшетах).

Выполненный в данной статье анализ состояния вопроса позволяет отдать приоритет рассмотрению перспектив применения RFID-технологий для решения конкретных прикладных медицинских задач в пилотируемом полете на МКС. Из этого вытекает необходимость сопоставить состав действий космонавта с разными приборами идентификации, указав варианты, в каких ситуациях применение RFID-меток дает значимый выигрыш в отношении временных затрат и удобства. В этом кроется существенный резерв изменения структуры затрат полетного времени экипажа, а следовательно, и улучшения технико-экономических показателей организации работ на борту РС МКС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белаковский М.С., Самарин Г.И. Практическое внедрение результатов медико-биологических исследований, проводимых на РС МКС // *Космическая биология и медицина*. В 2-х т. – М.: ИМБП РАН, 2011. – Т. 2: Медико-биологические исследования на российском сегменте МКС. – С. 475–488.
- [2] Медицинское обеспечение экипажей Международной космической станции / В.В. Богомолов, Дж.М. Данкан, А.Е. Саргсян, С.Л. Пул // *Космическая биология и медицина*. Совм. рос.-амер. изд. Российско-американское сотрудничество в области космической биологии и медицины. – 2009. – Т. 5. – С. 508–626.
- [3] Богомолов В.В., Егоров А.Д. Развитие системы медицинского обеспечения здоровья экипажей в пилотируемых космических полетах // *Авиационная и космическая медицина*. – 2013. – Т. 47, № 1. – С. 5–12.
- [4] Оказание скорой медицинской помощи при обеспечении космических полетов и на месте посадки / В.В. Богомолов, А.В. Поляков, Л.Л. Стажадзе // *Материалы II научно-практической конференции «Актуальные вопросы скорой медицинской помощи на современном этапе»*, 26 ноября 2014 г. // *Электронный ресурс*. URL: <http://emergencysurg.ru/?p=1401> доступ свободный, дата 18.12.2015.
- [5] Карпов А.А. I Can Do: Интеллектуальный помощник для пользователей с ограниченными физическими возможностями // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. – № 7. – 2007. – С. 32–41.
- [6] Перспективные варианты использования технологии радиочастотной идентификации в библиотечном и музейном деле / Н.П. Кириллов, В.П. Дашевский, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов // *Труды СПИИРАН*. – 2008. – Вып. 7. – С. 48–53.
- [7] Кириллов Н.П., Соколов Б.В. Автономный RFID-считыватель с функцией оперативного принятия решений по результатам контроля // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2010. – С. 6–40.
- [8] Возможность использования двумерных кодов в пилотируемой космонавтике / В.Г. Корзун, В.Н. Прудков, Д.А. Темарцев, Е.А. Черняк // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2013. – № 3(8). – С. 100–109.
- [9] Позиционирование мобильного робота-помощника во внутреннем рабочем пространстве на пилотируемых космических комплексах / Б.И. Крючков, В.П. Дашевский, Б.В. Соколов, В.М. Усов // *Пилотируемые полеты в космос*. – № 4(13). – 2014. – С. 40–56.
- [10] Лахири С. RFID. Руководство по внедрению / Сандип Лахири. RFID. The RFID Sourcebook / Ред. Дудников С. – М.: Кудиц-Пресс, 2007. – 312 с.
- [11] Маниш Бхуптани, Шахрам Морадпур. RFID-технологии на службе вашего бизнеса. – Изд-во: Альпина Паблшер, 2007. – 290 с.

- [12] Средства медицинского обеспечения космонавтов орбитальной станции «МИР» / Носкин А.Д., Кожаринов В.И., Комарова Л.М. и др. // Орбитальная станция «Мир». В 2-х т. – Т. 1: Медицинское обеспечение длительных полетов. – М.: Изд-во ООО «Аником», 2001. – 654 с.
- [13] Сайт АйТиПроект: RFID-система // АйТиПроект, Электронный ресурс, URL: http://www.itproject.ru/otraslevye_resheniya/library_books_shop/automatizacia_bookshops доступ свободный, дата обращения 07.12.15.
- [14] Сайт АйТиПроект. RFID-система для автоматизации процессов в книжных магазинах // АйТиПроект // Электронный ресурс. Доступ URL: http://www.itproject.ru/otraslevye_resheniya/library_books_shop/automatizacia_bookshops доступ свободный, дата обращения 07.12.15.
- [15] Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов / В.А. Соловьев, В.Е. Любинский, Е.И. Жук // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 1(1). – С. 27–38.
- [16] Текущее состояние и перспективы развития системы управления полетами космических аппаратов (окончание) / В.А. Соловьев, В.Е. Любинский, Е.И. Жук // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 5. – С. 25–33.
- [17] Применение ассистивных и информационных технологий при использовании средств оказания медицинской помощи космонавтам в российском сегменте Международной космической станции / И.Б. Ушаков, В.П. Дашевский, А.В. Поляков, Б.В. Соколов, В.М. Усов // Биотехносфера. – 2013. – № 4. – С. 5–10.
- [18] Финкенцеллер К. RFID-технологии. Справочное пособие / Пер. с нем. Н.М. Сойунханова. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 496 с.
- [19] Шарфельд Т. Системы RFID низкой стоимости. – М., 2006. – 197 с.
- [20] Создание «интеллектуального окружения» на пилотируемом космическом комплексе для позиционирования мобильного робота – помощника экипажа / Юсупов Р.М., Карпов А.А., Крючков Б.И., Ронжин А.Л., Сыркин Л.Д., Усов В.М. // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. – Вып. 5. – 2013. – С. 397–422.
- [21] Дашевский В.П., Ржимский В.Г. Распределенная система управления RFID-считывателями // Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения», 2010. – С. 389–395.
- [22] Финкенцеллер К. Справочник по RFID. – Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 496 с.
- [23] Шарфельд Т. Системы RFID низкой стоимости. – М., 2006. – 197 с.
- [24] Fink Patrick W. (2013) RFID-Based Asset Management for Space Habitats / Fink Patrick W. // Электронный ресурс. URL: <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20140000779> доступ свободный, дата обращения 12.12.2015.
- [25] Gifford, Kevin K. (2009) Unified Communications for Space Inventory Management NTRS / Gifford, Kevin K., Fink, Patrick W., Barton, Richard, Ngo, Phong H. // Электронный ресурс. URL: <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20090031769> доступ свободный, дата обращения 12.12.2015.
- [26] Hrebenciuc F., et al. (2011) A Low Cost Approach to Large Smart Shelf Setups / F. Hrebenciuc, N. Stroia, D. Moga, Z. Barabas // Advances in Electrical and Computer Engineering, Vol.11. № 4, pp. 117–122.
- [27] Melià-Seguí J. Human-Object Interaction Reasoning Using RFID-Enabled Smart Shelf / Joan Melià-Seguí and Rafael Pous // Conference Paper. DOI: 10.1109/IOT.2014.7030112 Conference: 4th International Conference on the Internet of Things, At Cambridge, MA, USA // Электронный ресурс: URL: https://www.researchgate.net/publication/272162481_Human-object_Interaction_Reasoning_using_RFID-enabled_Smart_Shelf доступ свободный, дата 16.12.2015.
- [28] Medical Consumables Tracking (MCT)/ISS Science Symposium. June10, 2014 [Электронный ресурс] URL: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140005025.pdf>, доступ свободный, дата обращения 29.01.2016.

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 331.101:159.9

РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ЭРГОНОМИКИ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ УЧЕТА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ В КОСМОС»

А.А. Меденков, Т.Б. Нестерович

Докт. мед. наук, канд. психол. наук, профессор А.А. Меденков; Т.Б. Нестерович
(НИУ «Московский авиационный институт»)

В статье представлены материалы анализа проблем учета человеческого фактора при подготовке и осуществлении космических полетов, привлечение наибольшее внимание специалистов в области космической эргономики и инженерной психологии на недавно прошедшей XI Международной научно-практической конференции. Дается оценка организации и направлений учета психофизиологических возможностей космонавтов в интересах повышения эффективности их деятельности и безопасности полетов. Обосновываются предложения по дальнейшему развитию направления и новых задач по обеспечению профессиональной надежности экипажей межпланетных экспедиций на основе учета человеческого фактора.

Ключевые слова: человеческий фактор, эргономическое обеспечение, психология, функциональное состояние, психофизиологическая надежность, космические полеты.

Space Ergonomics: Problems of Taking Account of Human Factor Considering Results of the 11th International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”. A.A. Medenkov, T.B. Nesterovich

The paper analyzes the human factor-related challenges that arise during preparation and implementation of space missions and that attracted great attention of experts in the field of space ergonomics and engineering psychology at the recent 11th International Scientific and Practical Conference. Also, the paper evaluates the process of consideration of cosmonauts' psycho-physiological capabilities in the interests of raising the efficiency of their performance and flight safety. Suggestions on further efforts in this direction and the development of new tasks for ensuring professional reliability of crews of interplanetary expeditions on basis of taking account of human factor are also given.

Keywords: human factor, ergonomic management, psychology, functional status, psycho-physiological reliability, space missions.

Введение

На XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», состоявшейся 10–12 ноября 2015 года в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, обсуждались содержание и результаты исследований в области создания и применения пилотируемых космических аппаратов, подготовки и обеспечения деятельности космонавтов в интересах совершенствования техники и повышения безопасности космических полетов. Посвящалась

конференция 55-летию образования Центра подготовки космонавтов [13]. В связи с этим ее участники в сообщениях и выступлениях неоднократно обращались к истории становления и развития космонавтики, вспоминали ученых и специалистов, стоявших у ее истоков, и отдавали дань уважения космонавтам, воплотившим в жизнь надежды и мечты землян о покорении космоса. Особое внимание на конференции уделялось преемственности методологии и подходов к решению возникающих проблем. Отмечалось, что объединяющим началом всех направлений конференции по-прежнему остаются ведущая роль космонавтов в осуществлении пилотируемых космических полетов, вопросы эксплуатации и перспективы развития пилотируемых космических комплексов и наземных средств управления ими и обеспечения безопасной и эффективной деятельности экипажей пилотируемых космических кораблей. В связи с этим представляется актуальным рассмотреть проблемы учета человеческого фактора, обсуждаемые на конференции, в аспекте реализации обеспечения психофизиологической надежности экипажей в космических полетах.

Историческая ретроспектива

В аспектах профилактики и предупреждения ошибочных, несвоевременных или преднамеренных действий и, соответственно, аварий, происшествий и катастроф в современной трактовке личного и человеческого факторов, в первом случае акцент делается на изучении и оценке состояния здоровья, психических качеств и свойств личности и проведении профессионального отбора лиц для работы по определенной специальности, а во втором речь идет о методах, средствах и способах инженерно-психологического и эргономического проектирования и оптимизации средств, алгоритмов и условий профессиональной деятельности.

Если обратиться к истории науки, то методология системного учета психофизиологических характеристик и возможностей человека при проектировании и эксплуатации авиакосмической техники на первых этапах становления в нашей стране разрабатывалась в Государственном научно-исследовательском испытательном институте авиационной и космической медицины ВВС, г. Москва. Необходимость в таком учете возникла в связи с востребованностью медикотехнических и инженерно-психологических рекомендаций и предложений в интересах развития авиакосмической отрасли страны, модернизации имевшейся или создания новых образцов авиационной и космической техники. Эффективность рекомендаций психологии труда и инженерной психологии по снижению ошибочных и несвоевременных действий человека-оператора при восприятии информации, подготовке и принятии решений и выполнении управляющих действий стала основанием для их учета при создании образцов вооружения и военной техники. Возникла потребность в методах и критериях оценки эффективности учета психофизиологических характеристик и возможностей человека, в проведении инженерно-психологических, медико-технических и психофизиологических экспериментальных исследований, изучении структуры деятельности и выявлении закономерностей ее осуществления, подлежащих учету при проектировании авиакосмической техники. Эти исследования были направлены на изучение психофизиологических возможностей человека, механизмов и условий переработки им информации и выполнения управляющих действий в интересах обоснования требований, рекомендаций и предложений по обеспечению решения им задач деятельности, в частности, по пилотированию летательного авиационного или космического аппарата и работе с бортовым оборудованием [16]. Особенностью про-

водимых исследований была их направленность на решение конкретных задач проектирования авиакосмической техники и бортового оборудования, систем управления, комплексов и средств автоматизации, систем жизнеобеспечения и спасения, а также на вопросы отбора, обучения, подготовки, тренировки, оценки готовности, нормирования труда, оптимизации режима труда и отдыха, реабилитации и восстановления здоровья и работоспособности [17]. Моделирование воздействий факторов полета обеспечивало возможность адекватного изучения механизмов и особенностей восприятия, переработки информации и принятия решений не только в аспекте влияния информационных факторов, но и изменения функционального состояния человека-оператора вследствие утомления, переутомления, перегрузок, гипоксии, стресса и других факторов [7, 8]. Необходимо отметить, что именно эти направления получили наиболее яркое выражение в космической области, и, как свидетельствуют материалы конференции, до настоящего времени их актуальность не подвергается сомнению. Поиск новых подходов в области совершенствования организационных и методологических основ подготовки космонавтов можно проследить в работах [1, 3, 12 и др.]

Формирование эргономики как системного научно-прикладного направления исследований и разработок в области военной авиации и перспективных систем вооружения и военной техники было связано с Г.М. Зараковским [2]. Он координировал системные и комплексные исследования по изучению оценки и оптимизации средств и условий профессиональной деятельности с позиций учета возможностей и характеристик человека на основе концепции психофизиологического анализа трудовой деятельности [5]. Под его руководством была разработана и функционировала в военно-воздушных силах и в авиакосмической отрасли в целом система учета психофизиологических характеристик человека-оператора при разработке, испытаниях и эксплуатации вооружения и военной техники [6].

Отечественная методология эргономического сопровождения создания и эксплуатации авиакосмической техники представляется актуальной и сегодня, особенно в плане обеспечения ее конкурентоспособности и решения задач импортозамещения и повышения безопасности авиационных и космических полетов [18]. По сути дела, она интегрировала достижения многих наук о человеке для создания условий, благоприятных как для повышения эффективности труда, так и сохранения и продления профессионального долголетия специалистов, требующих особых условий и материальных затрат на подготовку и поддержание высокого уровня психофизиологической надежности. Содержание и порядок работ по учету психофизиологических характеристик и возможностей летного состава и космонавтов при проектировании и эксплуатации авиакосмической техники определялись введенными в действие в военно-воздушных силах руководствами, государственными и отраслевыми стандартами системы эргономического обеспечения.

Современный этап развития космической эргономики

В новых экономических условиях сохранение системности в достижении этой цели предполагает преодоление ряда проблем методологического, организационного, нормативного правового и финансового характера. Применительно к авиации и космонавтике эти проблемы поднимались и обсуждались на пленарном заседании и на секциях XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос».

На пленарном заседании конференции отмечалась важность совместного обсуждения ее участниками приоритетных задач пилотируемой космонавтики, создания космической техники, ее испытаний и эксплуатации с акцентом на учет психофизиологических возможностей, интеллектуальных и творческих способностей космонавтов. Особое внимание обращалось на обеспечение надежной профессиональной деятельности космонавтов и формирование системы их подготовки к полетам на Луну и на Марс. В этой связи отмечалась необходимость создания медико-технического, социально-психологического и эргономического научного задела для совершенствования и развития эффективных подходов к обеспечению безопасной и надежной автономной деятельности космических экипажей.

Вопросы формирования такого задела подробно рассматривались на секции «Проблемы и перспективы развития и применения пилотируемых космических систем». Обсуждались планы и варианты осуществления масштабных проектов полета на Луну и на Марс, представлялись частные проекты межпланетных экспедиций, оценивались предложения по строительству обитаемых помещений на Луне, проведению научных исследований и созданию лунной инфраструктуры. При этом отмечалось, что реализация проектов межпланетных экспедиций зависит от совершенствования организационно-методического обеспечения отбора и подготовки космонавтов, эргономической оптимизации систем жизнеобеспечения экипажей, средств деятельности и систем управления, а также робототехники, создаваемой для проведения вне- и внутрикорабельных работ [3]. Обсуждение и решение этих вопросов имело непосредственное отношение к определению проблем, возникающих при научном обеспечении их реализации с учетом психофизиологических возможностей и характеристик космонавтов. И это касалось распределения функций, использования средств автоматизации и роботов, создания условий и технических средств подготовки к выполнению новых видов работ, оценке готовности и профессиональной надежности космонавтов. Отмечалась необходимость эргономической оптимизации условий работы и систем жизнеобеспечения на российском модуле космической станции, расширения объема и комплексирования научных экспериментов и их программно-аппаратурного обеспечения и прикладной направленности. О необходимости совершенствования, в частности, систем автоматизации оценки обстановки и информационной сигнализации свидетельствует частое ложное срабатывание на Международной космической станции предупредительных сигналов о возможной неисправности оборудования, что вынуждает экипаж отвлекаться на выяснение и устранение причин.

Определение системотехнического облика роботов, их предназначения и возможностей использования вытекает из задач, которые предстоит решать внутри и вне космической станции, в том числе по проведению научных исследований. Это касается эргономической оптимизации дистанционного управления робототехническими системами при обслуживании как космической станции, так и объектов лунной инфраструктуры. Из планов пилотируемых полетов, их целей и задач вытекают и программы подготовки космонавтов, разработки технических средств обучения, обоснования методов и способов оценки уровня подготовки и готовности к выполнению задания. При этом особое значение приобретает поддержание необходимых двигательных навыков и умений при значительных перерывах в их использовании. Планы и программы освоения дальнего космоса вызывают необходимость решения многих вопросов жизнеобеспечения космонавтов. Сегодня они ведутся по разным направлениям. Так, актуальными являются исследования по управлению системами жизнеобеспечения экипажей космической

станции, созданию замкнутых систем жизнеобеспечения. Изучаются возможности регенерации на космической станции санитарно-гигиенической воды, в том числе из урины, и генерации кислорода. Интенсивно ведутся исследования по оснащению скафандра типа «Орлан» автоматическим устройством спасения и внутришлемным представлением видеоинформации. Без четкой стратегии и конкретных планов полетов исследования зачастую не связаны между собой и осуществляются без ориентации на системные показатели обеспечения эффективности и надежности профессиональной деятельности. В связи с этим возникает необходимость координации системотехнических планов и программ освоения дальнего космоса с исследованиями по учету человеческого фактора в их обеспечении.

Важность такой координации следовала из материалов, предложенных к обсуждению на секции «Профессиональная деятельность космонавтов». Исходным здесь являлось положение, что подготовка космонавтов к выполнению полетного задания во многом зависит от учета при ее проведении особенностей и специфики профессиональной деятельности космонавтов на всех этапах полета [15]. В связи с этим необходимость изучения, анализа и оценки содержания и организации труда и отдыха на борту космического аппарата не вызывала сомнений. Но она предполагает постоянное совершенствование методологии и технологий этих работ. Именно поэтому имеется социальный заказ на развитие методологии анализа деятельности экипажей и причин ошибочных действий космонавтов, возможности повышения эффективности решения задач экологического мониторинга, ведения визуально-инструментальных наблюдений, изучения звездного неба, фотосъемки земной поверхности, дистанционного зондирования Земли, ручного сближения, причаливания и перестыковки транспортного пилотируемого корабля [13].

Результаты таких исследований становятся основой разработки методов тренажерной подготовки и оценки ее эффективности, совершенствования технологий обучения управления движением и навигацией, использования средств виртуальной реальности, применения методов искусственного интеллекта в сетях информационного обмена, моделирования нестандартных ситуаций полетов, программно-методического обеспечения управлением манипуляционными роботами, в том числе роботов с многопальными захватными устройствами.

Безусловно, результаты психофизиологического анализа профессиональной деятельности являются исходными для решения задач профессионального медицинского и психологического отбора кандидатов в космонавты и определения роли инструктора-космонавта-испытателя в системе их общей и специальной подготовки [12, 14]. При этом особое внимание в системе подготовки космонавтов уделяется новым информационным технологиям. Овладение этими технологиями важно как с точки зрения подготовки и проведения научных экспериментов, так и в плане решения других задач профессиональной деятельности. Особенно это важно в отношении интеллектуальной, ситуационной и информационной поддержки решений при возникновении аварийных ситуаций на борту космической станции, в том числе при разгерметизации, для сбора и анализа результатов тренировок по стыковке в ручном режиме, при планировании полетов и модернизации виртуального астронавигационного комплекса.

Специальное внимание при обсуждении вопросов профессиональной деятельности космонавтов уделялось проведению ими научных исследований. Эти вопросы рассматривались на отдельной секции «Научно-прикладные исследования и эксперименты в космосе». Они касались как создания космических оранжерей с использованием различных растений, так и телеуправления напланетными

роботами, а также решения практических задач медицинского обеспечения пилотируемых космических полетов. Обсуждались результаты космических экспериментов «Каскад», «Биотрек», «Феникс», «Плазма-ЭРП», «Матрешка-Р», «Захват-Э», «Контур-2», «Биосигнал», «Плазменный кристалл» и других. Много внимания уделялось исследованиям в интересах защиты экипажей от действия неблагоприятных факторов продолжительного космического полета, исследованиям по обеспечению качества воздушной среды и микробиологической биобезопасности, контролю аэрозольного загрязнения газовой среды, совершенствованию системы радиационного контроля на Международной космической станции и радиационной защиты космонавтов в межпланетных полетах. Отмечалось повышение внимания к изучению эффектов продолжительного гипомагнитного воздействия. В части учета человеческого фактора участие космонавтов в исследованиях имеет несколько аспектов анализа. Во-первых, такое участие предполагает специальную подготовку и обеспечение соблюдения требований методологии их проведения. И анализ полученных результатов, и их научная интерпретация также предполагают участие космонавтов. Это означает, что они становятся полноправными авторами и правообладателями интеллектуальной собственности, создаваемой на основе использования материалов исследования.

Особое место в системе учета человеческого фактора на конференции заняли вопросы создания технических средств подготовки космонавтов. Они рассматривались на специальной секции «Технические средства для подготовки космонавтов и моделирование факторов космического полета». Речь шла о больших комплексах и тренажерах, фактически моделирующих факторы воздействия и условия работы на борту космической станции и, тем самым, обеспечивающих адекватную подготовку космонавтов к работе в реальных условиях космического полета. В частности, обсуждались проблемы модернизации специализированного тренажера «Телеоператор», создания комплексных систем управления сложными объектами, моделирования яркостей, эргономической оптимизации управления антропоморфными роботами, отображения мультимедийной информации, информационно-поддержки тренировок и интеграции научной аппаратуры с информационно-управляющим комплексом космической станции [11].

Принципиальным моментом учета человеческого фактора при организации подготовки и оценке готовности космонавтов к выполнению полетного задания является обоснование не только эффективных методов и технологий приобретения знаний, навыков и умений, но и оценка уровня подготовленности. И такая оценка предполагает обязательный учет психофизиологической напряженности, как умственной, так и физической, при достижении требуемых показателей качества. Это означает, что процесс подготовки и формирования необходимых навыков и умений должен сопровождаться регистрацией показателей напряженности и их оценкой на основе обоснованных показателей и критериев.

Опыт космических полетов показал важность и значимость подготовки космонавтов к внекорабельной деятельности. Для этого нужны и используются различные методы и технологии подготовки. В интересах повышения эффективности такой подготовки планируется и осуществляется комплекс работ по совершенствованию тренажеров и технологий подготовки космонавтов к выполнению типовых и целевых операций как с использованием возможностей гидролаборатории, так и других технических средств и условий [19, 20]. Обосновываются новые подходы к управлению перемещениями космонавтов посредством электромеханических систем, использованию метода погружения для подготовки к работам на

других планетах, созданию шлюзовых отсеков для «выхода» на поверхность Луны. Изучаются возможности имитации лунной гравитации с помощью специализированных тренажеров и на самолете-лаборатории.

В системе подготовки космонавтов важное место занимает адаптация к продолжительному воздействию невесомости. Оценка готовности организма к этому, формирование механизмов повышения устойчивости, разработка методов и средств реадаптации к земным условиям – все это еще долгое время будет оставаться в центре внимания исследователей. И не только потому, что эти вопросы до сих пор не решены, но и в связи с появлением новых факторов, условий и обстоятельств осуществления профессиональной деятельности космонавтов при освоении дальнего космоса. В этой связи актуальными остаются исследования по созданию центрифуг, моделированию гравитации Луны и Марса, обоснованию алгоритмов и режимов имитации невесомости и созданию тренажерного центробежного модуля для использования на борту космической станции. Однако эти исследования должны проводиться в рамках комплексной программы решения проблем эксплуатации, модернизации и использования центрифуг и моделирования невесомости при подготовке космонавтов и проведении испытаний и научных исследований.

Более подробно содержание исследований в интересах медико-технического и социально-психологического обеспечения профессиональной деятельности космонавтов обсуждалось на секции «Медицинские и психологические аспекты отбора, подготовки, деятельности экипажей в космических полетах и послеполетной реабилитации». Основными темами обсуждения являлись как непосредственно медицинские проблемы космических полетов, так и проблемы гравитационной физиологии, физиологии сенсорных систем в космических полетах [21]. Отмечалась необходимость системного изучения функционального состояния космонавтов в длительных полетах и влияния многосуточной невесомости на их устойчивость в зависимости от исходного статуса и предрасположенности к болезни движения.

Все это требует изучения динамики функционального состояния членов экипажа на различных этапах длительного космического полета, выявления психологических особенностей работы с робототехническими системами, совершенствования методов моделирования гравитационных воздействий для изучения процессов адаптации сердечно-сосудистой системы, сохранения сенсомоторных навыков слежения после продолжительного полета.

В свою очередь, это предполагает изучение влияния различных факторов на функциональное состояние космонавтов, в том числе кратковременного воздействия нулевого магнитного поля и особенностей функционирования опорно-двигательного аппарата в условиях лунной гравитации. Эти исследования являются основой для разработки средств и методов профилактики неблагоприятного влияния факторов космического полета на организм и функциональное состояние космонавтов. В частности, это относится к разработке индивидуальных режимов физических тренировок. Применительно к сохранению работоспособности космонавтов изучаются возможности применения низкочастотного импульсного магнитного поля для коррекции нарушений работоспособности, тренировки мышечного аппарата методом электрической стимуляции и индивидуализации физических тренировок. Все это предполагает формирование индивидуального паспорта личности и психофизиологических особенностей космонавта. Его данные, функциональные возможности и реакции организма на психические и физические воздействия и факторы профессиональной деятельности должны стать основой системы индивидуальной оценки организма космонавта как в плане готовности к

полету, так и эффективности реабилитации в послеполетный период. Дальнейших исследований требуют процессы физической и психологической реабилитации космонавтов, оценка состояния иммунной системы, вестибулярной функции, сенсомоторной деятельности и особенностей их реадaptации после продолжительного космического полета. Показана необходимость разработки и использования специальной автоматизированной информационной системы обеспечения такой реабилитации. С позиций учета человеческого фактора применение этих методов предполагает своевременную диагностику психофизиологического состояния космонавта, определение причин его изменения в связи с утомлением, повышенной нагрузкой или эмоциональными реакциями. Методы коррекции функционального состояния должны это учитывать так же, как и индивидуальные особенности человека, его личности и психофизиологические резервы управления своим поведением и состоянием. Отсюда возникает необходимость постановки специальных исследований по оценке функциональных резервов космонавтов в процесс полетов, их оценки и учета при определении методов, способов и средств воздействия и восстановления профессиональной надежности космонавтов.

Проблемы подготовки кадров для аэрокосмической отрасли

Повышенное внимание на конференции уделялось психологическому обеспечению профессиональной деятельности космонавтов, их психологической поддержке в длительных космических полетах и прогнозированию профессиональной надежности членов экипажей.

В последние годы проблема подготовки и омоложения кадров в аэрокосмической отрасли приобрела актуальное значение. Не случайно на конференции традиционно работает секция «Молодежь настоящего и будущего пилотируемой космонавтики». Ее участники обсуждают проблемы кадровой преемственности и формирования поколения исследователей, способных решать масштабные задачи реализации освоения дальнего космоса.

Эффективно функционирует созданный на базе Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина Космический научно-образовательный инновационный консорциум [9]. Его руководители считают привлечение молодежи к профессиональному участию в космической деятельности необходимым условием ее существования и развития. Разработана и осуществляется целенаправленная профориентационная работа по привлечению в космическую отрасль молодых высокомотивированных квалифицированных кадров. В Центре в целях профессиональной ориентации школьников разработаны маршруты образовательного туризма в рамках проектной деятельности, направленной на повышение мотивации и всестороннее развитие учащихся. Так, образовательная программа «Один день в Космоцентре» состоит из модулей, позволяющих адаптировать ее к разным категориям учащихся. В качестве модулей выступают экскурсии по объектам технической территории, теоретические и практические занятия в многофункциональном мультимедийном комплексе, игровые методы знакомства с образовательными технологиями, встречи с космонавтами, общение с ними и другие. Повышенным интересом у школьников пользуется образовательная программа «Основы выживания в сложных климатических условиях». Все это позволяет популяризировать достижения космонавтики и повышать престиж профессий космической направленности. В Донском филиале Центра тренажеростроения разработана и реализуется программа обеспечения дополнительного образования детей, в

том числе космического образования молодежи «Полет к космическим станциям и на планеты». Эта программа, реализуемая Центром космического образования молодежи, созданного на базе Молодежного образовательного Космоцентра «Астрон», предусматривает представление истории решения отечественными учеными, конструкторами, инженерами и техниками широкого круга проблем подготовки и осуществления пилотируемых космических полетов. Основной акцент делается на изучении истории космонавтики, ракетно-космического комплекса и системы управления полетами, а также системы отбора и подготовки космонавтов, включая космические тренажеры. В Российском государственном аграрном университете – Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева функционирует Центр технологической поддержки образования. Используя экспериментально-лабораторную базу университета, Центр формирует научно-исследовательские группы из школьников и студентов колледжей для участия в проектной и научно-исследовательской деятельности и реализации проекта «Космические технологии в сельском хозяйстве».

Для формирования кадрового потенциала аэрокосмической отрасли необходимы ранняя профориентация школьников и формирование глобально-ориентированной образовательной среды. Сегодня это делается на основе проектов работ лабораторий космической биологии и медицины, «Военно-инженерной школы», космических центров в школах. Созданы и функционируют «Консультативный совет космического поколения», молодежный совет по решению проблем привлечения молодых специалистов к работе в исследовательских центрах, музеи в планетариях с интерактивным взаимодействием с экспонатами. Целенаправленная и эффективная работа по профориентации школьников и студентов ведется в Воронежском государственном медицинском университете им. Н.Н. Бурденко. Здесь реализуется программа «Дорога в космос», проводятся Международные творческие конкурсы «Космос глазами молодых», функционирует Центр космического просвещения, ведутся историко-архивные исследования. Последовательно повышается активность Музея первого космического полета в реализации образовательных программ космической направленности. С разных сторон и в разных направлениях такая работа ведется многими организациями. Представители этих организаций регулярно участвуют в работе секции с докладами о результатах и планах работы. Как правило, ведут такую работу энтузиасты авиации и космонавтики, понимая ее важность и государственный характер.

В целях профориентации студентов аэрокосмических образовательных учреждений представляется необходимым соответствующая корректировка программ и содержания их подготовки в области инженерно-психологического и эргономического проектирования средств отображения информации, органов управления, систем жизнеобеспечения и бортового оборудования. Большая роль в этом принадлежит учебно-методическим объединениям образовательных учреждений в области авиации, ракетостроения и космоса, занимающихся обновлением образовательных стандартов, программ и повышением качества образования. Но в своей работе они нуждаются в помощи «Роскосмоса» и взаимодействии с предприятиями авиакосмической отрасли.

Из отмеченных выше направлений исследований по учету человеческого фактора следует, что они нацелены на обеспечение эффективной работы экипажей и их профессиональной надежности по разным направлениям, в том числе применительно к перспективным проектам и планам освоения дальнего космоса. Однако ведутся эти исследования в основном за счет собственных ресурсов раз-

личных организаций, без комплексирования и координации, обеспечивающих опережающую научную проработку учета психофизиологических характеристик и возможностей космонавтов применительно ко всем стадиям и этапам подготовки и осуществления межпланетных экспедиций.

Специалисты научно-исследовательских и образовательных организаций фактически не участвуют в работах по реализации Плана мероприятий («дорожной карты») в области инжиниринга и промышленного дизайна, утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 июля 2013 г. № 1300-р. Между тем, этот план является реальной основой повышения надежности как космической техники, оборудования, систем жизнеобеспечения, так и эффективности профессиональной деятельности космонавтов и предупреждения техногенных аварий и катастроф [4].

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 13 июля 2015 г. № 215-ФЗ «О Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» на корпорацию возложены задачи создания условий и механизмов эффективного осуществления космической деятельности, использования ее результатов, управления и развития подведомственных организаций. В полной мере это касается руководства и координации медико-технических, социально-психологических и эргономических исследований по учету человеческого фактора на этапах разработки и эксплуатации космической техники, отбора, подготовки космонавтов и осуществления космической деятельности, продления их профессионального долголетия [10].

Руководство медико-техническими, социально-психологическими и эргономическими исследованиями и их финансирование в объеме, необходимом для безусловной реализации отечественной стратегии космической деятельности, может включать решение следующих задач:

- выработки политики в области медико-технического и социально-психологического обеспечения космической деятельности и технического регулирования вопросов эргономики и эргодизайна на предприятиях отрасли;
- координации исследований по обеспечению профессиональной надежности космонавтов, повышению их устойчивости к действию невесомости и других факторов продолжительных космических полетов, сохранению работоспособности и продлению профессионального долголетия;
- информационно-научного обеспечения исследований в области учета человеческого фактора в интересах космической деятельности и актуализации направлений и содержания медико-технических, социально-психологических и эргономических исследований, проводимых предприятиями корпорации;
- координации направлений и содержания подготовки и повышения квалификации специалистов в образовательных учреждениях высшего профессионального образования аэрокосмического профиля;
- координации международного сотрудничества в области медико-биологических, психологических и эргономических исследований и представления на международных научных форумах отечественных достижений в области медико-технического и социально-психологического обеспечения пилотируемых космических полетов;
- организации мониторинга, обобщения и анализа материалов зарубежных исследований в интересах отечественных разработок в области учета человеческого фактора и обеспечения психофизиологической надежности космонавтов во время продолжительных полетов.

На основании вышеизложенного представляется возможным сформулировать следующие положения и выводы.

1. На Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» проблемы учета человеческого фактора заняли достойное место среди основных направлений работы конференции, они были конкретизированы применительно к стадиям разработки космической техники и этапам подготовки и осуществления пилотируемых космических полетов и непосредственно касались вопросов отбора, формирования профессионально важных качеств, обеспечения профессиональной деятельности и восстановления функционального состояния после космических полетов.

2. Повышенное внимание участников конференции вызывали вопросы планирования, координации и организации системных и взаимосвязанных исследований особенностей деятельности космонавтов, в том числе применительно к будущим межпланетным экспедициям в части заблаговременного создания и развития материально-технической и экспериментальной базы для проведения опережающих эргономических исследований структуры, содержания и специфики решения внутри- и внекорабельных задач профессиональной деятельности космонавтов в длительных космических полетах.

3. Повышение эффективности учета психофизиологических возможностей и характеристик космонавтов для обеспечения профессиональной надежности их деятельности при выполнении продолжительных орбитальных и межпланетных экспедиций предполагает проведение опережающих разработок по обеспечению профессиональной надежности космонавтов и безопасности космических полетов при реализации отечественной стратегии космической деятельности.

4. Эффективность учета человеческого фактора в интересах повышения конкурентоспособности создаваемой авиакосмической техники и качества предоставляемых услуг в области космической деятельности и обеспечения профессиональной надежности космонавтов в космических полетах большой продолжительности может служить основанием для их отнесения к инвестициям в человеческий капитал и финансирования в рамках федеральной целевой программы.

5. Развитие отечественной космонавтики предполагает подготовку квалифицированных кадров, организацию и координацию работ и мероприятий по профессиональной ориентации молодежи для участия в космической деятельности и подготовки специалистов, в том числе в области инженерно-психологического, медико-технического и социально-психологического обеспечения профессиональной деятельности космонавтов.

6. Эффективная реализация отечественной стратегии развития космической деятельности предполагает руководство со стороны Роскосмоса исследованиями и разработками по учету человеческого фактора при подготовке и осуществлении профессиональной деятельности космонавтов, финансирование и координацию исследований, проводимых различными научно-исследовательскими и образовательными организациями, и внедрение обоснованных рекомендаций и предложений в практику.

7. Повышается актуальность проведения междисциплинарных фундаментальных исследований по разработке проблем охраны здоровья и обеспечения работоспособности космонавтов, интеллектуальной поддержке их автономной деятельности в условиях длительных межпланетных полетов, выполнения сложной операторской деятельности в условиях воздействия стресс-факторов и возникновения нештатных ситуаций.

8. В интересах профессионального медицинского и психологического отбора космонавтов, организации их обучения, подготовки и оценки готовности к полетам представляется актуальным развитие и совершенствование методов, средств и технологий оценки профессионально важных качеств и специальных знаний, навыков и умений и прогноза психофизиологической надежности космонавтов при выполнении продолжительных космических полетов и межпланетных экспедиций.

9. При создании перспективных пилотируемых космических кораблей необходимо использовать отечественный опыт эргономического обеспечения проектирования, испытаний и эксплуатации бортовых систем, отсеков и служебных, научных, грузовых, медицинских и других функциональных модулей и психофизиологической оптимизации алгоритмов, средств и условий профессиональной деятельности космонавтов, планирования и регулирования их умственной и физической нагрузки и оценки функционального состояния.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Васильев А.В., Кондрат А.И. Моделирование деятельности космонавтов в нестандартных ситуациях полета как средство повышения их профессиональной подготовки // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 70–71.
- [2] Дворников М.В., Меденков А.А. Военно-морской и авиационный врач, психолог и физиолог (к 90-летию со дня рождения Г.М. Зараковского) // Воен.-мед. журн. – 2015. – № 4. – С. 81–83.
- [3] Совершенствование организационно-методического обеспечения подготовки космонавтов / Дмитриев В.Н., Крючков Б.И., Курицын А.А. // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 27–28.
- [4] Зараковский Г.М. «Дорожная карта» по развитию инжиниринга и промышленного дизайна в 2013–2018 годах» и перспективы эргономических исследований и разработок // ЧФ: проблемы психологии и эргономики. III Международная конференция «Психология и эргономика: единство теории и практики», г. Тверь, 24–25 сент. 2013 г. – 2013. – № 4 (67). – С. 23–28.
- [5] Зараковский Г.М. Анализ деятельности: психофизиологическая структура трудовой деятельности и методы ее выявления // Физиология трудовой деятельности. Гл. 16. – СПб.: Наука, 1993. – С. 467–492.
- [6] Зараковский Г.М. Феномен инженерной психологии // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Вып. 2. / Под ред. В.А. Бодрова, А.Л. Журавлева. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011. – С. 49–68.
- [7] Зараковский Г.М., Меденков А.А. Становление и развитие авиационной эргономики // Авиационная инженерная психология и эргономика. – М.: Полет, 2003. – С. 10–13.
- [8] Системная психофизиологическая оптимизация операторской деятельности / Зараковский Г.М., Меденков А.А., Поспелов А.А. // Системный подход в инженерной психологии и психологии труда. – М.: Наука, 1992. – С. 117–131.
- [9] Захаров О.Е., Веденина Ю.О. Космоцентр ФБГУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» как базовая площадка инновационного научно-образовательного консорциума Роскосмоса // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 495–496.
- [10] Эргономика и эргодизайн в космическом инжиниринге / Козлова Н.М., Меденков А.А., Миронова Т.В. // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 50–52.

- [11] Безопасность применения антропоморфных роботов-помощников при внутрикорабельной деятельности космонавтов / Крючков Б.И., Сосюрка Ю.Б., Усов В.М. // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 33–35.
- [12] Перспективы развития системы отбора космонавтов для осуществления лунных экспедиций / Крючков Б.И., Усов В.М., Каспранский Р.Р. и др. // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 24.
- [13] 55 лет Центру подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина – история и перспективы развития / Лончаков Ю.В., Сиволап В.А., Курицын А.А. // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 5–6.
- [14] Медведев А.А. Анализ деятельности экипажей на борту Международной космической станции // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 65.
- [15] Меденков А.А. Актуальные проблемы авиакосмической психофизиологии в трудах Г.М. Зараковского // Авиакосм. и эколог. мед. – 2015. – Т. 49, № 2. – С. 69–77.
- [16] Меденков А.А. Научно-практический вклад Г.М. Зараковского в развитие отечественной психофизиологии (к 90-летию со дня рождения) // Физиология человека. – 2015. – № 2.
- [17] Меденков А.А. Научно-практический вклад Г.М. Зараковского в становление отечественной эргономики и развитие психологии // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Вып. 6. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2014. – С. 245–257.
- [18] Меденков А.А. Плеяда единомышленников отечественной эргономики // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. – 2015. – № 2. – С. 3–15.
- [19] Наумов Б.А., Хрипунов В.П. Основные подходы к формированию комплекса технических средств подготовки космонавтов // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 254–255.
- [20] Экспериментальные эргономические исследования процессов дистанционного управления антропоморфной робототехнической системой космонавтами при проведении операций обслуживания КА объектов лунной инфраструктуры / Сохин И.Г., Бурдин Б.В., Соловьева И.Б. и др. // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 31–33.
- [21] Ушаков И.Б., Меденков А.А. Основы современного медицинского обеспечения полетов // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 10–12 ноября 2015 г. – С. 476–477.

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION

КОСМИЧЕСКИЙ ФОРУМ, ПОСВЯЩЕННЫЙ 55-ЛЕТИЮ ПОЛЕТА Ю.А. ГАГАРИНА

6 апреля 2016 года, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»

Space Forum Dedicated to the 55-year Anniversary of Gagarin's Space Flight April 6, 2016, FSBO "Gagarin R&T CTC"

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» при поддержке Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» 6 апреля 2016 года в Звездном городке проводит космический форум, посвященный 55-летию полета первого человека в космос (далее – форум).

Рабочие языки форума русский и английский.

Цель форума – история, современное состояние и перспективы создания, развития и применения пилотируемых космических аппаратов, проведения космических исследований, отбора, подготовки, профессиональной деятельности космонавтов на борту пилотируемых космических аппаратов и послеполетной реабилитации.

Научная программа форума предусматривает проведение пленарного заседания и работу двух круглых столов:

- «Пилотируемые полеты в космос» (история, современное состояние и перспективы развития пилотируемых полетов в космос);
- «Молодежь – настоящее и будущее пилотируемой космонавтики».

Участие в работе форума является **бесплатным**.

К участию в форуме приглашаются российские и зарубежные космонавты, ученые, инженеры, конструкторы и специалисты космической и смежных отраслей.

Ознакомиться с подробной информацией об условиях проведения форума можно на сайте ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» www.gctc.ru.

**БАЗА ДАННЫХ ЗАМЕЧАНИЙ
И ПРЕДЛОЖЕНИЙ ЭКИПАЖЕЙ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕННЫХ
КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ**

Свидетельство о государственной регистрации № 2014620164
от 22 января 2014 года

**Database of Crews' Comments and Suggestions By Results
of Executed Space Missions**
Certificate of State Registration № 2014620164 from January 22, 2014

Программный продукт «База данных замечаний и предложений экипажей по результатам выполненных космических полетов» (далее по тексту – БД замечаний экипажей) предназначен для ведения базы данных замечаний экипажей, возникающих в процессе подготовки экипажей к полету, в самом полете или в период послеполетных мероприятий. Область применения помимо анализа процесса подготовки экипажей к космическому полету может охватывать сферы деятельности, связанные с подготовкой операторов сложных моноэнергетических и полиэнергетических детерминированных (с жестким алгоритмом действий) и недетерминированных систем, таких как: подготовка операторов авиационных комплексов, операторов атомных электростанций, экипажей надводных и подводных кораблей. Функциональные возможности базы данных определяются структурной организацией взаимодействующих программных модулей, включающих в себя непосредственно рабочую базу данных (файл flybase.gdb), в которой хранится целевая информация, служебную БД (файл locate.gdb) для задач конфигурирования, а также программную часть, которая в свою очередь подразделяется на серверное и клиентское программное обеспечение (ПО). Серверным ПО является СУБД Firebird 1.5.5, средствами которой осуществляется доступ к информации, хранящейся в рабочей БД. Программное обеспечение клиента БД представляет собой сетевое многопользовательское клиент-серверное приложение, предоставляющее пользовательский интерфейс для занесения информации в рабочую БД, а также для изменения и обработки этой информации. Пользовательский интерфейс клиента БД позволяет также решать такие задачи администрирования, как создание пользователей СУБД Firebird и назначение им прав доступа к объектам рабочей БД.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК

Вид и версия системы управления базой данных: Firebird 1.5.5

Вид и версия операционной системы: Windows XP/Vista/7

Объем базы данных: 10 Мб

Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных «База данных замечаний и предложений экипажей по результатам выполненных космических полетов» № 2014620164 от 22 января 2014 года.

Авторы: Крючков Борис Иванович (RU), Курицын Андрей Анатольевич (RU), Рыбкин Дмитрий Евгеньевич (RU), Бабакова Лариса Сергеевна (RU).

**СИСТЕМА ИМИТАЦИИ
ВНЕШНЕЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ
В БОРТОВЫХ СРЕДСТВАХ НАБЛЮДЕНИЯ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА**
Патент на полезную модель № 136618 от 10 января 2014 года

**The Simulation System
of External Visual Environment Included
in the Complement of the Onboard Earth Observation Equipment
of a Space Simulator**

Useful Model Patent № 136618 from January 10, 2014

Система имитации внешней визуальной обстановки (ИВВО) в бортовых средствах наблюдения земной поверхности космического тренажера предназначена для подготовки космонавтов к решению задач в области геофизических исследований и мониторинга Земли с борта пилотируемого космического аппарата (ПКА) методом визуально-инструментальных наблюдений (ВИН). Технический результат – обеспечение возможности моделирования на космических тренажерах и моделирующих стендах изображения земной поверхности, соответствующего реальным условиям наблюдения Земли как в иллюминаторах ПКА (наблюдение невооруженным глазом), так и с использованием бортовой фотокамеры с изменяемой кратностью увеличения ее объектива при отработке космонавтами навыков выполнения сеансов ВИН. Для достижения данного результата в систему ИВВО, содержащую формирователи изображений каналов имитации иллюминаторов, управляющую ЭВМ, сетевой коммутатор, системный коммутатор, устройство коммутации видеосигналов, устройства воспроизведения изображений в иллюминаторах рабочего места космонавта-оператора тренажера, средства управления и контроля формирователей изображений, средства отображения информации пульта контроля и управления тренажера, комплект программного обеспечения, дополнительно введены формирователь изображений канала имитации инструментального средства наблюдения (бортовой фотокамеры), имитатор бортовой фотокамеры, устройство трекинга имитатора бортовой фотокамеры. При этом цифровые визуальные модели формирователей изображений содержат текстуры поверхности Земли высокого разрешения наземных объектов.

Получен патент на полезную модель «Система имитации внешней визуальной обстановки в бортовых средствах наблюдения земной поверхности космического тренажера» № 136618 от 10 января 2014 года.

Авторы: Брагин Виктор Игоревич (RU), Митин Алексей Иванович (RU), Рябов Константин Сергеевич (RU), Васильев Валерий Иванович (RU), Бартош Василий Станиславович (RU), Кузиковский Станислав Александрович (RU).

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

INFORMATION FOR AUTHORS AND READERS

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина») с 2011 года издает научный журнал «Пилотируемые полеты в космос» по широкому кругу проблем, связанных с тематикой пилотируемых полетов в космос. В журнале публикуются работы по следующим областям: результаты выполнения и обеспечения пилотируемых космических программ; отбор, подготовка и реабилитация космонавтов после выполнения космических полетов; обеспечение безопасного пребывания космонавтов на орбите; научно-прикладные исследования и эксперименты в космосе и на Земле; создание и модернизация космической техники и наземных технических средств, применяемых для подготовки космонавтов; внедрение результатов космической деятельности; образовательные программы по тематике пилотируемой космонавтики.

С 1 декабря 2015 года журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», утвержденный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации (ВАК) (письмо о Перечне рецензируемых научных изданий от 01.12.2015 № 13-6518), по следующим специальностям:

- 05.13.00 – информатика, вычислительная техника и управление;
- 05.26.00 – безопасность деятельности человека;
- 14.03.00 – медико-биологические науки;
- 13.00.00 – педагогические науки.

Приглашаются к сотрудничеству ученые и специалисты в различных областях, а также начинающие авторы.

Конструктивная и доброжелательная критика специалистов на страницах журнала призвана способствовать повышению уровня и качества работ начинающих исследователей, стимулировать приток свежих сил в сложнейшую отрасль мировой науки и техники.

<http://www.gctc.ru>

Вниманию авторов

Авторы присылают подготовленные к изданию работы и экспертное заключение на них. Необходима качественная распечатка (лазерный принтер) на хорошей белой бумаге и пересылка по электронной почте. Предоставляемые для публикации материалы должны строго соответствовать нижеперечисленным требованиям. Статья объемом от 5 до 15 страниц должна быть **тщательно отредактирована**. Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word версии 97–2007.

1. Предоставляемый материал (статья) должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

2. Статья научного характера должна иметь следующие обязательные элементы:

- постановку задачи (вопрос, на который дается ответ в статье);

– анализ существующих методологических подходов к решению данной задачи;

- исследовательскую часть;
- систему доказательств и научную аргументацию;
- список цитируемой литературы.

Статья должна быть написана языком, понятным не только специалистам в данной области, но и широкому кругу читателей.

3. Первая страница текста должна содержать следующую информацию:

- УДК;
- заглавие статьи;
- имя, отчество, фамилию автора(ов);
- сведения об авторе/авторах: должность, место работы, ученое звание, ученая степень, домашний адрес (с индексом), контактные телефоны (раб., дом.), адрес электронной почты;
- аннотацию к статье (3–10 строк);
- ключевые слова по содержанию статьи (8–10 слов), которые размещаются после аннотации.

4. В конце статьи приводится список цитируемой литературы в алфавитном порядке (сначала литература на русском языке, затем на иностранном) по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

Параметры страницы

В диалоге «Файл – Параметры страницы» используется размер бумаги формата А4, ориентация листа книжная. Поля: верхнее и нижнее – 4,82 см; левое и правое – 4,25 см. В тексте статьи необходимо установить автоматический перенос слов.

Заголовок

В левом углу проставляется УДК (шрифт «Times New Roman», размер шрифта – 10 пунктов).

Название статьи набирается прописными буквами (шрифт «Times New Roman», размер шрифта – 11 пунктов, полужирный), выравнивание по левому краю.

Инициалы, фамилия автора(ов) размещаются после названия статьи по левому краю (шрифт «Times New Roman», размер шрифта – 11 пунктов).

Аннотация и ключевые слова

Текст аннотации и ключевые слова (шрифт «Times New Roman», 9 пунктов) оформляется с отступом от левого края – 1,25 см. Ключевые слова печатаются после аннотации, начиная словом «Ключевые слова» с прописной буквы (шрифт полужирный); двоеточие; затем идет перечисление ключевых слов через запятую (шрифт «Times New Roman» – обычный), выравнивание по ширине.

На английском языке повторить название статьи, инициалы и фамилию автора(ов) (шрифт «Times New Roman», 10 пунктов, полужирный). Оформляется с отступом от левого края – 1,25 см, выравнивание по ширине.

На английском языке повторить аннотацию статьи и ключевые слова (шрифт «Times New Roman», 9 пунктов, обычный), выравнивание по ширине.

Основной текст

Основной текст статьи на русском языке, используется шрифт «Times New Roman», 10 пунктов, интервал между строками «одинарный». Отступы в начале абзаца – 0,8 см. Иллюстрации – в компьютерном исполнении (рисунок в Word, файлы с расширением – .bmp, .jpg, .gif) с возможностью их редактирования. Ри-

сунки размещаются в тексте. Формулы печатаются в редакторе Microsoft Equation. Таблицы, схемы, рисунки и формулы в тексте должны нумероваться; схемы и таблицы должны иметь заголовки, размещенные над схемой или полем таблицы, а каждый рисунок – подрисовочную подпись. Рисунки, диаграммы, схемы, таблицы делать в черно-белом варианте, если цвет на них не несет нагрузку.

Список литературы

Набирается шрифтом «Times New Roman», 9 пунктов, интервал между строками «одинарный». Библиографические ссылки оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

За автором сохраняется право копирования своей публикации.

Статьи, предназначенные для публикации в журнале, должны быть поданы в двух экземплярах. На первом экземпляре располагается подпись автора статьи. Статьи направляются по указанному ниже адресу или тому члену редакционного комитета, который, по мнению автора, наиболее близок к теме работы.

Материалы, предоставленные для публикации в редакцию журнала, авторам не возвращаются.

Статьи, оформленные без учета вышеизложенных правил, к публикации не принимаются.

Вниманию читателей

Редакционная коллегия журнала не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редакция вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или же общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи сообщается автору, который представил статью, специалистам, давшим рекомендации, и организации, где работа выполнялась.

To the Attention of Readers

The editorial board of the magazine shall not bear any responsibility in front of authors and/or third parties and institutions for potential losses caused by an article publication. The editorial board has the right to withdraw a published article if during its publication somebody's rights or customary scientific ethic norms had been violated. Author of the article, specialists who gave recommendations and organization, where the work was done, shall be informed about the withdrawal.

Наши координаты для контактов

(по вопросам публикации, рекламы, и деловых предложений)

Кальмин Андрей Валентинович (организационные вопросы)

тел.: 8 (495) 526-37-31; 8 (495) 526-38-90, e-mail: A.Kalmin@gctc.ru.

Факс: 8 (495) 526-26-12

Электронный вариант научного журнала «Пилотируемые полеты в космос» выполнен в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Содержание журнала, аннотации, ключевые слова, сведения об авторах размещены на сайте <http://www.gctc.ru>. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**ПИЛОТИРУЕМЫЕ
ПОЛЕТЫ В КОСМОС**
(научный журнал)

Научный редактор *Л.К. Васильева*
Редактор *С.Г. Токарева*
Технический редактор *Н.В. Волкова*
Корректор *Т.И. Лысенко*
Перевод *С.Б. Беляковская*

Подписано в печать 03.03.16.
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.
Усл. печ. л. 12,08. Тираж 120 экз. Зак. 714-15.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»