

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

**Ю.В. Лончаков**

**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**

**В.А. Сиволап** –  
заместитель  
главного редактора,

**А.В. Кальмин** –  
ответственный секретарь,

**О.М. Алифанов,**

**Ю.М. Батурин,**

**М.Н. Бурдаев,**

**Л.К. Васильева,**

**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,**

**В.П. Соколов,**

**Ю.Б. Сосюрка,**

**И.Г. Сохин,**

**В.М. Усов,**

**А.С. Харланов,**

**В.И. Ярополов.**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....4

Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-47/48 при выполнении программы космического полета. *А.Н. Овчинин, О.И. Скрипочка*.....4

Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-47/48 (экспресс-анализ). *В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова* .....17

### ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС ....29

Экспериментальные исследования по оценке выполнения сложной операторской деятельности космонавтом после завершения годового космического полета. *М.Б. Корниенко, Ю.В. Лончаков, А.А. Курицын, В.А. Копнин, А.С. Кондратьев, П.П. Долгов, В.С. Коренной, А.П. Гришин*.....29

Испытания моделей бортовых систем в составе тренажера российского сегмента Международной космической станции. *Е.В. Полунина* .....37

Подход к проектированию электропривода подвеса кабины центрифуги ЦФ-7. *Е.А. Юфкин* .....48

Анализ основных результатов внекорабельной деятельности экипажей МКС. *Б.И. Крючков, А.А. Алтунин, П.П. Долгов, В.И. Ярополов, В.М. Усов, Е.Ю. Иродов, Д.И. Верба, В.С. Коренной*.....56

Вариант состава и структурной схемы базового блока автономного антропоморфного робота космического назначения. *В.Г. Сорokin*.....68

О минимальных неустрашимых микроперегрузках на космических аппаратах, стабилизированных в инерциальной системе координат. <i>М.Н. Бурдаев, Б.В. Бурдин</i> .....	85
Психологическое сопровождение профессиональной подготовки космонавтов. <i>И.Б. Соловьева</i> .....	93
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ .....	104
Шесть часов на острове «Иглы». <i>В.Д. Старлычанов</i> .....	104
Некоторые аспекты космической деятельности КНР: история и политика. <i>О.В. Матвеев А.С. Харланов</i> .....	115
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ .....	127
Профессиональные стандарты для специалистов в области пилотируемой космонавтики. <i>Б.И. Крючков, В.Н. Саев, Г.Д. Орешкин, П.П. Долгов, Ю.А. Виноградов, Р.Р. Каспранский</i> .....	127
Информация для авторов и читателей .....	134

## CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS .....	4
Main Results of the ISS-47/48 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. <i>A.N. Ovchinin and O.I. Skripochka</i> .....	4
Medical Support of the ISS-47/48 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i> .....	17
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS .....	29
Experimental Evaluation of Complex Operator Activity Performed by the Cosmonaut directly After Completion of the One-Year Space Flight. <i>M.B. Kornienko, Yu.V. Lonchakov, A.A. Kuritsyn, V.A. Kopnin, A.S. Kondratiev, P.P. Dolgov, V.S. Korennoy, A.P. Grishin</i> .....	29
Tests of Models of the Onboard Systems as Part of the Simulator of the ISS Russian Segment. <i>E.V. Polunina</i> .....	37
Approach to Designing an Electric Drive for the Cab's Suspension of the Centrifuge TsF-7. <i>E.A. Yufkin</i> .....	48
Main Results of EVA of the ISS's Crews. <i>B.I. Kryuchkov, A.A. Altunin, P.P. Dolgov, V.I. Yaropolov, V.M. Usov, E.Yu. Irodov, D.I. Verba, V.S. Korennoy</i> .....	56
An Option Configuration and Structural Scheme of the Base Unit of the Stand-Alone Humanoid Space Robot. <i>V.G. Sorokin</i> .....	68
About the Minimal Irremovable Microaccelerations on Space Vehicles, Stabilized in the Inertial Coordinate System. <i>M.N. Burdaev, B.V. Burdin</i> .....	85
Psychological Support of Cosmonaut Professional Training. <i>I.B. Solovyova</i> .....	93
HISTORY. EVENTS. PEOPLE .....	104
Six Hours on the Point of the "Needle". <i>V.D. Starlychanov</i> .....	104
Some Aspects of Space Activities of China: History and Politics. <i>O.V. Matveev, A.S. Kharlanov</i> .....	115
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION.....	127
Professional Standards for Specialists in the Field of Manned Space Exploration. <i>B.I. Kryuchkov, V.N. Saev, G.D. Oreshkin, P.P. Dolgov, Y.A. Vinogradov, R.R. Kaspransky</i> .....	127
Information for Authors and Readers .....	134

# ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

## RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-47/48 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА А.Н. Овчинин, О.И. Скрипочка

Космонавт-испытатель А.Н. Овчинин; Герой Российской Федерации, космонавт-испытатель 3-го класса О.И. Скрипочка (Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-47/48 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз ТМА-20М» 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. Высказываются 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-47/48 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. A.N. Ovchinin and O.I. Skripochka**

The paper considers results of the ISS-47/48 expedition's activity aboard the «Soyuz-TMA-20M» 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. Remarks and suggestions to improve the ISS Russian Segment 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-47/48 в составе:

Овчинин Алексей Николаевич	командир ТПК «Союз ТМА-20М» бортинженер МКС-47/48 (Роскосмос, Россия)
Скрипочка Олег Иванович	бортинженер ТПК «Союз ТМА-20М» бортинженер МКС-47/48 (Роскосмос, Россия)
Уилльямс Джеффри Нелс	бортинженер-2 ТПК «Союз ТМА-20М» бортинженер МКС-47 командир экспедиции МКС-48 (НАСА, США)

выполнил космический полет длительностью 172 суток с 19 марта 2016 года по 7 сентября 2016 года. Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-20М» – «Бурлак».



Экипаж экспедиций МКС-47/48

### Опыт полетов членов экипажа

Овчинин Алексей Николаевич в отряде космонавтов с октября 2006 года. До назначения в экипаж опыта космических полетов не имел. Космонавт-испытатель отряда космонавтов Роскосмоса.

Скрипочка Олег Иванович в отряде космонавтов с июля 1997 года. 1-й полет совершил с 8 октября 2010 года по 16 марта 2011 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-01М» и бортинженера МКС-25/26. В ходе полета выполнил три выхода в открытый космос общей продолжительностью 16 ч 39 мин. Продолжительность полета 159 сут. 8 ч 43 мин.

Уильямс Джеффри Нелс в отряде астронавтов НАСА с мая 1996 года. Имеет опыт 3 космических полетов.

1-й полет выполнил с 19 по 29 мая 2000 года в качестве бортинженера МТКК «Шаттл» в составе STS-101. В ходе полета выполнил один выход в открытый космос продолжительностью 6 ч 44 мин. Продолжительность полета – 9 сут. 20 ч.

2-й полет совершил с 30 марта по 29 сентября 2006 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-8» в составе экипажа МКС-13. В ходе полета выполнил два выхода в открытый космос общей продолжительностью 12 ч 25 мин. Выходы осуществлялись в российском и американском скафандрах. Продолжительность полета составила 182 сут. 22 ч.

3-й полет выполнил с 30 сентября 2009 года по 18 марта 2010 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-16» и командира МКС-22. Продолжительность полета составила 169 сут.

### Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-20М» был произведен 19 марта 2016 года с космодрома Байконур (Казахстан).

$T_{КП} = 00:26:638$ ;  $T_{КО} = 00:35:26$  декретного московского времени (ДМВ).

Параметры орбиты выведения: период  $T = 88,65$  мин, наклонение  $i = 51,66$ , высота  $h \times H = 198,59$  км  $\times$  245,35 км.

В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-47/48 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 19 марта 2016 года ТПК «Союз ТМА-20М» в автоматическом режиме с



Экипаж корабля ТПК «Союз ТМА-20М» перед стартом

МКС к стыковочному узлу модуля МИМ2 ( $T_{\text{сцепки}} = 06:10:00$  ДМВ), сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по четырехвитковой схеме полета;

– сближение американского грузового корабля «Cygnus OA-6» с МКС, захват корабля манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля к надирному порту модуля Node1 АС МКС осуществлены 26 марта 2016 года ( $T_{\text{окончания затяжки болтов}} = 17:56$  ДМВ);

– расстыковка ТГК «Прогресс М-29М» от АО СМ проведена 30 марта 2016 года ( $T_{\text{расстыковки}} = 17:14$  ДМВ);

– научные исследования и эксперименты в соответствии с программой НПИ;  
– техническое обслуживание бортовых систем, ремонтно-восстановительные работы, дооснащение, проведение телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок, работы по программе символической деятельности;

– стыковка ТГК «Прогресс МС-02» к АО СМ выполнена 2 апреля 2016 года ( $T_{\text{м.з.}} = 20:57$  ДМВ). Сближение грузового корабля проводилось по двухсуточной схеме полета;

– сближение американского грузового корабля многоразового использования SpaceX-8 «Dragon» с МКС, захват манипулятором SSRMS, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 АС МКС выполнены 10 апреля 2016 года ( $T_{\text{окончания затяжки болтов}} = 17:47$  ДМВ);

– перемещение американского экспериментального надувного модуля ВЕАМ манипулятором станции SSRMS из негерметичного грузового отсека корабля SpaceX-8 «Dragon» и установка его на модуль Node3 АС МКС осуществлены 16 апреля 2016 года в 13:22 ДМВ;

– расстыковка грузового корабля SpaceX-8 «Dragon» от МКС проведена 11 мая 2016 года. Время отделения от манипулятора станции – 16:19 ДМВ;

– надув и развертывание модуля ВЕАМ выполнены 28 мая 2016 года. Надув модуля осуществлен до давления  $754 \text{ мм рт. ст.}$ ;

- расстыковка грузового корабля «Cygnus OA-6» от МКС проведена 14 июня 2016 года; время отделения от манипулятора станции – 16:31 ДМВ;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-19М» от стыковочного узла модуля МИМ1 выполнена 18 июня 2016 года, время расстыковки – 08:52:34 ДМВ, время посадки СА – 12:14 ДМВ;
- расстыковка и повторная стыковка ТГК «Прогресс МС» к СО1 в режиме ТОРУ осуществлены 1 июля 2016 года;
- расстыковка ТГК «Прогресс МС» от СО1 выполнена 2 июля 2016 года (Т<sub>расстыковки</sub> = 06:48 ДМВ);
- сближение ТПК «Союз МС» с МКС и стыковка проведены 9 июля 2016 года (Т<sub>м.з.</sub> = 07:06:31 ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по двухсуточной схеме полета;
- стыковка ТГК «Прогресс МС-03» к СО1 осуществлена 19 июля 2016 года (Т<sub>м.з.</sub> = 03:20 ДМВ). Сближение грузового корабля проводилось по двухсуточной схеме полета;
- сближение американского грузового корабля многоразового использования SpaceX-9 «Dragon» с МКС, захват манипулятором SSRMS, перемещение и установка корабля на надирном порту модуля Node2 АС МКС выполнены 20 июля 2016 года (Т<sub>окончания затяжки болтов</sub> = 17:08 ДМВ);
- извлечение манипулятором из корабля SpaceX-9 «Dragon» универсального стыковочного агрегата IDA2, перемещение и парковка у РМА2 осуществлены 17 августа 2016 года;
- установка стыковочного агрегата IDA2 на РМА2 модуля Node2 выполнена в ходе выхода астронавтов 19 августа 2016 года в открытый космос ВКД-36 по программе АС МКС;
- расстыковка корабля SpaceX-9 «Dragon» от МКС осуществлена 26 августа 2016 года. Время отделения от манипулятора станции – 13:11 ДМВ;
- возвращение экипажа МКС-47/48 на Землю, расстыковка и посадка ТПК «Союз ТМА-20М» выполнены 7 сентября 2016 года. Время расстыковки – 00:50:00 ДМВ, время посадки СА – 04:14:42 ДМВ.

Состав экипажа корабля «Союз ТМА-20М» при выполнении спуска:

- Овчинин Алексей Николаевич – командир корабля (Роскосмос, Россия);
- Скрипочка Олег Иванович – бортинженер (Роскосмос, Россия);
- Уилльямс Джеффри Нелс – бортинженер-2 (НАСА, США).

### Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету экипажа МКС-47/48 проводилась с 30 марта 2015 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-20М» являлись:

- подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз ТМА-20М»;
- 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 и перестыковки ТПК «Союз ТМА-20М» 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 аварийных ситуациях: пожар, разгерметизация, токсичность 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 к выполнению сближения и причаливания ТГК «Прогресс МС» на стыковочные узлы РС МКС в режиме ТОРУ;
- подготовка к выполнению расстыковки и стыковки ТГК «Прогресс МС» в режиме ТОРУ;
- подготовка экипажа по контролю автоматического сближения и стыковке ТГК «Прогресс МС» с МКС;
- подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-46/47, МКС-48/49;
- подготовка экипажа к выполнению операций по консервации и расконсервации ТПК, операциям по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;



А.Н. Овчинин во время выполнения работ со стыковочным узлом

- подготовка членов экипажа к эксплуатации бортовых систем РС МКС (модули ФГБ, СМ, СО1, МИМ1, МИМ2);
- подготовка к выполнению технического обслуживания, ремонта и дооснащения систем РС МКС;
- ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладке снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемых кораблях;



О.И. Скрипочка на тренажере «Бегущая дорожка» БД-2

– подготовка к выполнению программы научно-прикладных исследований и экспериментов на российском сегменте МКС, в том числе к выполнению медико-биологических исследований и экспериментов;

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа в случае нештатной посадки в различных климатогеографических зонах;

– подготовка к адаптации к факторам космического полета, отработка навыков оказания само- и взаимопомощи и эксплуатации бортовых медицинских средств.

### **Полет на борту транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-20М»**

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-08М» был произведен 19 марта 2016 года с космодрома Байконур.

Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно,  $T_{КП} = 00:26:38$ ;  $T_{КО} = 00:35:26$  ДМВ.

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

19 марта выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу МИМ2 ( $T_{СЦЕПКИ} = 06:10:00$  ДМВ). В процессе сближения по указанию Земли экипажем был выполнен выбор второго комплекта аппаратуры «КУРС». 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-20М».

6 сентября 2016 года, завершив программу полета на борту МКС, экипаж приступил к возвращению на Землю.



Старт корабля «Союз ТМА-20М»

На 11-м суточном витке проведена расконсервация корабля. После разрешения ЦУПа в 21:40 ДМВ выполнили ЗПЛ. Переход на автономное питание выполнен на 12-м суточном витке по КРЛ в 21:41 ДМВ. На этом же витке провели проверку герметичности переходных люков.

Подготовка к расстыковке проводилась по штатной программе полета. На 13-м 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 была выполнена 7 сентября 2016 года на 14-м суточном витке в автоматическом режиме в дежурной ориентации МКС с последующим двухимпульсным отводом. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа была выдана экипажем в 00:50:00 ДМВ, время фактической расстыковки – 00:51:31 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-м суточном витке в 02:21:50 ДМВ, посадка – на 1-м суточном витке. По указанию ЦУПа в 03:06:00 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 03:21:25 ДМВ. Двигатель работал штатно, отработал тормозной импульс 128,0 м/с без замечаний.

Разделение отсеков прошло в 03:48:32 ДМВ. Фактический вход в атмосферу в 03:51:05 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +1 секунду. Максимальная перегрузка – 4,14 единицы. Специалисты ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе, установили связь с экипажем в 04:06 ДМВ. Посадка спускаемого аппарата осуществлена 7 сентября 2016 года в 04:14:42 ДМВ в расчетной точке (148 км юго-западной г. Джезказгана).

Работа по эвакуации экипажа началась в 04:30 ДМВ после взятия СА под охрану. Аппарат находился на боку, купол парашюта погашен.

## Полет на борту МКС

Экипаж МКС-47/48 работал на борту МКС 172 суток с 19 марта 2016 года по 7 сентября 2016 года. Экипаж на российском сегменте МКС выполнил обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем МКС, программу научных исследований и экспериментов, выполнил ремонтно-восстановительные работы, провел большое число телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок.

В соответствии с программой полета 1 июля 2016 года была проведена расстыковка и повторная стыковка ТГК «Прогресс МС» к СО1. Оператор-1 – А. Овчинин, оператор-2 – О. Скрипочка. Расстыковка прошла без замечаний ( $T_{\text{РАССТЫКОВКИ}} = 08:35:00$  ДМВ). В процессе стыковки в режиме ТОРУ после касания ( $T_{\text{КАСАНИЯ}} = 09:10:00$  ДМВ) было обнаружено включение двигателей ДПО на отвод и наблюдалось движение грузового корабля по внешней телекамере. По рекомендации ЦУПа-М экипажем была выдана команда на отбой динамического режима. Далее процесс стягивания проходил штатно.

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

- мониторинг технических характеристик контуров обогрева КОБ1, КОБ2;
- профилактические работы с файловым сервером FS1 и БРИ в СМ;
- ресурсная замена датчиков-сигнализаторов дыма ДС-7А системы пожарообнаружения в СМ;
- наддув атмосферы МКС воздухом из секции СрПК ТГК «Прогресс МС»;
- перекачка конденсата из емкостей СВС в емкости ЕДВ с конденсатом для дальнейшей переработки через БПК в СРВ-К2М;
- дозаправка теплоносителем внутренних контуров КОБ1, КОБ2;
- проведение регламентных тестовых проверок функционирования оптических приборов СУДН: ВП-2, ПУМА и ВШТВ;
- перекачка урины из ЕДВ в баки системы «Родник» ТГК «Прогресс МС», «Прогресс МС-03»;
- отбор проб с поверхностей оборудования и конструкций в ФГБ и СМ;
- мониторинг технических характеристик и дозаправка гидравлических контуров охлаждения КОХ1 и КОХ2 в СМ;



А.Н. Овчинин выполняет визуальные наблюдения

– обработка элементов конструкции и корпуса СМ, ФГБ препаратом «Фунгистат».

Проведены основные ремонтно-восстановительные работы и дооснащение РС МКС:

- замена блока преобразования сигналов (БПС) в составе рабочего места ТОРУ в СМ;
- замена четырех микроинтеграторов тока (МИРТ-3) в СЭП СМ;
- замена блока колонок очистки (БКО) в системе СРВ-К2М;
- замена блока 800А модуля АБ № 7 СЭП СМ;
- замена системной платы БЗУ для РСПИ, проверка функционирования БЗУ;
- замена блока формирования команд (БФК) СУ ОДУ СМ, тестовая проверка БФК после замены;
- замена блоков аппаратуры «Компарус А3» в ФГБ;
- установка блока запоминающего устройства ЗУ-1А и замена ЗУ-1Б на новое цифровое СЗУ-ЦУ8 системы БР-9ЦУ-8 ФГБ;
- установка теплоизоляции на трубопровод блока теплообменных агрегатов (БТА) системы СКВ2;
- установка защитных кожухов на трубопроводы СОТР в ПрК СМ;
- сборка установки сепарации (УС) в МИМ1, тестовая сепарация воды через УС;
- установка обновления ПО на файловый сервер FS1 для копирования служебных и научных данных из ТВМ1-Н;
- установка обновления ПО на управляющие лэптопы RS1, RS2, RS3, REMOTE RS.

В процессе работ по связям с общественностью проводились ТВ-приветствия с Днем Победы, участников молодежного сбора «Союз 2018 – наследники Победы», участников международной конференции «Пилотируемое освоение космоса», участников торжественных мероприятий в честь 80-летия Мемориального Дома-музея К.Э. Циолковского; ТВ-поздравления сотрудников авиационной корпорации «Рубин» с 70-летием, Института проблем химической физики РАН с 60-летием, сотрудников и ветеранов ЦНИИмаша с 70-летним юбилеем со дня образования института, коллектива НПО «Сатурн» со 100-летним юбилеем, работников ГКНПЦ им. М.В. Хруничева со 100-летним юбилеем, российских участников XXXI Летних Олимпийских Игр.

Также проводились видеосъемки жизни на станции экспедиций МКС-47 и МКС-48 на борту РС МКС для сайта Роскосмоса и социальных сетей. Выполнены работы по программе символической деятельности.

### **Совместный полет с другими экипажами МКС**

Во время полета проводились совместные работы с экипажами МКС-46/47, МКС-48/49.

С 19 марта 2016 года по 18 июня 2016 года – совместный полет с экипажем МКС-46/47 в составе:

- Маленченко Юрий Иванович (бортинженер МКС-46/47, Роскосмос, Россия);
- Копра Тимоти Леннарт (бортинженер экспедиции МКС-46, командир экспедиции МКС-47, НАСА, США);
- Пик Тимоти (бортинженер МКС-46/47, ЕКА, Великобритания).

С 9 июля 2016 года по 7 сентября 2016 года – совместный полет с экипажем МКС-48/49 в составе:

- Иванишин Анатолий Алексеевич (бортинженер экспедиции МКС-48, командир экспедиции МКС-49, Роскосмос, Россия);
- Ониши Такуя (бортинженер МКС-48/49, ДжАКСА, Япония);
- Рубинс Кэтлин Халиссей (бортинженер экспедиции МКС-48/49, НАСА, США).



Совместный полет с экипажем МКС-46/47.  
О.И. Скрипочка и Ю.И. Маленченко

### **Внекорабельная деятельность**

По программе РС МКС выход в открытый космос экипаж не выполнял.

В соответствии с программой АС МКС в процессе полета экспедиции было выполнено два выхода в открытый космос.

Первый выход в космос ВКД-36 был осуществлен из шлюзового отсека Airlock 19 августа 2016 года в скафандрах EMU. Выход совершили операторы Джеффри Уильямс (бортинженер экспедиции МКС-47, командир экспедиции МКС-48) и Кэтлин Рубинс (бортинженер МКС-48/49). Время открытия выходного люка – 15:02 ДМВ, закрытия – 20:57 ДМВ. Продолжительность выхода – 5 ч 55 мин.

В процессе выхода выполнены следующие работы:

- установка международного стыковочного адаптера IDA2 на PMA2 модуля Node2 АС МКС;
- дооснащение адаптеров IDA2 и PMA2: установка крышки плоского отражателя на PMA2, установка крышки полусферического отражателя на PMA2, установка полусферического отражателя на IDA2, установка ЭВТИ на IDA2;
- прокладка и пристыковка силовых и информационных кабелей к IDA2;
- прокладка кабеля IDA3;
- прокладка и подключение кабеля Ethernet MDM EPIC.

Во время выхода на АС МКС произошло событие класса «Caution» в модуле Columbus – нештатное отключение одной из стоек питания оборудования. На ход выхода указанная ситуация не повлияла. Также в течение ВКД-36 наблюдалась неисправность левого наушника шлемофона скафандра оператора Джеффри Уильямса.

Второй выход ВКД-37 осуществлен 1 сентября 2016 года из шлюзового отсека Airlock в скафандрах EMU. Выход совершили операторы Джеффри Уильямс и Кэтлин Рубинс. Время открытия выходного люка – 14:51 ДМВ, закрытия – 21:36 ДМВ. Продолжительность выхода – 6 ч 45 мин.

Во время выхода выполнено:

- складывание радиатора системы терморегулирования TTСR, крепление стяжками и установка защитного кожуха;
- фотографирование подкосов интерфейсной конструкции шарнира альфа (АJIS);
- установка внешних камер высокого разрешения на портах СР08 и СР09 группы оборудования ETVCG (External Television Camera Group);
- замена лампы светильника на порту СР09;
- снятие и укладка на хранение ЭВТИ агрегата PFCS (блока насосов и регулирования расхода) системы охлаждения СБ АС;
- фиксация тормозной рукоятки тележки СЕТА по левому борту.

### **Основные задачи экипажа при выполнении научной программы**

В ходе полета выполнялись научные исследования, эксперименты и работы по российской программе научно-прикладных исследований и экспериментов на основании «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период сорок седьмой и сорок восьмой пилотируемых экспедиций МКС-47 и МКС-48».

В период полета экипажа МКС-47/48 были начаты два новых эксперимента:

- ДЗ3-18 «Дубрава»;
- ОБР-10 «Интер-МАИ-75».

*Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса:*

- ТХН-9 «Кристаллизатор»;
- КПТ-21 (ТЕХ-20) «Плазменный кристалл».

*Исследование Земли и космоса:*

- ИКЛ-2 «БТН-Нейтрон» (автомат\*);
- ГФИ-1 «Релаксация»;
- ГФИ-8 «Ураган»;
- ГФИ-19 «Сейсмопрогноз»;
- ДЗ3-17 «Напор-миниРСА»;
- ДЗ3-18 «Дубрава»;
- КПТ-22 «Экон-М».

*Человек в космосе:*

- МБИ-13 «Спланх»;
- МБИ-22 «БИМС»;
- МБИ-26 «Мотокард»;
- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-30 «МОРЗЭ»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-33 «Биокард»;

---

\* – эксперимент проводится без участия экипажа в автоматическом режиме

- МБИ-34 «Космокард»;
- МБИ-35 «Альгометрия»;
- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- МБИ-40 «Перемещение жидкостей»;
- МБИ-41 «Нейроиммунитет»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- РБО-3 «Матрешка-Р»;
- АСР-7 «Исследование грызунов».

*Космическая биология и биотехнология:*

- БИО-2 «Биориск» (пассивное экспонирование);
- БИО-5 «Растения-2»;
- БИО-16 «Электронный нос»;
- БИО-18 «Регенерация-1»;
- БТХ-10 «Конъюгация»;
- БТХ-26 «Каскад»;
- БТХ-41 «Бактериофаг»;
- БТХ-42 «Структура»;
- БТХ-44 «Кальций»;
- БТХ-45 «Биопленка»;
- БТХ-49 «Фаген»;
- БТХ-50 «Константа-2»;
- БТХ-51 «Продуцент»;
- АСР-5 «Микробиологический мониторинг».

*Технологии освоения космического пространства:*

- ТЕХ-14 «Вектор-Т» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);
- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-33 «Контроль»;
- ТЕХ-34 «Реставрация»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-53 «Биополимер»;
- ТЕХ-58 «Выносливость»;
- ТЕХ-62 «Альbedo»;
- КПП-2 «Бар».

*Образование и популяризация космических исследований:*

- ОБР-4 «РадиоСкаф» (4 этап);
- ОБР-5 «Великое начало»;
- ОБР-7 «О Гагарине из космоса»;
- ОБР-10 «Интер-МАИ-75»;

- КПТ-10 «Кулоновский кристалл»;
- АСР-1 «Сферы»;
- АСР-2 «EarthКАМ».

Всего 57 экспериментов и 6 экспериментов без участия экипажа.

### **Заключение**

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета экипажа длительной экспедиции МКС-47/48, можно сформулировать следующие основные выводы:

- успешно выполнено сближение корабля «Союз ТМА-20М» с МКС по четырехвитковой схеме;
- уровень подготовленности экипажа МКС-47/48 по транспортному кораблю «Союз ТМА-20М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета;
- полет экипажа МКС-47/48 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами.

Высказанные экипажем в ходе полета и послеполетного разбора замечания и предложения целесообразно использовать заинтересованным организациям для совершенствования космической техники, повышения качества подготовки космонавтов и деятельности экипажа в ходе выполнения программы полета, организации работы персонала ГОГУ и других.



Посадка спускаемого аппарата с экипажем МКС-47/48

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-47/48  
(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-47/48. 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-47/48 Crew Members (Express Analysis).****V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-47/48 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**

Полет экипажа в составе: БИ-1 (КК ТПК) – Овчинина Алексея Николаевича; БИ-2 (БИ ТПК) – Скрипочки Олега Ивановича; БИ-3 МКС-47/КЭ МКС-48 (БИ-2 ТПК) – Уильямса Джеффри состоялся с 19.03.16 г. по 07.09.16 г.

Этапы полета основной экспедиции.

19.03.16 г. – выведение ТПК «Союз ТМА-20М» № 720 – 00:26:28 ДМВ.  
Стыковка ТПК «Союз ТМА-20М» № 720 к МИМ2 – 03:10 GMT/06:10 ДМВ.

06.09.16 г. – расстыковка ТПК № 720 от МИМ2 – 21:51:37 GMT/00:51:37 ДМВ.  
Время посадки – 04:13:53 ДМВ (07.09.16 г.).

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

Старт экипажа ТПК № 720 в составе КК А.Н. Овчинина, БИ О.И. Скрипочки и БИ-2 Джеффри Уильямса состоялся 19.03.16 г. в 00:26 ДМВ. После выполнения маневров сближения в 06:10 ДМВ была осуществлена стыковка ТПК № 720 в автоматическом режиме. Стыковка проходила по короткой 4-витковой схеме.

После перехода на станцию функции БИ-1 были возложены на космонавта А.Н. Овчинина, БИ-2 – на космонавта О.И. Скрипочку и БИ-3 – на астронавта Д. Уильямса. Прибывшему экипажу был проведен инструктаж по безопасности, кроме того, космонавты провели частичный перенос срочных грузов из ТПК № 720 и другие работы.

В сутки выведения и стыковки корабля РТО экипажа ТПК № 720 был очень напряженным. Время работы у КК и БИ составило по 10 часов 20 минут, период бодрствования после дневного отдыха и до отхода ко сну на МКС составил 23 часа.

19.03.16 г. после завершения рабочих операций на станции всем космонавтам было предоставлено время для отдыха и сна с 11:30 до 06:00 GMT (20.03.16 г.) продолжительностью 18,5 часа.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений», с 20.03.16 г. рабочая зона у прилетевшего экипажа была сокращена на 1 час, а это время (по 1 часу) стали планировать на адаптацию и ознакомление со станцией.

На 2-й и 3-й неделях полета космонавты продолжили работы по переносу грузов из ТПК «Союз», ознакомлению с оборудованием МКС, научной аппаратурой и др. В этот период БИ-1 и БИ-2 дополнительные работы, в том числе и эксперименты по Task List, не выполняли.

На 3-й неделе полета 02.04.16 г. космонавтам пришлось работать в условиях измененного РТО в связи со стыковкой ТГК № 432 в субботу в вечернее время. Для обеспечения проведения этих работ зона сна экипажу в ночь на 03.04.16 г. планировалась со сдвигом вправо на 5 часов (сон с 02:30 до 11:00 GMT). День отдыха был запланирован на пятницу 01.04.16 г., второй день отдыха на воскресенье 03.04.16 г. С 04.04.16 г. рабочая нагрузка у космонавтов была увеличена до нормативных величин – 6 часов 30 минут.

На 5–8-й неделях полета РТО экипажа был штатным.

На 9-й неделе полета в связи с выполнением работ с СОА «Воздух» и инвентаризацией медицинских упаковок у БИ-2 рабочая зона была увеличена на 0,5–1,5 часа.

03.06.16 г. БИ-2 дополнительно к плану на инвентаризацию СЛГ затратил 1,5 часа (планировалось 30 минут) за счет сокращения времени периода Presleep.

17.06.16 г. была проведена передача смены по РС у БИ-4 и БИ-2, а также церемония передачи командования. Функции КЭ МКС стал исполнять астронавт Джеффри Уилльямс. Расстыковка ТПК № 719 осуществлена 18.06.16 г. в 05:52 GMT/08:52 ДМВ.

На 16-й неделе (29.06–05.07.16 г.) в связи с проведением динамических операций по стыковке и расстыковке ТГК № 431, БИ-1 и БИ-2 работали в условиях измененного режима – сдвиг зоны сна. 01.07.16 г. космонавты провели расстыковку ТГК № 431 с последующей стыковкой в ТОРУ грузовика к СО1. В ночь на 03.07.16 г. в 03:47 GMT космонавты осуществили окончательную расстыковку ТГК от МКС. После расстыковки экипажу было предоставлено время для отдыха.

На следующей (17-й) неделе космонавты выполняли операции по стыковке ТПК № 731. Стыковка проведена в автоматическом режиме 09.07.16 г. в 07:06:35 ДМВ.

19.07.16 г. проведена стыковка с ТГК в 00:20 GMT/03:20 ДМВ. Основная часть рабочих операций проводилась в ночное время суток.

В последующие 19–23 недели полета РТО экипажа оценивался как штатный. Космонавты занимались разгрузкой ТГК № 433, укладкой удаляемого оборудования в ТГК № 432, текущими работами на станции, выполнением научных экспериментов.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений», с 23.08.16 г. рабочая зона у БИ-1 и БИ-2 была сокращена на 1 час, а этот час планировался им на подготовку к возвращению на Землю.

д	м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	GMT
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	ДМВ
		16.08.16. Казбек																								
22	8																									
23																										
24		МО-4																								
25																										
26		ОДНТ																								
27		отдых																								
28		отдых																								
29		ОДНТ Кентавр																								
30																										
31		ОДНТ																								
1	9																									
2		ОДНТ																								
3		отдых																								
4		ОДНТ																								
5		ОДНТ МО-21 МО-22 АК-1М																								
6																										
7		отдых																								
8																										

посадка  
04:14 ДМВ  
07.09.16.

зпл  
21:10 ДМВ

расстыковка  
00:50 ДМВ  
06.09.16.

Режим труда и отдыха БИ-1 и БИ-2 на заключительном этапе полета

Начиная с 23-й недели космонавты приступили к подготовке и укладке возвращаемых грузов на ТПК № 720. В соответствии с программой полета космонавты провели две тренировки по спуску на ТПК № 720. После завершения укладки грузов в ТПК космонавты приступили к подготовке к расстыковке ТПК «Союз».

Расстыковка ТПК проведена 06.09.16 г. в 00:51 ДМВ, посадка СА выполнена 07.09.16 г. в 04:14 ДМВ в заданном районе.

Общее полетное время у БИ-1и БИ-2 составило 172 суток, из которых планировались 117 рабочих и 55 дней отдыха. Фактически, по сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, у БИ-1 было 39, у БИ-2 – 43 полных дней отдыха.

За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у БИ-1 составила 44 часа, у БИ-2 – 35,5 часа. На работы по программе Task List в дни отдыха БИ-1 планировалось 17 часов, БИ-2 – 78 часов. Фактически на эти работы БИ-1 затратил 8 часов, БИ-2 – 38 часов. Общее время работ в дни отдыха составило у БИ-1 – 90 часов, у БИ-2 – 80 часов.

За весь полет на выполнение дополнительных работ, включая Task List, по инициативе экипажа, по указанию Земли и сверх плана на рабочие операции БИ-1 затратил 117,5 часа, а БИ-2 – 120 часов, что практически равноценно 18 рабочим дням при плановой рабочей нагрузке 6,5 часа в день.

### Состояние здоровья и медицинское обеспечение членов экипажа в полете

По данным радиопереговоров и докладам КК самочувствие членов экипажа транспортного корабля «Союз ТМА-20М» во время выведения и орбитального полета было хорошим.

20.03.16 г. БИ-1 и БИ-2 выведение, автономный полет ТПК «Союз ТМА-20М» и стыковку перенесли хорошо. Сонливости и утомления не было. Перегрузки на выведении соответствовали ожидаемым. БИ-1 после наступления невесомости

почувствовал прилив крови к голове, каких-либо других симптомов не отмечал. Профилактическое изделие «Браслет» начал использовать с момента перехода на станцию, отметил эффективность работы изделия. Были даны рекомендации по дальнейшему использованию «Браслета». У БИ-2 симптомов болезни движения не было, организм сразу «вспомнил» невесомость. Симптомы перераспределения жидкости к голове были не выраженными. В первый день на орбите использовал изделие «Браслет» до сна, на второй день изделие «Браслет» не использовал. После выполнения предписанных после стыковки работ спали около 8,5 часа.

22.03.16 г. БИ-1 и БИ-2 жалоб на состояние здоровья не предъявляли, самочувствие было хорошим. У БИ-1 и БИ-2 процесс адаптации к невесомости проходил без осложнений.

16.04.16 г. БИ-2 обратился к врачу экипажа с жалобами на боль в левом ухе. При опросе ощущения заложенности уха, снижения слуха и выделений из уха не отмечал. После проведения необходимых диагностических процедур с использованием бортовых средств медицинского обеспечения было назначено лечение.

19.04.16 г. БИ-2 сообщил, что чувствует себя нормально, каких-либо неприятных ощущений в левом ухе нет, все рекомендации выполняет. В предоставленные выходные дни отдохнул хорошо, провел их по своему усмотрению. Сон полноценный, коррекции не требовалось.

17.05.16 г. во время очередного сеанса БИ-1 и БИ-2 жалоб на состояние здоровья не предъявляли. У БИ-1 общее самочувствие отличное, настроение хорошее, активность нормальная. Внешне выглядел спокойным, улыбался. У БИ-2 общее самочувствие нормальное, настроение бодрое, активность нормальная, внешне выглядел бодрым. РТО оценивали как нормальный. Сон не нарушен, длительность по 6–7 часов. По мероприятиям психологической поддержки замечаний нет.

07.06.16 г. БИ-1 отметил периодическое появление «сухости глаз», сопровождающееся слезотечением. БИ-1 связывал это с пониженной влажностью воздуха. У БИ-2 жалоб не было, аналогичных явлений не отмечалось.

14.06.16 г. БИ-1 и БИ-2 жалоб на состояние здоровья не предъявляли. Самочувствие было отличное, настроение хорошее, активность нормальная. Внешне выглядели спокойными и деловыми. Сон в норме, но засыпанию мешал высокий шум на станции, поэтому вынуждены были использовать индивидуальные средства защиты слуха.

30.08.16 г. БИ-1 и БИ-2 доложили, что чувствуют себя хорошо, жалоб на состояние здоровья не предъявляли. Эмоциональный настрой позитивный, настроение деловое, сосредоточены на выполнении процедур заключительного этапа полета. С 26.08.2016 г. начат цикл ОДНТ-тренировок, самочувствие во время тренировок хорошее. Сон достаточный, без пробуждений, приносил чувство отдыха, не нуждался в медикаментозной коррекции. В предоставленные выходные дни основное время использовали по своему усмотрению.

05.09.16 г. доложили, что в течение недели продолжали подготовку к спуску, провели заключительные ОДНТ-тренировки. Самочувствие во время тренировок было хорошее. Обсудили вопросы по приему водно-солевых добавок перед спуском и своевременной укладке индивидуальных дозиметров «ИД-3МКС». Состояние здоровья было хорошим, к посадке готовы.

## Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

### Санитарно-гигиеническое состояние МКС

Общее давление в СМ колебалось в пределах 736–763 мм рт. ст.

Параметры микроклимата были в нормальных пределах.

Эпизодически в некоторых местах на станции на нескольких витках температура воздуха превышала нормальные величины. Также отмечалась пониженная относительная влажность и кратковременные повышения  $p\text{CO}_2$ .

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; РРЖ перенастраивались с 14 °С на 10 °С.

26.04.16 г. экипаж попросил поднять температуру воздуха в СМ до 25–26 градусов и поддерживать ее на этом уровне, так как ночью было холодно.

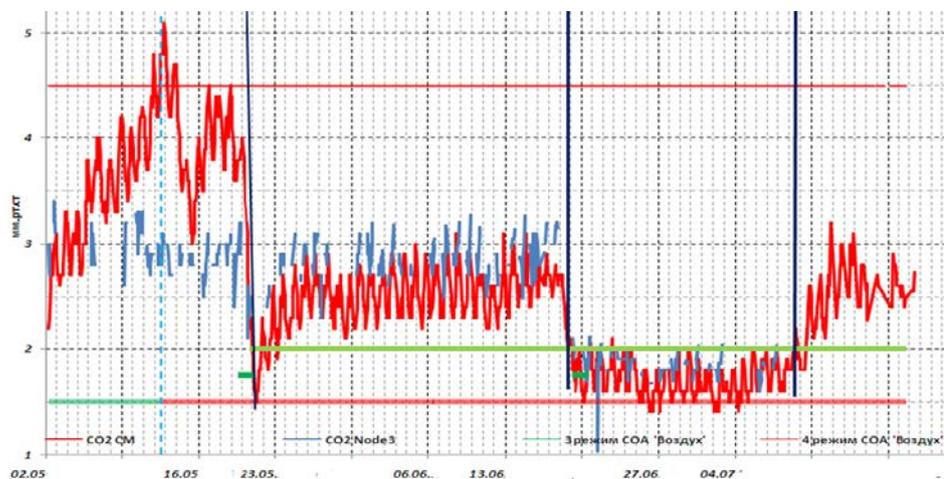
Снижение температуры воздуха в СМ было связано с запланированным на 27.04.16 г. циклированием блока 800 (для предотвращения перегрева блока).

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

Повышение  $p\text{CO}_2$  на РС МКС (до 5,1 мм рт. ст.) отмечалось в период раздельной межмодульной циркуляции АС-РС (02–20.05.16 г.). Переконфигурация межмодульной вентиляции была проведена в целях снижения уровня и улучшения возможности контроля  $p\text{CO}_2$  в АС.

Для снижения уровня  $\text{CO}_2$  на РС в этот период СОА «Воздух» переводилась в более интенсивный (четвертый) режим работы. 20.05.16 г. атмосферы российского и американского сегментов совмещены. СОА «Воздух» 19.06.16 г. переведена во 2-й режим работы. В дальнейшем при периодическом повышении  $p\text{CO}_2$  (максимально до 3,8 мм рт. ст.) СОА «Воздух» переводилась в 4-й–3-й режимы работы.

Жалоб от экипажа на повышение уровня  $\text{CO}_2$  в сеансах радиосвязи не поступало.



Уровни  $\text{CO}_2$  при раздельной и объединенной вентиляции  
российского и американского сегментов

03.05.16 г. экипаж доложил, что переконфигурация межмодульной вентиляции на самочувствие и работоспособность космонавтов не повлияла.

17.05.16 г. на вопрос медицинских специалистов, появляются ли какие-либо симптомы, связанные с повышением содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере РС МКС в пределах верхней границы нормы, космонавты ответили, что «никаких симптомов нет».

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента:

БМП, СРВ-К2М, СКВ-1/СКВ-2, 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.

При отборах проб воздуха пробоотборником ИПД-ННЗ в СМ аммиака не обнаружено.

На протяжении всего полета у БИ-1 и БИ-2 замечаний по среде обитания не было, санитарно-гигиеническая обстановка была комфортная.

БИ-1 спал в каюте модуля «NODE», использовал спальный мешок. БИ-2 спал в правой каюте модуля СМ, использовал спальный мешок. Средств личной гигиены и одежды было достаточно.

15.08.16 г. БИ-2 сообщил, что в районе АСУ появился непонятный посторонний запах, похожий на запах масляной краски. В районе наиболее интенсивного запаха взяты пробы воздуха пробоотборниками АК-1М и GSC. После включения фильтра очистки атмосферы А2 запах уменьшился и практически не ощущался.

В последующем по данным частных медицинских конференций российского врача экипажа БИ-1 и БИ-2 санитарно-гигиеническую обстановку оценивали как комфортную.

#### ***Питание и водопотребление***

На всем протяжении полета у БИ-1 и БИ-2 аппетит был хороший, питание и водопотребление в норме.

20.03.16 г. БИ-1 и БИ-2 во время автономного полета воспользовались суточным рационом питания «Союза» – соки и чернослив с орехами.

В апреле космонавты с профилактической целью принимали «Гексавит», по одной таблетке в день.

Американским подогревателем пищи пользовались для разогревания российских продуктов промышленного производства в нестандартных упаковках и американских продуктов. По просьбе БИ-2 ему были сообщены предварительные данные по поставкам продуктов питания на «Союз МС № 731» и «Прогресс МС № 433».

БИ-2 предпочел буфетное питание. Между основными приемами пищи устраивал 4–5 перекусов с кофе. БИ-1 между основными приемами пищи – 4–5 перекусов с чаем.

31.05.16 г. БИ-1 сказал, что продуктов питания на МКС в достаточном количестве. Основной 16-суточный рацион питания используют буфетным методом. Продукты в больших банках употребляются полностью. Отдельные продукты рациона остаются.

Воду для питья и приготовления пищи употребляют из «Родника» и СРВ-К2М. Качество воды хорошее. Продуктов питания на станции достаточно.

05.07.16 г. космонавты доложили, что аппетит у них не нарушен, вкусовые ощущения не изменились, хотя БИ-1 отмечал периоды «приедания» отдельных блюд. БИ-1 предпочитает дробное питание без ограничения в еде.

**Результаты акустических измерений**

Определение индивидуальной шумовой нагрузки проводилось за дневной и ночной периоды времени (с использованием индивидуальных акустических дозиметров IAD фирмы Noise Pro) в период с 04.04.16 г. по 06.04.16 г., с 06.06.16 г. по 08.06.16 г., с 02.08.16 г. по 04.08.16 г.

Места сна российских членов экипажей:

БИ-1 (А.Н. Овчинин) – верхняя каюта Node2; БИ-2 (О.И. Скрипочка) – правая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что у российских космонавтов шумовая нагрузка за дневной и ночной периоды превышает предельно допустимый уровень.

По снижению акустической нагрузки давались следующие рекомендации: использовать средства индивидуальной защиты слуха (беруши или наушники с активным подавлением шума) при работе в местах расположения шумящего оборудования, в том числе центрифуги, спортивных тренажеров, пылесоса и др. Во время сна в левой каюте СМ необходимо использовать средства индивидуальной защиты слуха, а также закрывать дверь каюты.

Исследование акустической обстановки также проводилось в модулях Node2, ФГБ, Airlock и Node3 (при работе Т2 до и после установки шумозаглушающих матов).

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 указанных модулей.

Полученные результаты оценивались на соответствие ГОСТ Р 50804-95 и SSP 50094.

Результаты анализа полученных данных показали, что:

– на рабочих местах в ФГБ уровни звука превышали допустимые значения на 1,9–5,2 дБА,

– на рабочих местах в Node2, Airlock и Node3 уровни звука не превышали допустимые значения.

Превышения уровней звука в Node3 при работе тренажера Т2 на разных скоростях до установки шумозаглушающих матов составили 27,7–29,6 дБА, после установки шумозаглушающих матов – 22,7–24,6 дБА.

Сравнительный анализ показал, что установка шумозаглушающих матов в районе тренажера Т2 способствовала снижению уровней шума при его работе на разных скоростях в Node3 на 1,6–4,7 дБА.

**Радиационная обстановка в РС МКС**

За время полета радиационная обстановка внутри станции в основном оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у членов экипажа не превышала допустимые значения доз, определенных согласно Flight Rules В 14.2.2-12 и ГОСТ 25645.215-85.

БИ-1 и БИ-2 индивидуальные дозиметры ИДЗ-МКС носили с собой в кармане полетной одежды.

Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры «Дозиметр «ПИЛЛЕ-МКС».

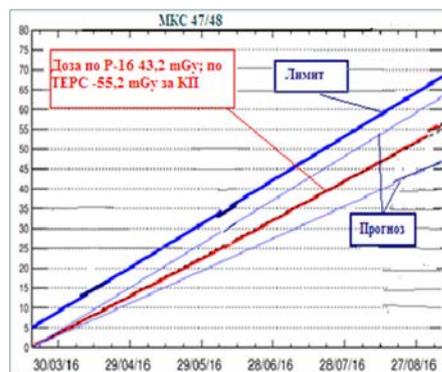
В работе использован комплект дозиметрических датчиков в количестве 11 единиц. Все датчики находились в работоспособном состоянии.

Размещение датчиков
СМ, панель 406, рядом с прибором ДБ-8 № 1
СМ, правая каюта, слева от иллюминатора
МИМ1, под панелью 204 в нише
СМ, панель № 327
СО-1, полусфера на пл. III
МИМ2, полусфера у входа
СМ, правая каюта, пан. 447, рядом с ДБ-8 № 3
СМ, левая каюта, слева от иллюминатора
NODE2, каюта
СМ, панель 435 (в районе рабочего стола)
МИМ2, полусфера, по 3 пл.

Наименьшая мощность поглощенной дозы за разные периоды измерений зарегистрирована на панели 435 в районе рабочего стола, в каюте модуля NODE2, на панели 327 РОБД.

Наибольшая мощность поглощенной дозы за разные периоды измерений зарегистрирована в правой каюте слева от иллюминатора и в левой каюте слева от иллюминатора.

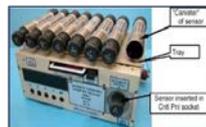
Значения измеренной мощности поглощенной дозы остаются в пределах, установленных полетными правилами (Flight Rules В 14.2.2-12).



Radiometer R-16



IV-TEPC



Pille-ISS



ИД ЗМКС

Мониторинг радиационной безопасности на МКС

### Система профилактики в полете

После стыковки с МКС 21.03.16 г. БИ-1 и БИ-2 планировалось ознакомление с процедурами ФУ на ARED. В последующие дни 22 и 23.03.16 г. – по одной ознакомительной тренировке на БД-2 / ВБ-3М.

С 24.03.16 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.

С 07.08.16 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов ИМБП планировались двухразовые тренировки на бегущей дорожке (БД-2/Т2) с заменой через день одного занятия тренировкой на ARED. 08.08.16 г. для БИ-1 и БИ-2 проведен инструктаж по использованию Т2.

С 26.08.16 г. проведено по 4 предварительных и 2 заключительные ОДНТ-тренировки.

Профилактическое изделие «Браслет-М» БИ-1 использовал с момента перехода на станцию (19.03.16 г.) до 21.03.16 г. БИ-2 – в первый день на орбите до сна.

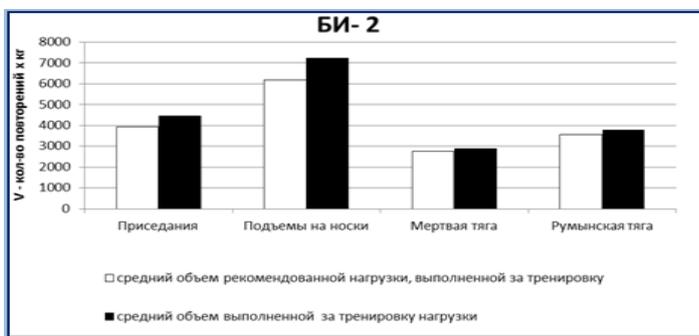
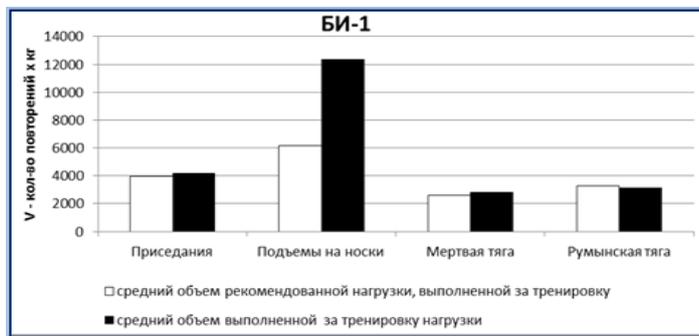
Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» у БИ-1 и БИ-2 проведена 29.08.16 г. без замечаний.

По ежедневным докладам экипажа ФТ выполнялись в полном объеме.

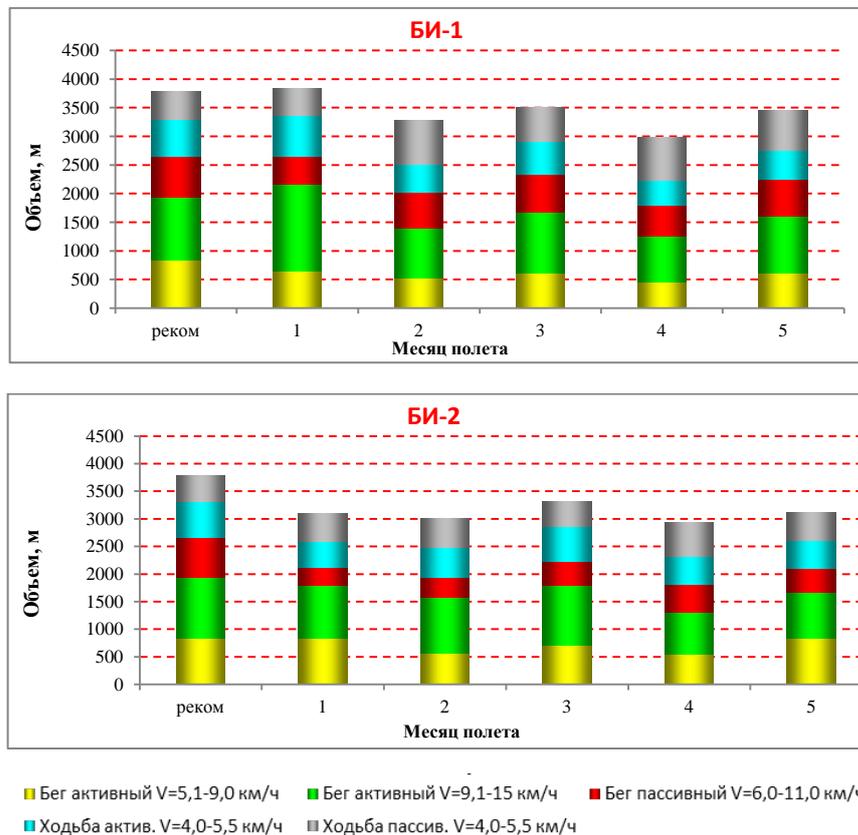
По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на протяжении всего полета БИ-1 и БИ-2 физические тренировки выполняли в полном объеме в соответствии с формой 24.

18.04.16 г. во время беседы со специалистами по физическим тренировкам БИ-1 и БИ-2 сообщили, что тренировки на бегущей дорожке БД-2 выполняют в соответствии с протоколами, рекомендованными бортовой документацией. Замечаний и вопросов высказано не было.

БИ-1 согласился увеличить нагрузку на силовом тренажере ARED через две-три недели. По локомоторным тренировкам замечаний высказано не было.



Объем физических нагрузок на ARED у членов экипажа МКС-47/48



Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку  
БИ-1 и БИ-2 МКС-47/48

БИ-2 подтвердил, что увеличенный на ARED на настоящий момент вес отягощения является для него комфортным. Готов увеличить нагрузку через 2–3 недели за счет количества повторений. По локомоторным тренировкам замечаний высказано не было.

20.07.16 г. БИ-2 доложил о неисправности правой педали тренажера ВБ-3М. Педаль закрепили подручными средствами. Информация и фотографии крепления педали были переданы кураторам оборудования для анализа и разработки рекомендаций.

25.07.16 г. специалисты по физической подготовке обсудили с экипажем результаты пробы МО-3. Даны рекомендации по выполнению локомоторных тренировок с использованием нового ТНК, доставленного кораблем «Прогресс 432».

28.07.16 г. БИ-1 и БИ-2 доложили, что выполняют тренировки на бегущей дорожке БД-2 и силовом тренажере ARED в соответствии с рекомендациями российских специалистов. При локомоторных тренировках используют новый ТНК, доставленный кораблем «Прогресс 432», по техническому состоянию БД-2 и ВБ-3М замечаний высказано не было.

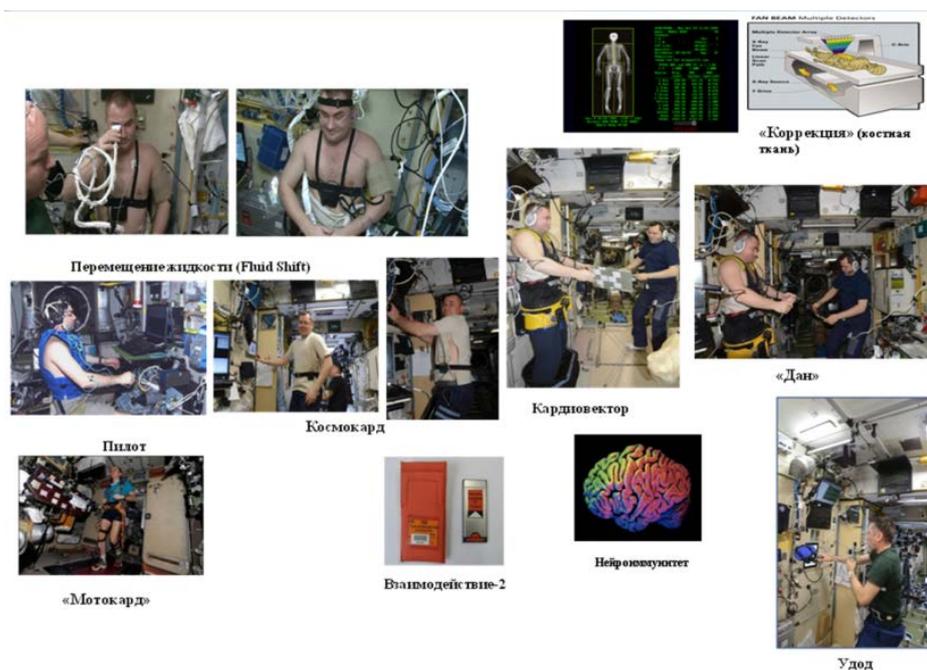
29.08.16 г. подгонка изделия «Кентавр» у БИ-1 и БИ-2 проведена без замечаний.

## Медико-биологические эксперименты

В период полета космонавты выполнили большую программу медико-биологических экспериментов:

МБИ-13 «Спланх», МБИ-22 «БИМС», МБИ-26 «Мотокард», МБИ-27 «УДОД», МБИ-30 «МОРЗЭ», МБИ-31 «Кардиовектор», МБИ-33 «Биокард», МБИ-34 «Космокард», МБИ-35 «Альгометрия», МБИ-36 «Контент», МБИ-37 «Пилот-Т», МБИ-38 «Взаимодействие-2», МБИ-39 «ДАН», МБИ-40 «Перемещение жидкостей», МБИ-41 «Нейроиммунитет», МБИ-42 «Коррекция».

Медико-биологические эксперименты выполнены достаточно хорошо и на высоком уровне.



Медико-биологические эксперименты

## Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-47/48 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа МКС-47/48 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

NODE2 – 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

СОА – средства очистки атмосферы

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

## THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.7.007

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛОЖНОЙ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОМ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ГОДОВОГО КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

М.Б. Корниенко, Ю.В. Лончаков, А.А. Курицын, В.А. Копнин,  
А.С. Кондратьев, П.П. Долгов, В.С. Коренной, А.П. Гришин

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ М.Б. Корниенко; Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ, докт. техн. наук Ю.В. Лончаков; докт. техн. наук А.А. Курицын; В.А. Копнин; А.С. Кондратьев; канд. техн. наук П.П. Долгов; канд. техн. наук В.С. Коренной; А.П. Гришин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований, проведенных с участием российского члена экипажа МКС-43/44/45/46 (М.Б. Корниенко) непосредственно до и после завершения им годового космического полета. Данные исследования были проведены в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос.

**Ключевые слова:** дальний космос, Международная космическая станция, экспериментальные исследования, операторская деятельность, ручное управление космическим аппаратом, моделирование внекорабельной деятельности.

#### **Experimental Evaluation of Complex Operator Activity Performed by the Cosmonaut directly After Completion of the One-Year Space Flight.**

**M.B. Kornienko, Yu.V. Lonchakov, A.A. Kuritsyn, V.A. Kopnin, A.S. Kondratiev, P.P. Dolgov, V.S. Korennoy, A.P. Grishin**

The paper considers the findings of experimental studies involving M.B. Kornienko, the Russian crewmember of the ISS-43/44/45/46 Expeditions just before the first one-year mission and after its completion. The studies were carried out for the benefit of manned deep space exploration.

**Keywords:** deep space, International Space Station, experimental studies, operator activity, manual control of a space vehicle, simulation of extravehicular activity.

#### **Введение**

В ходе длительных космических полетов под воздействием невесомости и других факторов космического полета происходит изменение характеристик операторской деятельности космонавтов и возможностей космонавтов по выполнению различных работ. Для реализации перспективных задач по осуществлению космических полетов к Луне и планетам Солнечной системы потребуется прогнозирование возможностей выполнения различного вида деятельности космонавтами в условиях гравитационных сил этих планет после длительного воздействия невесомости.

Одним из вопросов, требующих глубокого изучения, является вопрос исследования возможностей человека в сверхдальнем и сверхдлительном космическом полете.

Часть медико-биологических и психологических проблем изучалась в процессе полетов космонавтов на орбитальных станциях «Салют», «Мир», Международной космической станции (МКС), а также в специальных экспериментах по программе «Марс-500». Однако многие аспекты операторской деятельности остаются неисследованными.

Важными задачами операторской деятельности, которые будут характерны для марсианской экспедиции, являются задачи управления динамическими режимами космических объектов и задачи деятельности космонавтов на поверхности планет [1]. К таким задачам, в частности, относятся: ручной управляемый спуск (РУС) на поверхность планеты, проведение внекорабельной деятельности (ВКД) и работа со сложными техническими системами на поверхности планеты.

В ходе полета на МКС экипаж реализует циклограмму деятельности и выполняет функции, близкие к функциям космонавтов марсианского экспедиционного комплекса. Таким образом, космонавты МКС после выполнения годового полета по своему физическому, функциональному и психофизиологическому состоянию близки к экипажу корабля, выполнившего полет к Марсу.

Все это дает основания исследовать возможности экипажа МКС по выполнению сложной операторской деятельности после длительного полета и на основании полученных результатов сделать прогноз и разработать рекомендации по осуществлению аналогичных работ на поверхности Марса.

В НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина проведена серия экспериментальных исследований в интересах обеспечения полетов человека в дальний космос и проведения работ на поверхности Марса с участием экипажей длительных экспедиций непосредственно после завершения ими космического полета. Выполнение данных экспериментальных исследований позволяет создать научно-технический задел для осуществления работ экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов по программам полетов к Луне, межпланетных перелетов и освоения планет Солнечной системы [2, 3].

Целью экспериментальных исследований является оценка возможности выполнения космонавтом сложной операторской деятельности непосредственно после выполнения длительных космических полетов в условиях пониженной веса и перегрузок, а также получение экспериментальных данных о качестве выполнения данных операций путем сравнения с предполетными данными.

### **Порядок и особенности проведения экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования проводились в период послеполетных мероприятий (ППМ) экипажа годовой экспедиции.

Модель экспериментальных исследований представлена на рис. 1.

Эксперимент по ручному управляемому спуску космическим аппаратом на планету выполнялся на первый день после посадки экипажа путем моделирования этапа спуска на тренажере ТС-7 на базе центрифуги ЦФ-7.

Эксперимент по моделированию внекорабельной деятельности на планете – передвижения космонавта и выполнение отдельных операций на поверхности планеты – выполнялся на четвертый день после посадки экипажа на тренажере «Выход-2».

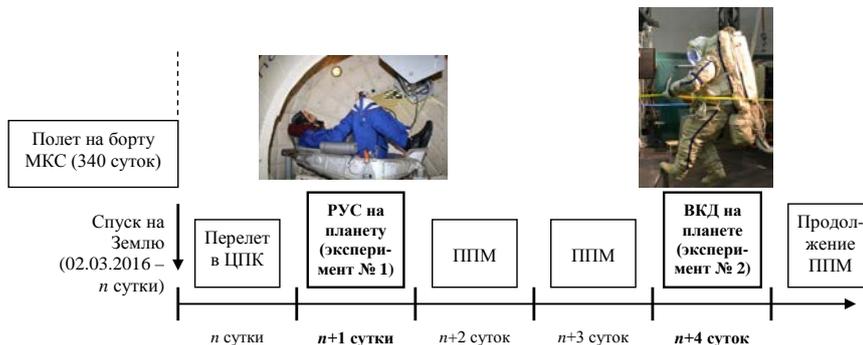


Рис. 1. Модель экспериментальных исследований с участием М.Б. Корниенко

При проведении экспериментальных исследований моделировались условия, приближенные (по возможности) к марсианским:

1. На ТС-7 (ЦФ-7):

- эксперимент проводился через одни сутки после приземления (это время можно сопоставить со временем нахождения марсианского корабля на орбите планеты до спуска на Марс);
- выполнялся ручной управляемый спуск спускаемого аппарата в атмосфере Земли, структура и содержание операций которого аналогичны операциям по управлению посадочным марсианским модулем (работа ручками управления, контроль прохождения команд, прогнозирование траектории спуска, автономная оценка своих действий);
- достигаемые максимальные перегрузки не превышали 3 *ед.*

2. На тренажере «Выход-2»:

- космонавт в скафандре типа «Орлан» «обезвешивался» до 0,38 *g*, что соответствовало гравитации на Марсе;
- за счет наддува скафандра (СК) до давления 0.12 *атм* обеспечивалась необходимая подвижность космонавта в СК, что позволило приблизить условия пребывания в нем космонавта к условиям работы на Марсе;
- выбирались типовые операции для космонавта, характерные для работы на планете (шлюзование, перемещение по ровной и неровной поверхности, перенос груза, извлечение инструмента из контейнера, простые операции с инструментом, подъем по трапу и спуск с него, фиксация с помощью лееров и карабинов);
- эксперимент проводился на четвертые сутки после приземления, что можно сопоставить со временем выхода космонавта на поверхность планеты после посадки на Марс и его адаптации к гравитации 0,38 *g*.

### **Эксперимент по ручному управлению космическим аппаратом при спуске на планету**

Целью эксперимента являлась оценка возможности выполнения оператором спуска на поверхность планеты в ручном режиме после выполнения длительного космического полета и получение экспериментальных данных для дальнейшего использования [3].

Отрабатываемые режимы:

- режим 1 – выполнение РУС в динамике (с вращением для создания перегрузки);
- режим 2 – выполнение РУС в статике (без вращения).

Данные по выполнению режимов РУС при проведении экспериментальных исследований представлены на рис. 2.

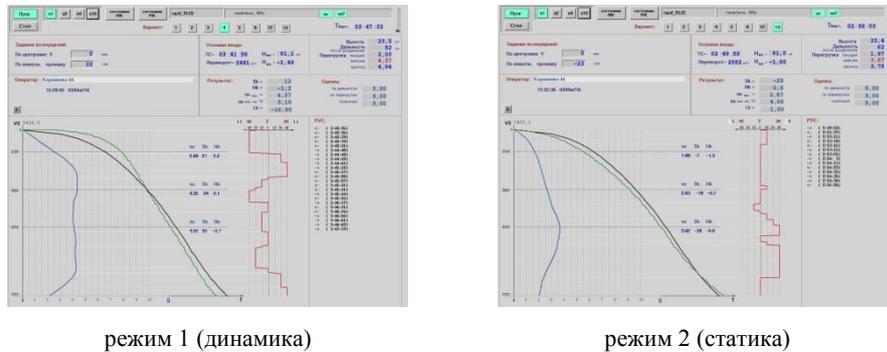


Рис. 2. Изменение параметров выполнения режимов РУС

При проведении режима РУС оценивались следующие управляемые параметры: значение максимальной перегрузки  $n_x$  и дальность от запланированного места посадки («промах»)  $L_k$ . Для каждого выполненного режима спуска ожидаемые значения параметров  $n_x$  и  $L_k$  зависят от начальных условий вхождения в атмосферу.

Результаты выполнения режимов РУС космонавтом до и после выполнения полета представлены на рис. 3. Их анализ показывает, что в ходе экспериментального исследования режимы выполнены без замечаний.

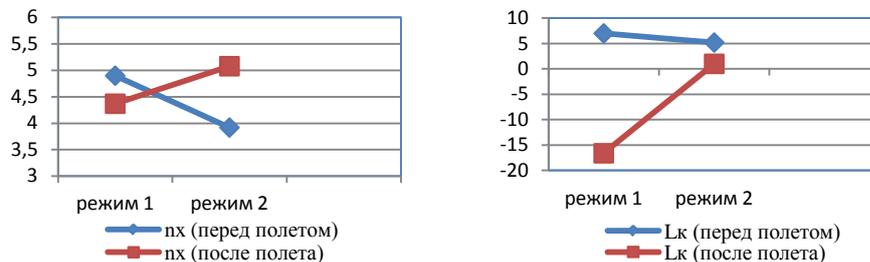


Рис. 3. Сравнение параметров  $n_x$  и  $L_k$ , полученных до и после полета

Режим 1 выполнялся в «динамике». Аналогичный режим на экзаменационной тренировке по РУС выполнен без отклонений в управлении, с близкими значениями по перегрузке и конечному промаху. Следует отметить, что режим выполнен с чуть большим конечным промахом, чем на экзамене по РУС, но с меньшей перегрузкой ( $\Delta n_x \approx 0.5$  ед.).



Рис. 4. М.Б. Корниенко в кабине центрифуги ЦФ-7 при выполнении режима 2

Режим 2 выполнялся в «статике» (рис. 4). Режим выполнен без отклонений и замечаний в управлении. Аналогичный режим на экзаменационной тренировке также был выполнен без замечаний. Следует отметить, что после выполнения годового полета режим выполнен с гораздо меньшим конечным промахом, чем на экзамене по РУС (промах 1 км против 5,2 км на экзамене).

Перед началом эксперимента, а также во время его проведения и после его окончания осуществлялся постоянный врачебный контроль, мониторинг и регистрация параметров.

Во время проведенного медицинского осмотра, до и во время воздействия перегрузки показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхания (ЧД), артериального давления и температуры тела М.Б. Корниенко находились в пределах физиологической нормы. Средние и максимальные значения ЧСС и ЧД не превышали показателей, которые отмечались в предполетных тренировках по графикам ручного управления спуском.

Субъективно М.Б. Корниенко чувствовал себя хорошо, общее состояние удовлетворительное. По общему самочувствию выполнение эксперимента трудностей не вызывало. Циклограмму эксперимента выполнил полностью.

*Вывод:* Навыки выполнения РУС не утрачены. Выполнение режимов РУС не вызвало затруднений. Космонавт отметил схожесть управления и поведения перегрузки с реальным полетом и незначительные различия в управлении на бортовом тренажере по спуску. Было предложено доработать центрифугу для возможности подключать дополнительную вибрацию во время режима «динамики».

## Эксперимент

### по моделированию внекорабельной деятельности на планете

Целью экспериментальных исследований являлась оценка возможности выполнения космонавтом операций по управлению системами скафандра и другим оборудованием в процессе шлюзования и ВКД, а также отдельных типовых операций ВКД, и получение экспериментальных данных о качестве выполнения данных операций [3].

Перечень типовых операций, выполняемых космонавтом на четвертые сутки после выполнения 340-суточного космического полета:

1. Наддув СК до давления 0.12 атм. Переход на автономное питание. Открытие выходного люка.

2. Перемещение с мягким фалом к площадке, подъем по ступеням на площадку, спуск с площадки, перемещение к лестнице, фиксация мягкого фала к лестнице.

3. Перемещение за контейнером (подъем на площадку, спуск по ступеням, перемещение за контейнером). Взятие контейнера, перемещение с контейнером на площадку, спуск с площадки, размещение контейнера на площадке.

4. Открытие контейнера, извлечение антенны. Перемещение с антенной к лестнице, подъем по лестнице, фиксация антенны на поручне лестницы. Спуск с лестницы.

5. Состыковка электроразъемов, укладка разъемов в фиксаторы.

6. Перемещение с контейнером (с использованием фала): подход к контейнеру, взятие контейнера, перемещение с контейнером на площадку, спуск с площадки, подход к месту размещения и постановка контейнера.

7. Перемещение к выходному люку, закрытие выходного люка.

Выполняемые космонавтом операции можно разделить на две группы:

– операции, выполняемые в основном руками, перемещение космонавтов во время выполнения этих операций не превышает 1 метра. К ним относятся операции № 1, 5, 7;

– операции, связанные с перемещениями по ровной поверхности или по ступенькам. К ним относятся операции № 2, 3, 4, 6.

Результаты экспериментальных исследований по времени выполнения типовых операций космонавтом, полученные на четвертые сутки после выполнения 340-суточного космического полета, представлены на рис. 5.

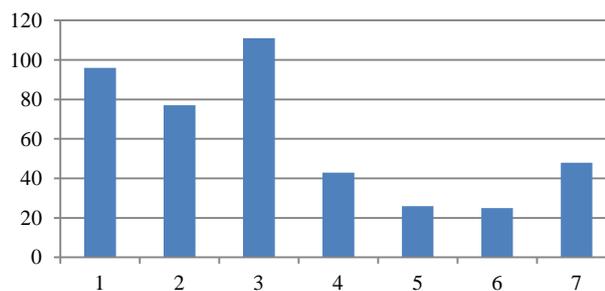


Рис. 5. Время выполнение типовых операций, сек

Анализ результатов эксперимента показывает, что на четвертый день после посадки для выполнения операций, связанных с перемещениями по поверхности «планеты», космонавту потребовалось больше времени, чем до совершения почти годового полета. Операции, выполняемые с использованием рук, были выполнены космонавтом с незначительным отставанием от фоновых значений времени выполнения операций, полученных до выполнения космического полета. Это привело к увеличению общего времени выполнения запланированных типовых операций космонавтом после выполнения длительного космического полета.

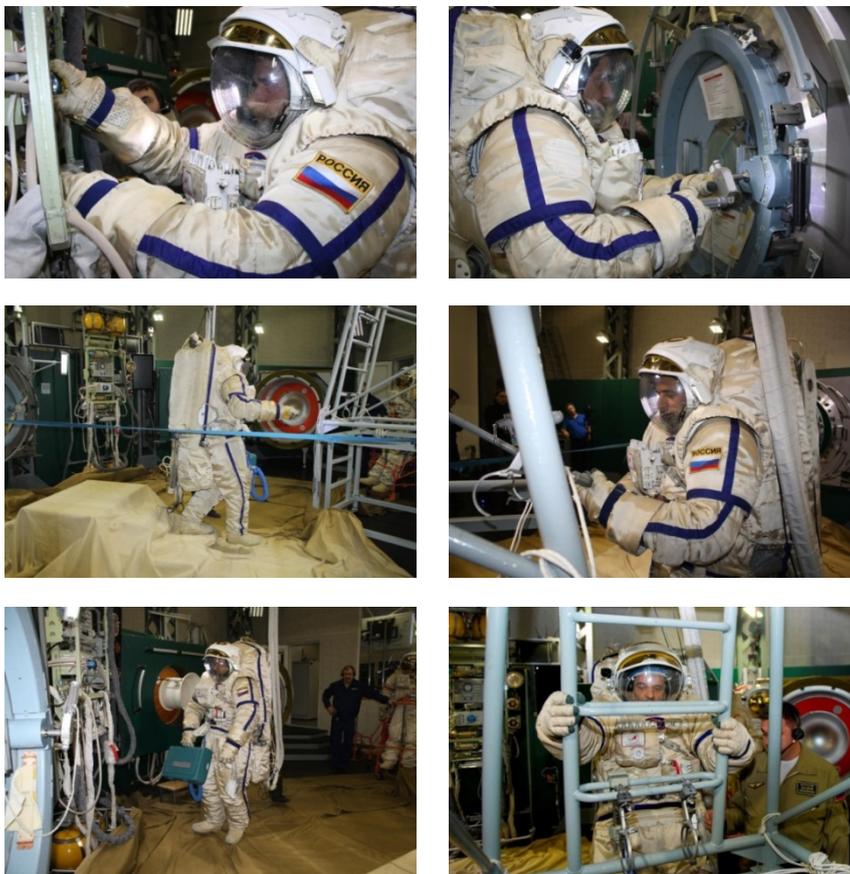


Рис. 6. Выполнение космонавтом операций напланетной деятельности

Фотоматериалы, отражающие выполнение некоторых ключевых операций ВКД при проведении экспериментальных исследований на тренажере «Выход-2», представлены на рис. 6.

Во время проведения второго этапа эксперимента дополнительно совместно со специалистами ГНЦ РФ ИМБП РАН с космонавтом были проведены исследования по управлению транспортным средством перемещения (марсоходом) по имитируемой поверхности планеты.

При проведении работ происходило постоянное взаимодействие космонавта с инструктором экипажа с выдачей ему рекомендаций по режиму двигательной активности и циклограмме деятельности.

Все элементы циклограммы оценивались оператором как операции средней степени тяжести. Максимальные значения ЧСС и ЧД наблюдались при ходьбе по ступеням, а также при подъеме по лестнице. Учитывая самочувствие и показатели ЧСС, оператору предоставлялось время для отдыха. В процессе проведения эксперимента отмечалась тенденция к нарастанию ЧСС и ЧД с увеличением дли-

тельности нахождения оператора в скафандре. Температура тела во время эксперимента оставалась в пределах нормы.

Циклограмма эксперимента выполнена полностью.

### Заключение

1. Данные экспериментальные исследования с участием М.Б. Корниенко по оценке возможности выполнения сложной операторской деятельности (ключевых полетных операций) непосредственно после выполнения годового полета проводились в интересах перспективных полетов.

2. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что операторские навыки космонавта по ручному управляемому спуску не ухудшились за время почти годового полета по сравнению с предполетными фоновыми данными. При работе на тренажере «Выход-2» были отмечены затруднения при выполнении операций, связанных с физической нагрузкой. В целом, можно сказать, что подтверждается возможность выполнения операций напланетной деятельности (ориентировочно после трех дней адаптации) после выполнения годового полета.

3. Полученные в ходе экспериментальных исследований с экипажами МКС данные свидетельствуют о возможности выполнения космонавтами сложной операторской деятельности непосредственно после выполнения длительных космических полетов.

Получены данные по работоспособности космонавта при выполнении РУС и выполнению космонавтом отдельных ключевых операций ВКД на планете, операций по управлению системами скафандра и другим оборудованием в процессе шлюзования и ВКД, получены экспериментальные данные времени их выполнения. Конкретные результаты проведенных экспериментальных исследований обрабатываются и анализируются.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] На пути к Марсу / Крючков Б.И., Крикалёв С.К., Курицын А.А. // Наука в России, Российская Академия Наук. – 2014. – Вып. 1.
- [2] Экспериментальные исследования в интересах обеспечения полетов человека в космос / Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Харламов М.М., Новицкий О.В., Тарелкин Е.И., Курицын А.А., Почув В.И., Долгов П.П., Орешкин Г.Д. // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2013. – № 8. – С. 126–135.
- [3] Экспериментальные исследования по оценке выполнения космонавтами сложной операторской деятельности после длительного космического полета на МКС в интересах осуществления полетов в дальний космос / Крикалёв С.К., Крючков Б.И., Харламов М.М., Новицкий О.В., Тарелкин Е.И., Курицын А.А., Долгов П.П., Почув В.И., Сохин И.Г., Орешкин Г.Д., Копнин В.А., Алексеев В.Н., Киришанов В.Н., Бачмановский Н.А., Кондратьев А.С., Жамалетдинов Н.Р., Васильев А.В. // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 9. – С. 24–35.
- [4] Исследовательская деятельность космонавтов в длительных орбитальных полетах / Крючков Б.И., Курицын А.А., Усов В.М., Попова Е.В., Поляков А.В. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2012. – Т. 46. – № 4. – С. 22–26.
- [5] Post-flight experimental research in the interests of manned flights to deep Space / Yuriy V. Lonchakov, Boris I. Kryuchkov, Andrey A. Kuritsyn, Valeriy A. Sivolap, Maksim M. Kharlamov, Rustem R. Kasprahsky, Pavel P. Dolgov // IAC Paper, IAC–15, B3,5,7x28425, Jerusalem, 6 p.

УДК 629.78.05:629.78.072.8

## ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЕЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ В СОСТАВЕ ТРЕНАЖЕРА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Е.В. Полунина

Докт. техн. наук Е.В. Полунина (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассматриваются возможные пути сокращения времени на проведение испытаний моделей бортовых систем в составе тренажера российского сегмента Международной космической станции. Поставлена и решена задача выбора оптимальной стратегии испытаний моделей бортовых систем на основе сценарного подхода.

**Ключевые слова:** испытания, тренажеры для подготовки космонавтов, модели бортовых систем, сценарный подход.

### **Tests of Models of the Onboard Systems as Part of the Simulator of the ISS Russian Segment. E.V. Polunina**

The paper discusses the possible ways to reduce the time of testing the models of onboard systems as part of the simulator of the International Space Station's Russian Segment. The problem of choosing the optimal strategy for testing the models of onboard systems on basis of the scenario approach was set and solved.

**Keywords:** tests, simulators for training cosmonauts, models of onboard systems, scenario approach.

### **Введение**

Важным и достаточно трудоемким этапом общего цикла разработки космического тренажера является этап испытаний. При этом основная доля затрат при испытаниях тренажера приходится на проверки соответствия комплекса моделей бортовых систем ПКА требованиям технического задания на тренажер и частным техническим заданиям на модели бортовых систем.

Наличие на российском сегменте Международной космической станции (РС МКС) автоматизированных режимов управления бортовыми системами и станцией в целом приводит к тому, что испытания не являются заключительным этапом создания тренажера, как это было при разработке тренажеров предыдущих орбитальных станций, а проводятся регулярно в процессе эксплуатации тренажера. Каждый раз при изменении конфигурации РС МКС (вводе в строй новых орбитальных модулей), доставке на борт нового оборудования, а также при доработке алгоритмов функционирования бортовых систем по результатам лётно-конструкторских испытаний проводится модернизация программного обеспечения бортовой вычислительной системы (БВС) РС МКС. Параллельно с вводом в эксплуатацию новой версии программного обеспечения БВС обновляется и версия модели БВС на тренажере, что автоматически запускает новый цикл испытаний тренажера.

Существенно возросли объем и затраты на испытания вследствие увеличения объема и сложности структуры комплекса моделей бортовых систем, обусловленные высокой степенью межмодульной интеграции бортовых систем, расширением функций экипажа по управлению системами и режимами станции, увеличением объема информации, доступной экипажу для контроля функционирования бортовых систем российского сегмента. В ограниченные сроки (2–3 недели в свободное время от тренировок и занятий на тренажере) практически невозможно

провести испытания моделей бортовых систем и стационарных режимов МКС на всем множестве начальных условий и расчетных нештатных ситуаций.

Целью настоящих исследований является разработка методологии испытаний моделей бортовых систем в составе тренажера РС МКС [8, 11], призванная сократить сроки и стоимость проведения испытаний и обеспечить получение заданных значений показателей качества.

Модель бортовой системы в общем случае состоит из аппаратной части, включающей в себя ручные органы управления, контроля и индикации в штатном, технологическом или тренажном вариантах, математической модели процесса функционирования бортовой системы и интерфейсной части, содержащей форматы отображения и управления состоянием и параметрами математической модели, используемые инженерным и инструкторским составом при проведении тренировки (рис. 1) [6, 7].



Рис. 1. Модель бортовой системы

Аппаратные части моделей располагаются в так называемых рабочих местах оператора (РМО) – учебно-тренировочных макетах орбитальных модулей РС МКС в местах их штатного расположения. Математические модели реализуются на вычислительной системе тренажера (ВС), интерфейсные части – на пультах контроля и управления (ПКУ) тренировочным процессом.

Задачей испытаний моделей бортовых систем в составе тренажера является установление соответствия моделей требованиям ТЗ и ЧТЗ, основными из которых являются: требования к адекватности функционирования модели в штатных режимах и нештатных ситуациях, глубине и точности моделирования, контролю и управлению моделью в процессе тренировки, информационному обмену между моделями, согласованию модели с одноименными моделями других модулей РС МКС [10].

Испытания комплекса моделей бортовых систем проводятся путем выполнения проверочных тестов [9]. Тестирование заключается в выдаче определенного ряда воздействий на модели и регистрации отклика на вводимые воздействия. Источниками воздействия являются органы ручного управления и контроля, входящие в аппаратные части модели, и форматы интерфейсов инструктора и инженера.

### **Пути оптимизации процесса испытаний моделей бортовых систем РС МКС**

Процесс испытаний сложных технических систем, к которым относятся космические тренажеры, включает в себя следующие этапы: подготовка к проведению испытаний, проведение испытаний, анализ результатов испытаний.

На этапе подготовки разрабатывается план-график проведения испытаний, определяющий виды проверок, состав тестов, последовательность и методик их проведения. На втором этапе проводятся испытания, на третьем этапе проводится анализ результатов испытаний.

Возможные пути сокращения затрат на испытания сложных технических систем представлены на рис. 2.

Существует два направления сокращения затрат на испытания:

- 1) сокращение объема испытаний за счет сокращения числа характеристик, подлежащих испытанию, до минимального набора, обеспечивающего получение достоверных результатов оценки качества объекта испытаний;
- 2) сокращение затрат на проведение испытаний заданного набора характеристик.



Рис. 2. Возможные пути сокращения затрат на испытания сложных технических систем

В свою очередь сокращение затрат на проведение испытаний заданного набора характеристик возможно за счет автоматизации проведения испытаний на всех этапах – планирования [12], реализации и анализа результатов [1, 5], ускорения длительных процессов; совмещения тестов в процессе испытаний [3]; рациональной стратегии проведения испытаний [3].

Рассмотрим возможность использования указанных путей для сокращения затрат на испытания моделей бортовых систем РС МКС в составе тренажера.

1. Сокращение объема испытаний за счет сокращения числа характеристик, подлежащих испытанию. На практике выбор минимального набора проверяемых характеристик моделей бортовых систем РС и соответствующего набора тестов для их испытаний проводится исходя из планов практических занятий по бортовым системам, а набор тестов для комплексных проверок – исходя из программ типовых полетных суток экипажей, проходящих подготовку для полета на МКС с данной версией штатного ПО БВС.

2. Автоматизация процесса испытаний. Сокращение времени и затрат на испытания сложных технических систем в большинстве случаев достигается за счет автоматизации самого процесса испытаний – автоматического задания входных воздействий на систему, регистрации и анализа результатов тестирования. В принципе такой подход к испытаниям моделей бортовых систем в составе тренажера, если бы он был возможен, позволил бы сократить испытания только математических моделей, но не комплексные испытания всех частей моделей (аппаратной, математической, интерфейсной) и их взаимодействия. Учитывая, что затраты на создание автоматизированной системы испытаний достаточно велики, а автоматизируется только часть процесса испытания, данный путь не является рациональным.

3. Ускорение длительных процессов. Испытания моделей проводятся в реальном времени. При этом время установки исходного состояния моделей, отработки динамических режимов и циклограмм управления в ряде случаев может быть достаточно большим. На тренажерах, не содержащих полунатурных моделей БВС, ускорение отработки начальных условий, длительных динамических режимов и циклограмм управления аппаратурой достигается за счет введения ускоренного масштаба времени. При существующей реализации модели БВС (использо-

вании штатного программного обеспечения на наземных вычислительных средствах) такая возможность на тренажере отсутствует. Но следует иметь в виду, что на КТРС существует возможность сокращения времени на установку исходного состояния моделей за счет применения механизма записи и восстановления контрольных точек, реализованного на тренажере.

4. Совмещение тестов. Этот путь не может быть использован, так как из-за сложности объекта испытания – комплекса моделей бортовых систем – затруднен анализ результатов тестов при их совмещении.

5. Рациональная стратегия проведения испытаний. Учитывая, что два из четырех возможных путей сокращения затрат на проведение испытаний не могут быть использованы при испытаниях моделей БС, а третий может быть использован лишь в ограниченном виде, основное внимание должно быть уделено этапу подготовки к испытаниям, составлению рационального плана испытаний, определяющего виды проверок, состав тестов для каждого вида проверок и последовательность их проведения. Рациональной стратегией проведения испытаний для структур такой сложности, как комплекс моделей бортовых систем российского сегмента, является разбиение процесса испытания на этапы; постепенное наращивание средств от менее сложного этапа к более сложному; переход от автономных испытаний элементов структуры к испытаниям в составе подструктуры, структуры; сокращение однородных тестов на различных этапах; снижение числа тестов на заключительном дорогостоящем этапе.

В тех случаях, когда, руководствуясь приведенными выше правилами, невозможно непосредственно сформировать однозначный план испытаний, для формирования оптимального плана предлагается использовать сценарный подход, разработанный для оптимизации процессов комплексной отладки программного обеспечения (ПО) долговременных орбитальных станций [4], в рамках которого формализована задача выбора оптимальной стратегии испытаний с учетом специфики структуры испытываемых комплексов программ и ее влияния на временные и стоимостные характеристики процесса отладки.

В качестве критериев оптимальности в задаче выбора стратегии комплексной отладки ПО используется минимум времени и стоимости проведения отладочных работ, в качестве ограничений – ограничения структурного типа. К основным ограничениям при постановке задачи относятся ограничения, задающие допустимые варианты разбиения и объединения графа  $G$ , вершины которого соответствуют программным модулям, а дуги – связям между ними.

Множество стратегий комплексной отладки определяется множеством возможных вариантов разбиения графа  $G$  на подграфы с целью их автономного тестирования и множеством возможных вариантов объединения, полученных подграфов с целью их связного тестирования. Любая стратегия комплексной отладки ПО задает множество подграфов разбиения графа  $G$ :  $P^m = \{p^m_1, \dots, p^m_l, \dots, p^m_{D_m}\}$  (где  $D_m$  – количество подграфов при  $m$ -м варианте разбиения) и последовательность объединения этих подграфов до исходной графовой структуры  $\tilde{P}^m = \{\tilde{p}^m_1, \dots, \tilde{p}^m_k, \dots, \tilde{p}^m_N\}$ , где  $\tilde{p}^m_N$  совпадает с графом  $G$ .

Задача выбора оптимальной стратегии комплексной отладки ПО состоит в выборе разбиения  $P^m$  графа  $G$  и последовательности объединения подграфов  $\tilde{P}^m$ , обеспечивающих оптимальные временные и стоимостные характеристики сценария комплексной отладки.

Временные (стоимостные) затраты на комплексную отладку с использованием определенной  $mn$ -стратегии ее организации складываются из двух составляющих  $\bar{T}_{mn}^p(\bar{C}_{mn}^p)$ ,  $\bar{T}_{mn}^o(\bar{C}_{mn}^o)$ , первая из которых характеризует время (стоимость) автономной отладки всех подграфов графа  $G$ , полученных в результате его разбиения по  $mn$ -стратегии, вторая – время (стоимость) проведения последовательности этапов объединения подграфов и их связной отладки по  $mn$ -стратегии.

Временные и стоимостные характеристики системной отладки ПО при использовании определенной стратегии определяются временными и стоимостными характеристиками множества тестов, необходимых для проверки структур графа  $G$ , и временными и стоимостными характеристиками создания программ «заглушек» и «драйверов», моделирующих внешние для соответствующего разбиения графа  $G$  связи по управлению и информации.

### **Постановка задачи выбора оптимальных стратегий испытаний моделей бортовых систем в составе тренажера**

Отличие задачи выбора оптимальных стратегий испытаний моделей бортовых систем в составе тренажера от комплексной отладки ПО состоит в следующем.

1. В задаче испытаний моделей бортовых систем при использовании сценарного подхода в качестве вершин графа, описывающего структуру комплекса моделей бортовых систем, будут выступать вычислительные узлы тренажера, на которых находятся программные реализации моделей и/или их интерфейсы, и макеты орбитальных модулей, содержащие аппаратные части моделей. При этом под автономными испытаниями отдельных моделей или совокупностей моделей будем понимать их тестирование в составе подкомплекса с учетом имеющихся связей с другими моделями, входящими в данный подкомплекс.

2. Испытания моделей проводятся в реальном времени.

3. Управляющие воздействия задаются и контролируются не с помощью программ, генерирующих входные воздействия и регистрирующих отклик на введенные воздействия, а с использованием ручных органов управления и индикации бортовых систем, расположенных в макетах орбитальных модулей, и форматов интерфейсов инструктора и инженера.

4. При автономном тестировании моделей в составе подкомплексов используются уже имеющиеся на данном вычислительном узле «драйверы» и «заглушки» – форматы интерфейса инструктора и инженера, моделирующие связи программных моделей комплекса по управлению и информации с аппаратными частями моделей бортовых систем и программными моделями, расположенными на других вычислительных узлах, и созданные разработчиками моделей, либо в силу необходимости их автономной отладки, либо по требованию заказчика. После интеграции вычислительных узлов в структуру тренажера, там, где это возможно, «заглушки» и «драйверы» продолжают функционировать по логике «И» наряду с реальным обменом параметрами между блоками моделей.

5. Основное отличие в постановках задач выбора оптимальных стратегий комплексной отладки ПО и процесса испытаний программных моделей бортовых систем в составе тренажера состоит в определении их временных и стоимостных характеристик. При комплексной отладке ПО основное время затрачивается на написание программ («заглушки», «драйверы», программы генерации тестов и регистрации результатов тестирования) и анализ результатов тестирования. Затраты, собственно, на тестирование по сравнению с перечисленными затратами

мало. При испытаниях моделей бортовых систем в составе тренажера основное время затрачивается на проведение тестов в реальном времени – установку исходного состояния моделей, задания управляющих воздействий, отработку теста, регистрацию и анализ результатов. При этом время задания теста, регистрации и анализа результатов зависит не только от объема вводимой и регистрируемой информации, но и от конфигурации тренажера, используемой при тестировании. Чем сложнее конфигурация и чем больше в ней территориально разнесенных интерфейсов, тем большее время при одном и том же количестве управляющих воздействий и контролируемой информации затрачивается на проведение теста.

С учетом вышеизложенного ниже приводится постановка задачи выбора оптимальной стратегии испытаний моделей бортовых систем в составе тренажера РС МКС. Используются терминология и обозначения, принятые в работе [4].

Множество вариантов разбиения графа  $G$  на подграфы определяется с учетом структурных ограничений и специфики испытываемого комплекса моделей. Множество вариантов разбиения графа  $G$  при этом задается множеством:

$$\overline{P}^p = \{P^m\}, \quad m = \overline{1, M}, \quad \text{где:}$$

$$P^m = \{p_1^m, \dots, p_v^m, \dots, p_{D_m}^m\} - m\text{-й вариант разбиения;}$$

$$p_v^m - v\text{-й подграф при } m\text{-м варианте разбиения;}$$

$$D_m - \text{количество подграфов при } m\text{-м варианте разбиения.}$$

Множество вариантов объединения графа  $G$  задается множеством:

$$\overline{P}^o = \{\tilde{P}^{mn}\}, \quad n = \overline{1, N_m}, \quad m = \overline{1, M}, \quad \text{где:}$$

$$\tilde{P}^{mn} = \{\tilde{p}_1^{mn}, \dots, \tilde{p}_k^{mn}, \dots, \tilde{p}_{F_{mn}}^{mn}\} - n\text{-й вариант объединения при } m\text{-том варианте}$$

разбиения графа  $G$ ;

$$\tilde{p}_k^{mn} - k\text{-й подграф } n\text{-го варианта объединения при } m\text{-том варианте разбиения графа } G;$$

$N_m$  – количество полученных вариантов объединения подграфов для  $m$ -того варианта разбиения графа  $G$ ;

$F_{mn}$  – количество этапов объединения для  $m$ -го варианта разбиения и  $n$ -том варианте объединения графа  $G$ .

Стратегия испытаний задается вариантом разбиения графа  $G$  на подграфы  $P^m \in \overline{P}^p$  и вариантом объединения полученных подграфов  $\tilde{P}^{mn} \in \overline{P}^o$  в исходную графовую структуру.

Задача выбора оптимальной стратегии испытаний сводится к выбору варианта разбиения графа  $G$  на подграфы из множества  $\overline{P}^p$  с целью их автономного тестирования и варианта объединения этих подграфов из множества  $\overline{P}^o$  с целью связанного тестирования, которые обеспечили бы проведение испытаний при минимальных затратах времени.

Для постановки задачи выбора оптимальной стратегии испытаний вводятся переменные:

$$y_{mn} = \begin{cases} 1, & \text{если для } m\text{-го варианта разбиения графа } G \text{ выбирается} \\ & n\text{-й вариант объединения;} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Исходными данными для решения задачи являются множества вариантов разбиения графа  $G - \bar{P}^p = \{P^m\}$ ,  $m = \overline{1, M}$  на подграфы, множество вариантов объединения подграфов разбиения до исходного графа  $G - \bar{P}^o = \{\tilde{P}^{mn}\}$ ,  $n = \overline{1, N_m}$ ,  $m = \overline{1, M}$  и временные и стоимостные характеристики автономного и связного тестирования.

Время и стоимость испытаний при этом определяются выражениями:

$$\bar{T} = \bar{T}_m^p + \bar{T}_{mn}^o, \quad \bar{C} = \bar{C}_m^p + \bar{C}_{mn}^o,$$

где  $\bar{T}_m^p$  и  $\bar{C}_m^p$  – время и стоимость автономного тестирования при  $m$ -м варианте разбиения графа  $G$ ;

$\bar{T}_{mn}^o$  и  $\bar{C}_{mn}^o$  – время и стоимость этапов связного тестирования при  $m$ -м варианте разбиения и  $n$ -ом варианте объединения графа  $G$ .

Время  $\bar{T}_m^p$  и стоимость  $\bar{C}_m^p$  автономного тестирования определяются следующим образом:

$$\bar{T}_m^p = \sum_{v=1}^{Dm} t_{vm}, \quad \bar{C}_m^p = \sum_{v=1}^{Dm} c_{vm}. \quad (2)$$

Здесь  $t_{vm}$  и  $c_{vm}$  – время и стоимость тестирования  $v$ -го подграфа разбиения:

$$t_{vm} = \sum_{j=1}^{J_{vm}^{\wedge}} t_{jvm}, \quad c_{vm} = \sum_{j=1}^{J_{vm}^{\wedge}} c_{jvm}, \quad (3)$$

где  $J_{vm}$  – множество тестов, необходимых для проверки подграфа  $p_v^m$ .

Время, затрачиваемое на проведение каждого теста, включает время установки исходного состояния моделей –  $t^y$ , время задания тестовых воздействий на модели –  $t^z$ , время отработки теста –  $t^o$ , время регистрации и анализа результатов тестирования –  $t^{pa}$ , время локализации ошибок, обнаруженных в процессе тестирования –  $t^i$ .

$$t = t^y + t^z + t^o + t^{pa} + t^i \rho, \quad (4)$$

где  $\rho$  – вероятность обнаружения ошибки.

Стоимость каждого теста, выраженная в человеко-часах, зависит от времени тестирования и количества инженерно-технического ( $n^T$ ) и инструкторского ( $n^H$ ) персонала, занятого при проведении теста:

$$c = (n^T + n^H) * t. \quad (5)$$

Необходимое количество инженерно-технического персонала определяется количеством узлов в конфигурации тренажера, используемой для проведения теста, количеством инструкторского персонала – количеством территориально разнесенных интерфейсов, задействованных при проведении теста.

Время и стоимость автономного тестирования подграфа  $p_v^m$  определяются выражениями:

$$\begin{cases} t_{vm} = \sum_{j=1}^{J_{vm}} (\hat{t}_{jvm}^y + \hat{t}_{jvm}^z + \hat{t}_{jvm}^o + \hat{t}_{jvm}^{pa} + \hat{t}_{jvm}^l \rho); \\ c_{vm} = \sum_{j=1}^{J_{vm}} (\hat{n}_{jvm}^T + \hat{n}_{jvm}^H) (\hat{t}_{jvm}^y + \hat{t}_{jvm}^z + \hat{t}_{jvm}^o + \hat{t}_{jvm}^{pa} + \hat{t}_{jvm}^l \rho), \end{cases} \quad (6)$$

где  $J_{vm}$  – множество тестов, необходимых для проверки подграфа  $p_v^m$ ,  $\rho$  – вероятность обнаружения ошибки.

Время и стоимость связной проверки при  $m$ -м варианте разбиения и  $n$ -м варианте объединения графа  $G$  определяются выражениями:

$$\bar{T}_{mn}^o = \sum_{k=1}^{F_{mn}} b_{kmn}, \quad \bar{C}_{mn}^o = \sum_{k=1}^{F_{mn}} s_{kmn}, \quad (7)$$

где  $b_{kmn}$  и  $s_{kmn}$  – время и стоимость проведения  $k$ -го этапа связной проверки при  $m$ -м варианте разбиения и  $n$ -м варианте объединения графа  $G$ .

Времена  $b_{kmn}$  и стоимости  $s_{kmn}$  проведения  $k$ -го этапа связной проверки при  $m$ -м варианте разбиения и  $n$ -м варианте объединения графа  $G$  определяются следующими соотношениями:

$$\begin{cases} b_{kmn} = \sum_{j=1}^{J_{kmn}} (\hat{b}_{jkmn}^y + \hat{b}_{jkmn}^z + \hat{b}_{jkmn}^o + \hat{b}_{jkmn}^{pa} + \hat{b}_{jkmn}^l \rho), \\ s_{kmn} = \sum_{j=1}^{J_{kmn}} (\hat{n}_{jkmn}^T + \hat{n}_{jkmn}^H) (\hat{b}_{jkmn}^y + \hat{b}_{jkmn}^z + \hat{b}_{jkmn}^o + \hat{b}_{jkmn}^{pa} + \hat{b}_{jkmn}^l \rho), \end{cases} \quad (8)$$

где  $J_{kmn}$  – количество тестов  $k$ -го этапа связной проверки при  $m$ -м варианте разбиения и  $n$ -м варианте объединения,  $\rho$  – вероятность обнаружения ошибки.

С учетом полученных временных и стоимостных характеристик (2)–(8) задача выбора оптимальной стратегии сценария испытаний по критерию минимума общего времени ее реализации имеет вид:

$$\sum_m \left( \bar{T}_m^p \sum_{n=1}^{N_m} y_{mn} + \sum_{n=1}^{N_m} \bar{T}_{mn}^o y_{mn} \right) \rightarrow \min \quad (9)$$

при ограничении на стоимость проведения испытаний:

$$\sum_m \left( \bar{C}_m^p \sum_{n=1}^{N_m} y_{mn} + \sum_{n=1}^{N_m} \bar{C}_{mn}^o y_{mn} \right) \leq C \quad (10)$$

и ограничениях:

$$\sum_{m=1}^{N_m} y_{mm} = 1, \quad m = \overline{1, M}. \quad (11)$$

### Методика выбора оптимальной стратегии испытаний моделей бортовых систем

Исходными данными для решения оптимизационных задач по критерию времени и стоимости являются время каждого теста и затраты в человеко-часах на его проведение. Для их определения требуется большая подготовительная работа. В нашем случае требуется подготовительная работа только по определению времени каждого теста, так как затраты на проведения теста прямо пропорциональны времени тестирования –  $c = (n^T + n^H) * t$ , а число инженерно-технического и инструкторского состава  $n^T$  и  $n^H$  известны для каждой конфигурации тренажера.

Методика выбора оптимальной стратегии испытаний модели или группы моделей бортовых систем состоит из пяти шагов. На первых четырех шагах проводится подготовка исходных данных для решения задачи (9)–(11), на последнем шаге – решение задачи.

1. На основе наборов тестов, разработанных для испытания модели или группы моделей, определяется исходная конфигурация тренажера – максимально необходимая для проведения испытаний.

2. С учетом структуры тренажера, распределения блоков модели по узлам тренажера и имеющегося опыта выбираются рациональные варианты разбиения исходной конфигурации тренажера на подструктуры с целью их автономного тестирования и рациональные варианты объединения подструктур до исходной конфигурации с целью их связного тестирования.

3. Для каждой стратегии испытаний, задаваемой вариантом разбиения исходной конфигурации на подструктуры и вариантом объединения полученных подструктур в исходную конфигурацию, проводится распределение тестов по этапам испытаний.

4. Определяются временные и стоимостные характеристики тестов каждого этапа испытаний.

5. На основе временных и стоимостных характеристик тестов каждого этапа определяются временные и стоимостные затраты на проведение каждой стратегии испытаний. Осуществляется выбор лучшей из стратегий по критерию минимума времени и затрат.

Задачу (9)–(11) удобно решать с использованием электронных таблиц Microsoft Excel [2]. При этом не требуется длительного и трудоемкого процесса программирования. Достаточно для каждого этапа стратегий занести временные и стоимостные характеристики тестов в таблицы. Затем для каждой стратегии просуммировать итоги таблиц по этапам и занести их в итоговую таблицу стратегий, оформленную как список или базу данных, в которой под каждую стратегию отводится одна запись: номер стратегии, вариант разбиения исходного графа –  $m$ , вариант объединения –  $n$ , время –  $T$  и стоимость –  $C$  испытаний при данной стратегии.

На рисунке 3 приведена итоговая таблица стратегий испытаний моделей систем пожаробнаружения орбитальных модулей российского сегмента МКС. В

данном примере исходный граф состоит из четырех вершин, возможное число вариантов разбиения исходного графа на подграфы равно пяти, количество стратегий испытаний моделей – девяти, общее количество тестов 64, число электронных таблиц, включая итоговую таблицу «БД Стратегии» – 26.

В результате решения задачи выбора оптимальной стратегии для рассматриваемого примера получены временные (в часах) и стоимостные характеристики (в человеко-часах) стратегий. Здесь в таблице «БД Стратегии» для каждой стратегии отражены также временные и стоимостные характеристики автономных (Т авт., С авт.) и связанных (Т связ., С связ.) этапов испытаний.

БД Стратегии								
Номер	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>T авт.</i>	<i>C авт.</i>	<i>T связ.</i>	<i>C связ.</i>	<i>T</i>	<i>C</i>
1	1	1	2,23	4,48	1,68	10,46	3,91	14,93
2	1	2	2,23	4,48	1,71	11,00	3,98	15,47
<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2,23</b>	<b>4,48</b>	<b>1,33</b>	<b>8,03</b>	<b>3,56</b>	<b>12,5</b>
4	1	4	2,23	4,48	1,52	8,95	3,75	13,42
5	1	5	2,23	4,48	2,15	11,72	4,38	16,18
6	2	1	2,28	4,56	1,55	10,20	3,85	14,77
7	2	2	2,28	4,56	2,02	11,45	4,30	16,02
8	3	1	2,38	9,53	1,33	9,33	3,72	18,86
<b>9</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4,91</b>	<b>34,41</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4,91</b>	<b>34,41</b>

Рис. 3. Итоговая таблица стратегий испытаний моделей систем пожаробнаружения

Наилучшей стратегией – оптимальной как по времени, так и по стоимости, является третья стратегия. Наихудшей – последняя стратегия, при которой все тесты проводятся в максимальной для данного вида испытаний конфигурации тренажера. Наилучшая стратегия отличается от наихудшей стратегии по времени на 28 %, по стоимости – почти в 3 раза.

Как видно из приведенного примера, для того, чтобы определить оптимальную стратегию испытаний моделей бортовых систем, требуется большая подготовительная работа по определению времени каждого теста и затрат на его проведение. Можно выбрать рациональную стратегию испытаний уже на этапе анализа тестов, проводимых на разных этапах возможных стратегий. Если существует большой процент повторения тестов на разных этапах объединения (в том числе и на этапе автономных испытаний отдельных узлов тренажера), то возможно более рациональное проведение испытаний сразу в максимальной конфигурации тренажера. Если же количество тестов на разных этапах мало пересекаются, то более рационально испытывать автономно подструктуры и затем их последовательно объединять до полной конфигурации.

### Заключение

Исследованы возможные пути сокращения затрат на проведение испытаний моделей бортовых систем орбитальных модулей в составе тренажера РС МКС. Поставлена и решена задача выбора оптимальной стратегии испытаний моделей бортовых систем на основе сценарного подхода. Разработана методика выбора оптимальной стратегии испытаний моделей бортовых систем в составе тренажера

РС МКС и проиллюстрирована возможность ее применения на примере испытаний моделей систем пожарообнаружения. Результаты выполненных исследований могут быть использованы при испытаниях существующих и новых технических средств подготовки космонавтов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Технология сборки и испытаний космических аппаратов / Беляков И.Т., Зернов И.А., Антонов Е.Г. и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
- [2] Васильев А.Н. Научные вычисления в Microsoft Excel. Компьютерное изд-во «Диалектика». – М., СПб., Киев, 2004. – 511 с.
- [3] Методы оптимизации испытаний и моделирования систем управления газотурбинными двигателями / Дедеш В.Т., Герман В.М., Августиневич В.Г. и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 160 с.
- [4] Проектирование информационно-управляющих систем долговременной орбитальной станции / Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В. – М.: Наука, 2002. – 343 с.
- [5] Леохин Ю.Л. Методы и аппаратно-программные средства комплексной динамической отладки для систем управления реального времени: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М, 1992. – 20 с.
- [6] Особенности разработки моделей бортовых систем для тренажеров российского сегмента Международной космической станции / Наумов Б.А., Полунина Е.В., Саев В.Н., Синельников В.Г. // Полет. – 2008. – № 6. – С. 24–29.
- [7] Автоматизация разработки дискретных моделей бортовых систем для тренажеров пилотируемых космических аппаратов / Наумов Б.А., Полунина Е.В., Саев В.Н., Синельников В.Г. // Полет. – 2009. – № 5. – С. 18–21.
- [8] Полунина Е.В. Комплексный тренажер российского сегмента Международной космической станции // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 4. – С. 50–56.
- [9] Полунина Е.В., Саев В.Н. Организация процесса испытаний программных моделей бортовых систем в составе тренажера РС МКС // Труды XXXXVIII чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – 2009. – С. 188–189.
- [10] Исследование и обоснование тактико-технических требований к моделям бортовых систем ПКА для тренажеров / Полунина Е.В., Саев В.Н., Синельников В.Г. // Материалы XXX общественно-научных чтений, посвященных памяти Ю.А. Гагарина. – Гагарин, 2003. – С. 34–43.
- [11] Полунина Е.В., Шевченко Л.Е. Тенденции развития космических тренажеров // Труды Международной научно-практической конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014», 3–5 июля 2014, Санкт-Петербург. – С. 302–308.
- [12] Фальков Д.С. Автоматизация комплексных испытаний сложных технических объектов с использованием нечетких логик. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – СПб., 1999.

УДК 629.78.064.5:621.313.17

## ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДВЕСА КАБИНЫ ЦЕНТРИФУГИ ЦФ-7

Е.А. Юфкин

Е.А. Юфкин (ОАО РКК «Энергия»)

Рассмотрены возможности динамического тренажера – центрифуги ЦФ-7 со свободным подвесом кабины и с управляемым. Подробно рассмотрены вопросы, связанные с проектированием электропривода подвеса кабины центрифуги ЦФ-7. Приведены варианты реализации силовой части электропривода подвеса кабины и системы управления. Проанализированы различные варианты реализации системы управления приводом подвеса с учетом выбранного комплекта оборудования. Представлены графики скоростей и углов при повороте кабины в условиях воздействия перегрузки, с учетом выбранной системы управления. Также представлен вариант реализации панели пульта оператора, с которого будет осуществляться управление системой.

**Ключевые слова:** электропривод подвеса, свободный подвес кабины, система управления, пульт оператора.

### Approach to Designing an Electric Drive for the Cab's Suspension of the Centrifuge TsF-7. E.A. Yufkin

The paper considers the functional capabilities of the dynamic simulator TsF-7 with both a free and controlled suspensions and discusses issues related to designing an electric drive for the cab's suspension of the centrifuge TsF-7. Also, the paper contains: alternatives of realizing the power component of the electric drive and the control system; alternatives of realizing the system of controlling the drive of the suspension taking into account the selected equipment set; graphs of velocities and angles of rotation of a cab under overload conditions taking into account the selected equipment set; and the option of an operator panel to control the system.

**Keywords:** electric drive of a suspension system, free suspension of a cab, control system, operator panel.

Центрифуга ЦФ-7 имеет неуправляемый свободный подвес – при выходе главного привода ЦФ на заданную скорость, в зависимости от перегрузки, кабина разворачивается утяжеленной частью (дисбалансом) к стене круглого зала. Космонавт (испытатель) получает заданную перегрузку в положении, как показано на рис. 1.

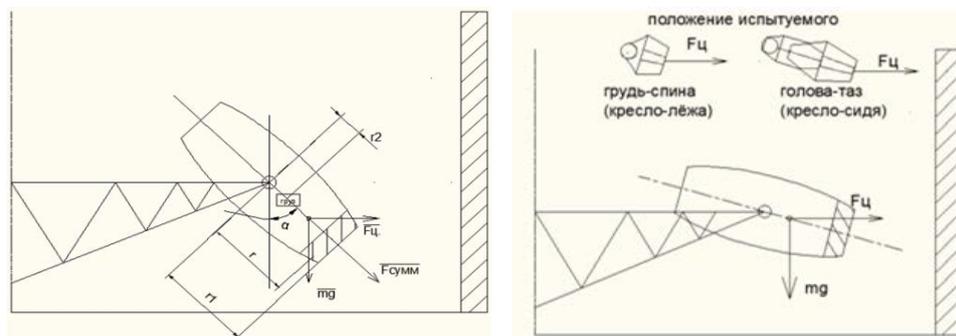


Рис. 1. Поворот кабины при вращении главного привода за счет дисбаланса

Основной недостаток неуправляемого свободного подвеса кабины – отсутствие возможности проведения испытаний, связанных с воздействием угловой перегрузки на космонавта (испытателя) (имитация воздушного боя, пилотирование самолета, управление автомобилем на трассе). Указанный недостаток может быть устранен за счет установки в подвес кабины приводного электродвигателя, что значительно расширяет функциональные возможности данного тренажера, позволяя управлять углом воздействия перегрузки по отношению к испытателю (как показано на рис. 2), за счет изменения положения кабины.

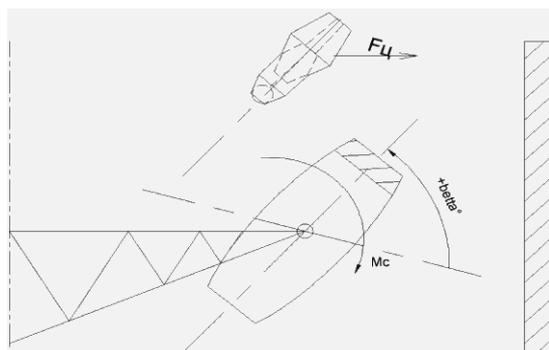


Рис. 2. Отклонение кабины от положения равновесия

Для обеспечения возможности управления положением кабины разработана методика проектирования электропривода подвеса кабины центрифуги ЦФ-7, в ходе которой проводится комплексный механический анализ объекта, его особенности и режимы работы. С учетом особенностей центрифуги выбирается приводной двигатель кабины и комплект оборудования для его управления. Разрабатывается программное обеспечение электропривода подвеса, где учитываются все особенности и режимы работы центрифуги.

В ходе проектирования электропривода решаются следующие основные задачи:

1. Выбор двигателя прямого привода подвеса и комплекта оборудования для его управления.
2. Разработка и исследование моделей электропривода с учетом выбранной аппаратной части.
3. Разработка алгоритма управления системой управления (СУ) прямого привода.
4. Разработка графического интерфейса пульта оператора.

Первые две задачи связаны с проектированием силовой части электропривода. На этих этапах проводится анализ режимов работы главного привода центрифуги, строятся нагрузочные диаграммы выбираемого двигателя подвеса кабины, проводятся расчеты, осуществляется предварительный выбор электродвигателя и комплекта оборудования для его управления. Электродвигатели выбираются из каталогов [1], а комплект оборудования для его управления выбирается из каталогов [2, 3]. При выборе приводного двигателя подвеса кабины самой сложной задачей является механический анализ объекта. В ходе анализа выявляются режимы работы главного привода ЦФ, диапазоны углов поворота, в которых планируется поворачивать кабину. Момент сопротивления при повороте кабины прямо про-

порционален скорости вращения главного привода ЦФ и диапазону углов поворота кабины. На основании рассчитанных в ходе анализа моментов сопротивления строятся нагрузочные диаграммы режимов работы приводного двигателя кабины. Для корректного выбора двигателя нужна диаграмма максимально загруженного режима (для проверки двигателя по перегрузке) и максимально длительного цикла (для проверки двигателя по нагреву).

Функциональная схема проектируемого электропривода представлена на рис. 3. Красным цветом выделены элементы, входящие в состав разрабатываемого электропривода. Приводной двигатель устанавливается в короб подвеса, инкрементальный энкодер нужен для введения обратной связи по положению, частотный преобразователь для управления двигателем, логический контроллер для координации работы главного привода, привода подвеса и вывода информации на пульт оператора. Питание от ПЧ к двигателю подводится через вращающееся контактное устройство (ВКУ).

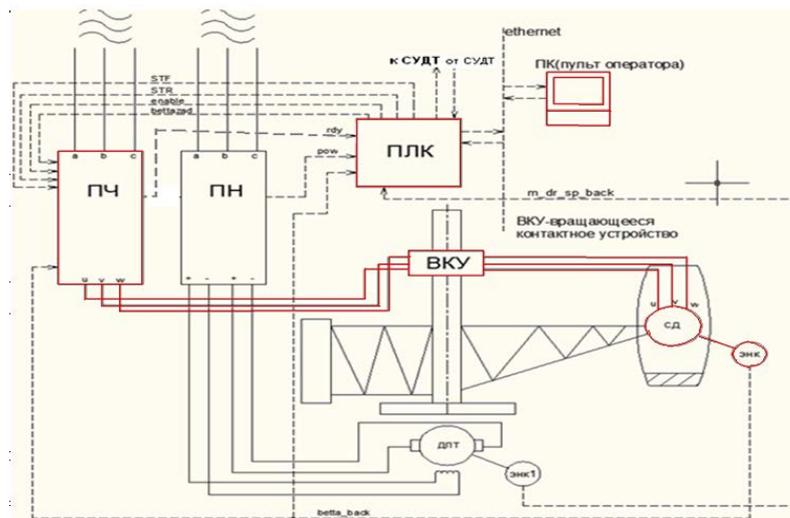


Рис. 3. Функциональная схема электропривода подвеса кабины

Второй этап проектирования – построение математической модели силовой части электропривода с учетом выбранного оборудования. Модель, построенная в пакете Matlab, представлена на рис. 4. На этапе моделирования разрабатывается модель обобщенной электрической машины выбранного двигателя, моделируется нагрузка (основные режимы работы главного привода ЦФ), исследуются различные режимы работы электропривода кабины, проводятся необходимые настройки регуляторов, снимаются переходные процессы скоростей и углов поворота кабины в различных режимах. Графики скорости и угла поворота представлены на рис. 5.

По полученным графикам определяются необходимые характеристики переходных процессов, такие как быстродействие и перерегулирование, которые сравниваются с требованиями технического задания.

Следует отметить, что в выбранной модели исследовался векторный режим управления электропривода при работе главного привода с заданной перегрузкой 2 g. Одним из необходимых условий проектирования электропривода является

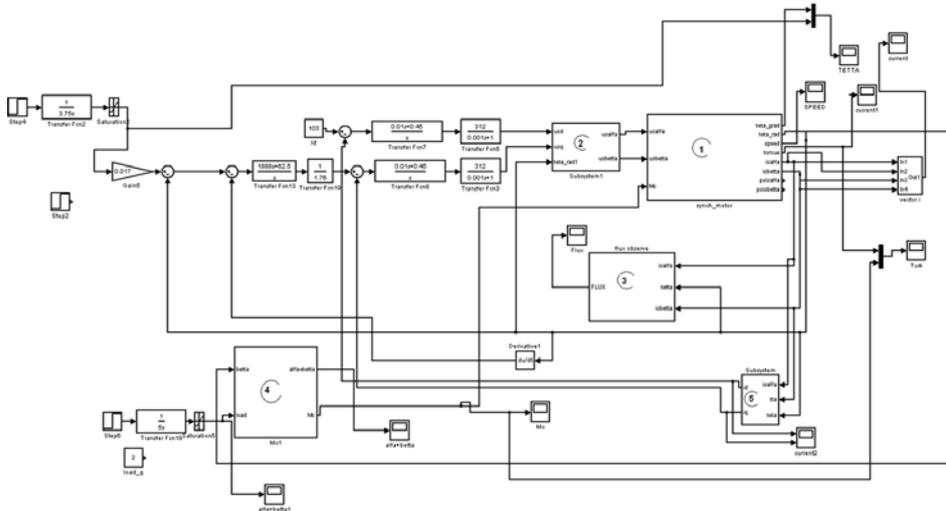


Рис. 4. Математическая модель электропривода подвеса кабины ЦФ

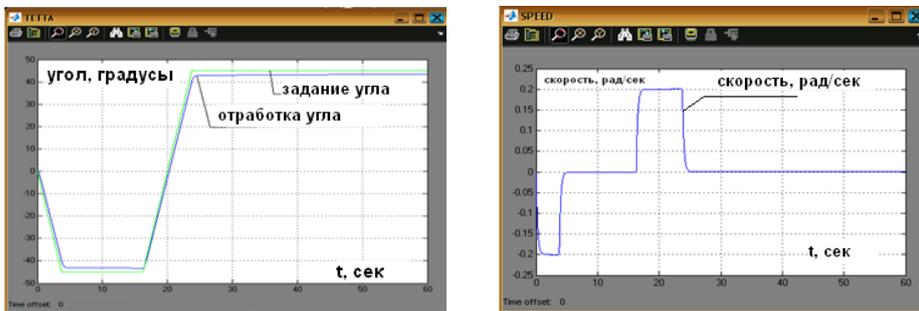


Рис. 5. Изменение угла поворота и скорости в функции времени при повороте кабины

создание комфортных условий для испытуемого. Для обеспечения необходимой плавности поворота кабины угол в трехконтурную систему необходимо подавать через задатчик интенсивности.

Ввиду ряда особенностей нагрузки (в частности, изменения режимов работы главного привода) скалярное управление выбранным двигателем подвеса невозможно. При изменении заданной перегрузки главного привода, приводная машина подвеса кабины выйдет из синхронизма.

Следует особо отметить, что при проектировании силовой части электропривода должны соблюдаться следующие условия:

1. Двигатель должен обеспечивать момент, необходимый для вращения кабины в условиях перегрузки  $M_k > M_c$ . Основное и необходимое условие выбора приводного двигателя. Машина работает при низких скоростях и высоких значениях крутящего момента. Основным критерием выбираемого двигателя является крутящий момент, который должен быть больше момента сопротивления при повороте кабины. Условие проверяется при помощи построения нагрузочной диаграммы с максимально загруженным циклом.

2. Обеспечивать поворот кабины в заданном диапазоне углов поворота при заданных режимах работы главного привода ЦФ. Как видно из рисунка 6, при повороте кабины приводным двигателем в одном и том же диапазоне углов, но при различных режимах работы главного привода, моменты сопротивления будут различны. Это необходимо учитывать при построении нагрузочных диаграмм. Таким образом, если не требуется поворачивать кабину в диапазоне  $\pm 60^\circ$  при максимальной перегрузке, не следует выбирать двигатель для такого режима. Чем больше крутящий момент выбираемого двигателя, тем выше его стоимость. Оптимальный выбор приводной машины поможет избежать излишних экономических затрат.

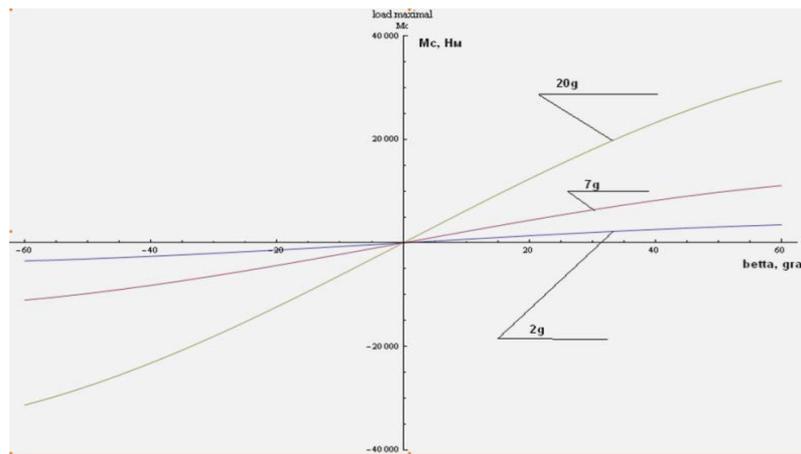


Рис. 6. Момент сопротивления при повороте кабины в различных режимах работы главного привода

3. Удовлетворять условиям перегрузки при длительных режимах работы (например, при стопорении). Известно, что в режиме стопорения в статорной обмотке возрастает ток, соответственно, происходит перегрев обмотки. Это также следует учитывать и при необходимости предусматривать систему охлаждения. Это условие проверяется при помощи диаграммы с длительным временем стопорения и малых моментах сопротивления.

Оборудование для силовой части электропривода выбирают, исходя из технических возможностей кабины и экономических затрат на выбираемое оборудование. Возможны варианты реализации электропривода с одним электродвигателем (показано на рис. 7) или с двумя двигателями на меньшие моменты с двух сторон кабины. Вариант с двумя двигателями следует использовать в случае, если выбираемый приводной двигатель из каталога не проходит по нагреву или перегрузке или же выбор такого двигателя не целесообразен с технико-экономической точки зрения (момент выбираемых двигателей в каталоге сильно завышен, соответственно такая машина стоит дороже). При реализации двухдвигательной системы следует учесть, что система управления в этом случае усложняется и возрастает в цене. Необходима синхронная работа обеих машин.

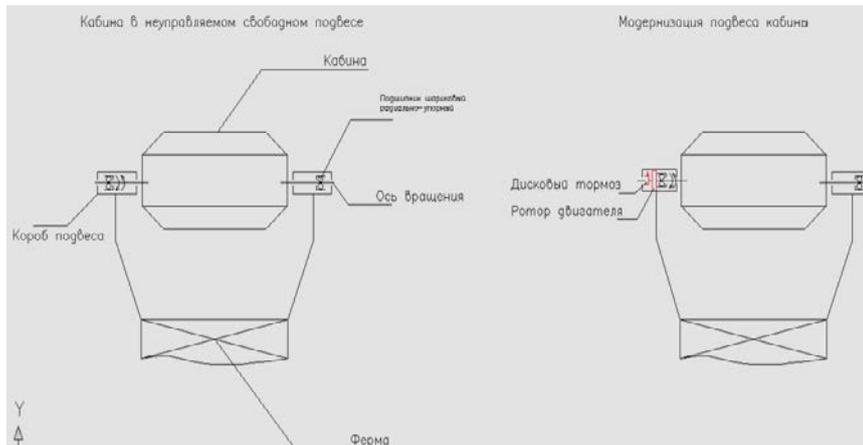


Рис. 7. Установка электродвигателя в подвес кабины

Вопросы реализации системы управления:

После разработки модели силовой части и предварительного выбора оборудования осуществляется реализация системы управления с учетом выбранной аппаратной части.

Основные требования к проектируемой системе:

1. Вращение только от положения равновесия. Кабина может поворачиваться в заданном диапазоне углов только после ее разворота дисбалансом к стене круглого зала. На это рассчитан выбранный двигатель, удовлетворяющий условиям 1,3. В противном случае поворот кабины невозможен.

2. Для каждой перегрузки – свой диапазон углов. Для каждой перегрузки (режима работы главного привода) должен задаваться свой диапазон углов поворота (рис. 6). Как было сказано выше, при повороте кабины приводным двигателем в одном и том же диапазоне углов, но при различных режимах работы главного привода, момент сопротивления будет отличаться. Соответственно, в СУ должен быть предусмотрен ввод диапазонов углов поворота индивидуальный для каждого режима работы ЦФ. К примеру, при вводе угла  $60^\circ$  при перегрузке 20 g система должна выдавать ошибку, и никакого поворота не должно происходить. Приводной двигатель не рассчитан на это. Одним из необходимых условий проектирования электропривода подвеса является создание комфортных условий для испытуемого, как было сказано выше. Человек, сидящий в кабине, не должен получить высокую перегрузку, к примеру, при повороте кабины в диапазоне углов  $\pm 45^\circ$ . Диапазоны задаваемых углов поворота для различных режимов работы главного привода уточняются на этапе составления ТЗ.

Схема алгоритма работы СУ показана на рисунке 8. Перегрузка в долях g задается в СУ главного привода и СУ привода подвеса, где пересчитывается в скорость вращения главного привода и сравнивается с его фактической скоростью. После достижения главным приводом заданной скорости происходит разблокировка системы и ее ввод в работу. Затем в зависимости от введенного диапазона перегрузок вводится диапазон углов поворота кабины. При некорректном введении угла ( $60^\circ$  при перегрузке 20 g) система выдает ошибку и никакого ввода не происходит.

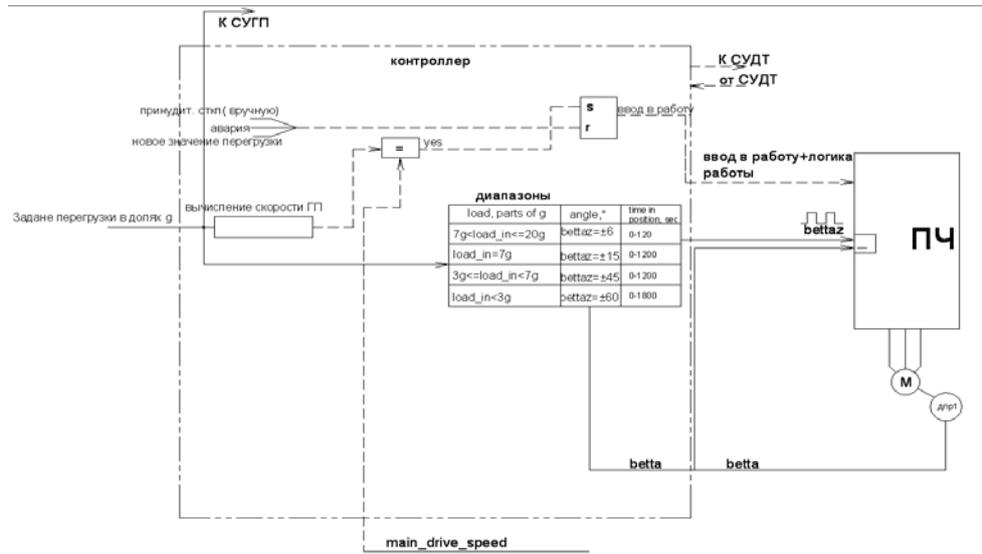


Рис. 8. Схема алгоритма работы СУ привода подвеса

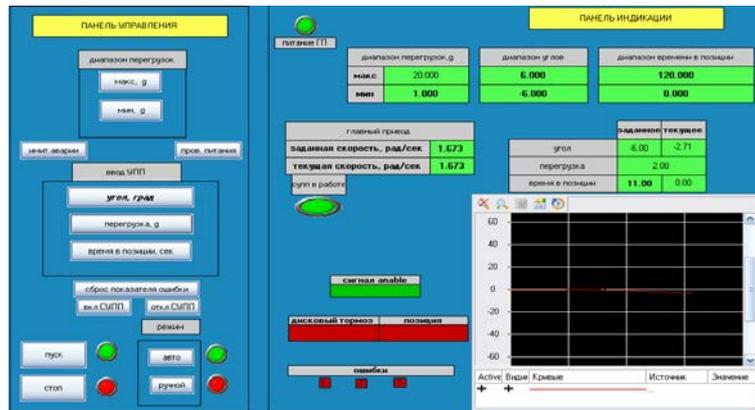


Рис. 9. Разработанная панель оператора

Финальной стадией разработки СУ является написание программы для выбранного контроллера в интегрированной среде Trace Mode 7 компании Adastra (или любой другой среде) с последующей разработкой интерфейса пульта оператора. Окно операторского интерфейса показано на рисунке 9. Программа пишется непосредственно в среде Trace Mode, в этой же среде создаются графические элементы экрана. После этого программа привязывается к созданным графическим элементам.

Операторский интерфейс включает панель управления и панель индикации. На панели управления предусмотрены кнопки выбора режима работы, пуск стоп, задания режимов работы. Панель индикации включает в себя индикаторы режи-

мов работы главного привода и привода подвеса, осциллограф контроля положения кабины, а также индикаторы кодов ошибок.

После реализации СУ и ее отладке на компьютере, осуществляется привязка СУ к выбранному оборудованию:

1. Программа прошивается в выбранный контроллер прямо в среде Trace Mode согласно [4], [5].

2. Осуществляется связь выбранного контроллера и ПК по протоколу Ethernet (или RS 485 в зависимости от требований ТЗ). Все сетевые настройки выставляются в среде Trace Mode [5]. Результатом выполнения этого пункта является панель оператора на ПК и прошитая в контроллер программа.

3. Тестируется связь ПК с ПЛК по выбранному протоколу. Выполняется тестирование и отладка программы без силовой части (создаются искусственно аварийные режимы, нажимаются все кнопки, проверяется загорание индикаторов).

4. Выполняется настройка выбранного преобразователя согласно [3]. В настройках прибора выбирается система управления, режимы работы, настройка регуляторов, установки задатчика интенсивности. Данные для настроек берутся на основании модели силовой части электропривода, показанной на рисунке 4. Осуществляется пробный пуск центрифуги (пускается главный привод и привод подвеса). Управление приводом подвеса осуществляется с панели преобразователя [3]. При необходимости выполняются подстройки регуляторов.

5. После выполнения этапов 1–4, отладке программы, устранения всех недостатков осуществляется установка контроллера в разрабатываемый электропривод согласно функциональной схеме рисунка 3. Выполняется пробный пуск электропривода согласно описанному алгоритму. Алгоритм проверки электропривода подвеса должен быть описан в отдельном документе – программе и методике испытаний.

Предлагаемая методика проектирования электропривода подвеса кабины центрифуги ЦФ-7 может быть распространена и на более сложные тренажеры, имеющие три и более подвижные массы. При решении подобных задач усложнится процесс построения нагрузочных диаграмм электроприводов подвижных масс и алгоритма системы управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Open Loop Low Speed Control for PMSM in High dynamic applications. – изд. Aalborg Universitet.
- [2] Руководство по эксплуатации. – FR-A700 / преобразователь частоты. – Номер по каталогу: 19-3913-14-08-2007.
- [3] Руководство пользователя. – Unidrive SPM / универсальный модульный привод переменного тока для асинхронных электродвигателей и сервомоторов. – Номер по каталогу: 0471-0053-02.
- [4] Руководство по эксплуатации. – Серия Melsec FX3U / программируемые логические контроллеры. – Номер по каталогу: 2126-270-6-10-2008.
- [5] Adastrа.com. – Обучающие видеоматериалы.

УДК 629.78.007

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ МКС****Б.И. Крючков, А.А. Алтунин, П.П. Долгов, В.И. Ярополов, В.М. Усов,  
Е.Ю. Иродов, Д.И. Верба, В.С. Коренной**

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; А.А. Алтунин; канд. техн. наук, ст.н.с. П.П. Долгов; докт. техн. наук, профессор В.И. Ярополов; докт. мед. наук, профессор В.М. Усов; канд. техн. наук, ст.н.с. Е.Ю. Иродов; Д.И. Верба; канд. техн. наук, ст.н.с. В.С. Коренной (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье анализируется внекорабельная деятельность космонавтов и астронавтов, выполненная в период 1998–2016 гг. в интересах сборки и эксплуатации МКС. Оцениваются задачи, объемы и структура внекорабельной деятельности как для комплекса в целом, так и для его основных сегментов – российского и американского. Рассматриваются особенности внекорабельной деятельности в связи с повторными выходами в открытый космос и режимом труда и отдыха экипажей. Приводятся статистические характеристики внекорабельной деятельности.

**Ключевые слова:** внекорабельная деятельность, экипаж, Международная космическая станция, российский сегмент, американский сегмент, гистограмма, функция распределения, длительность внекорабельной деятельности, структура работ экипажа.

**Main Results of EVA of the ISS's Crews. B.I. Kryuchkov, A.A. Altunin,  
P.P. Dolgov, V.I. Yaropolov, V.M. Usov, E.Yu. Irodov, D.I. Verba,  
V.S. Korennoy**

The paper analyzes extravehicular activity (EVA) on assembling and operation of the ISS completed by cosmonauts and astronauts in a period from 1998 through 2016. It also evaluates objectives, scope and structure of EVA as to the whole complex and its core segments – the Russian and American. The features of EVA related to repeated spacewalks and to the crews' work-rest schedule are considered. Statistic characteristics of EVA are given.

**Keywords:** extravehicular activity (EVA), crew, International Space Station, Russian Segment, USOS, histogram, distribution function, duration of extravehicular activity, structure of crew works.

**Характеристика объемов ВКД на МКС**

Внекорабельная деятельность (ВКД) является одним из важнейших элементов профессиональной деятельности космонавтов на борту пилотируемых космических аппаратов. Наибольшее значение технологии ВКД получили в связи с развитием долговременных орбитальных станций (ДОС) типа «Салют», орбитальных станций «Скайлэб», «Мир», МКС, а также многоэтажных транспортных космических кораблей (МТКК) типа «Шаттл».

В данной работе в качестве показателя объема ВКД используется количество выходов в открытый космос за определенный период времени. На ДОС «Салют-6» было выполнено 3 выхода в открытый космос (ОК) общей продолжительностью 5,2 ч, на станции «Салют-7» – 13 выходов продолжительностью 48,5 ч, на станции «Мир» – 78 выходов продолжительностью 358,5 ч. На станции «Скайлэб» астронавты выполнили 9 выходов в ОК общей продолжительностью 35,2 ч. Выходы в ОК на МТКК осуществлялись как по программе автономных полетов, так и в ходе совместных полетов с МКС.

В программе МКС МТКК использовались для ВКД 26 раз. После доставки на американский сегмент (АС) в июле 2001 года универсального шлюзового модуля «Квест» для ВКД применялся в основном он. Последний выход в ОК астронавтов из МТКК был в августе 2005 года, хотя эти многоразовые корабли совершали полеты к МКС до июля 2011 года.

На российском сегменте (РС) МКС ВКД можно было выполнять как из переходного отсека (ПхО) модуля «Звезда», так и из специализированного отсека модуля «Пирс» (он был доставлен на МКС в сентябре 2001 года). ПхО использовался для выхода в космос лишь дважды (в 2001 и 2009 гг.) для выполнения технологических работ с крышками стыковочного узла. Для решения целевых задач ВКД в остальных 47 выходах из РС МКС применялся модуль «Пирс».

Всего экипажами МКС в период с декабря 1998 года по октябрь 2016 года было выполнено 195 выходов в открытый космос, в ходе которых решено 560 различных задач. За рассматриваемый период из АС было осуществлено 146 выходов в ОК (рис. 1), что составляет 74,87 % от ВКД на МКС в целом.

За то же время из РС выполнено 49 выходов (рис. 2), что в процентном соотношении составляет 25,13 % от количества ВКД на МКС. При этом общая суммарная продолжительность ВКД из РС МКС составляла 258,86 ч, а средняя продолжительность одного выхода в космос – 5,28 ч.

На рис. 3 показано количество выходов по годам полета для российского и американского сегментов и МКС в целом. Кривая демонстрирует динамику количества выходов из МКС нарастающим итогом. Видно, что максимальные значения этой величины (от 17 до 23 выходов в ОК в год) приходились на 2001–2002 и 2006–2010 годы, когда на комплексе осуществлялись наиболее интенсивные работы по его сборке и дооснащению. В период 2001–2002 гг. к наиболее трудоемким задачам ВКД относились такие, как развертывание и дооснащение секций ферменной конструкции Р1, установка внешней платформы ESP-1 на АС, прокладка и подключение электрических и информационных кабелей между модулями МКС, монтаж грузовых стрел типа ГСтМ, установка противометеороидных панелей. При этом основная доля ВКД приходилась на АС. При осуществлении этих задач из АС было выполнено 27 выходов в ОК, из РС – 9.

Рис. 1. Количество ВКД из АС МКС

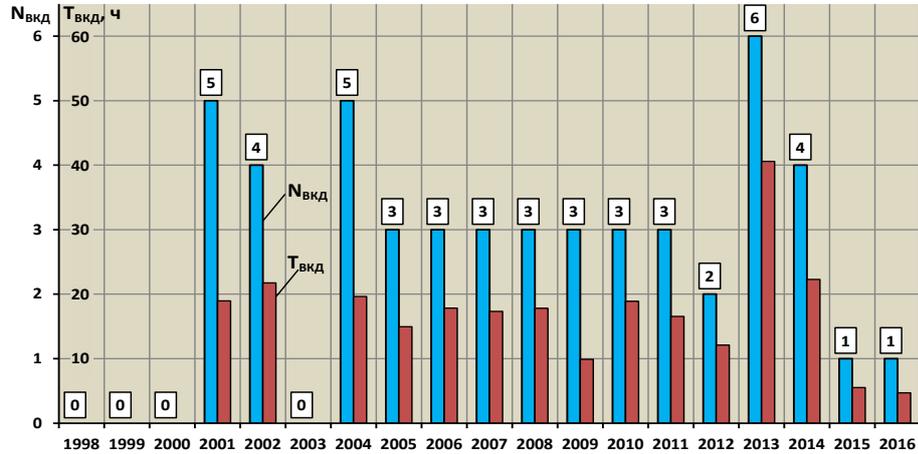


Рис. 2. Количество и длительность ВКД для РС МКС по годам полета (1998–окт. 2016 гг.)

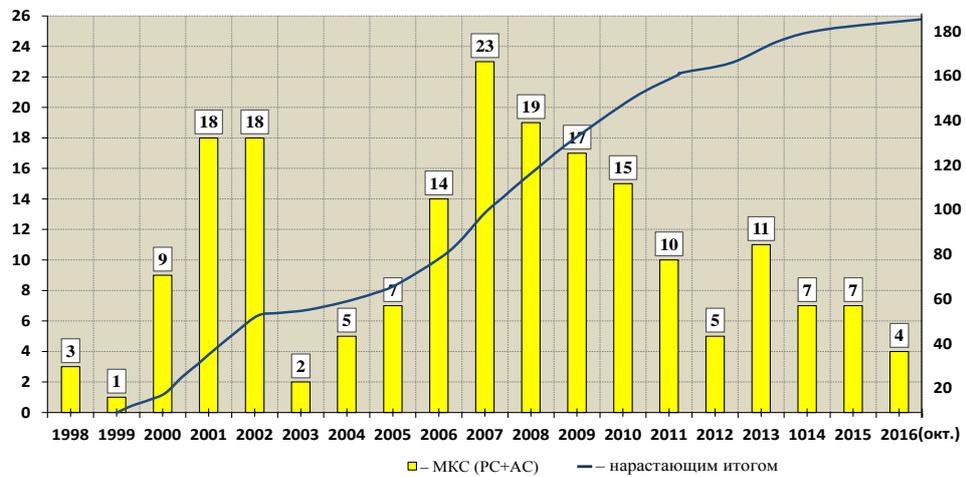


Рис. 3. Суммарное количество ВКД из МКС

### Характеристика задач ВКД на МКС

Период 2006–2010 гг. характеризовался следующими основными задачами ВКД: продолжение дооснащения секций ферменной конструкции, техническое обслуживание манипуляторов SSRMS и Dextre, прокладка и подключение кабелей системы «Курс», ремонтные работы и развертывание оборудования для космических экспериментов (КЭ) на внешней поверхности МКС и др. За указанное время из АС было осуществлено 73 выхода в ОК, из РС – 15. Максимальное количество ВКД в год для АС оценивается величиной 20, а для РС – 6. Упомянутые шесть выходов из РС были выполнены в 2013 году в интересах выполнения КЭ и раз-

личных монтажно-демонтажных и ремонтных работ. При этом космонавты О.В. Котов и С.Н. Рязанский осуществили самый длительный (8 ч 07 мин) выход в российских скафандрах.

В среднем на МКС ВКД осуществляется через каждые 0,98 месяца полета комплекса. Для АС и РС эти значения составляют соответственно 1,32 и 3,92 месяца.

Структура задач внекорабельной деятельности на РС МКС была схожей со структурой работ космонавтов в ОК на российских орбитальных станциях (ОС) типа «Салют-6», «Салют-7», «Мир». На оснащение и обслуживание отечественных орбитальных комплексов приходилось 49 % задач ВКД, на научные программы – 29 %, на ремонтно-восстановительные работы (РВР) и ликвидацию нештатных ситуаций (НшС) около 22 % [1]. Для РС МКС эти величины составляют соответственно 49,85; 34,54; и 12,86 %, при этом около 1,75 % работ приходилось на иные задачи. Как видим, при практическом совпадении объемов задач на оснащение и обслуживание, число научных задач на РС МКС было больше на 5,5 %, чем ранее, а число РВР почти на 10 % меньше, что говорит об определенном повышении эффективности системы ВКД на РС МКС.

Рассмотрим более детально структуру ВКД на МКС в целом и на составляющих ее сегментах – РС и АС. На рис. 4. показано соотношение задач ВКД для РС и АС по семи различным группам за период 1998–2016 гг. Наибольшее число задач (58,33 %) было связано со сборкой и дооснащением АС МКС. Для РС МКС оно также достаточно велико и имеет значение 30,92 %.

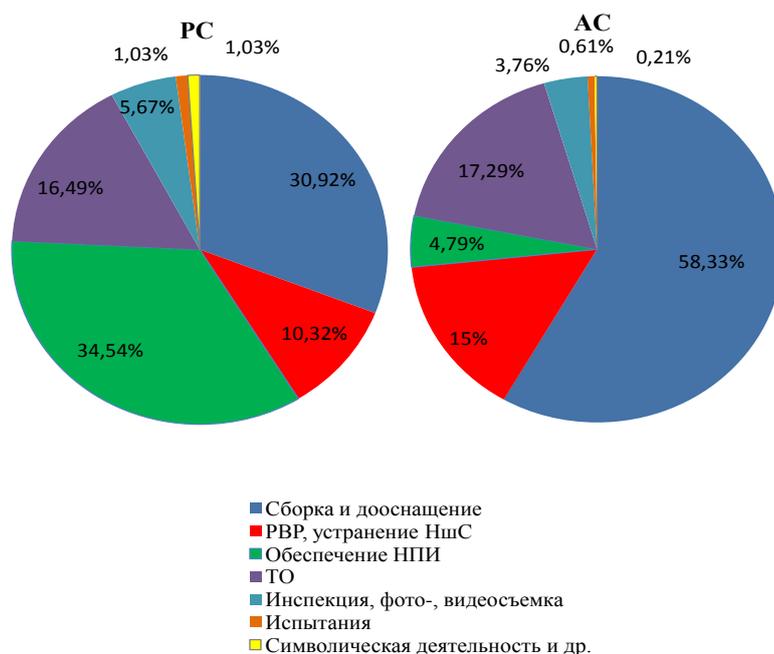


Рис. 4. Структура задач ВКД на РС и АС МКС

По окончании основных работ по сборке и дооснащению МКС (после 2010 г.) объем задач ВКД данной группы значительно сократился. Так, на периоды 2000–2002 гг., 2006–2010 гг. на АС МКС приходилось соответственно 44,4 и 45,9 % задач этой группы, а на период 2011–2016 гг. всего 7,8 %.

Из числа обеспечивающих задач ВКД следует отметить задачи по техническому обслуживанию (ТО) МКС. Для АС и РС МКС их доли в общем объеме ВКД близки и составляют соответственно 17,29 % и 16,49 %. На обеспечение программы научных работ на АС приходилось 4,79 % задач, на РС МКС – 34,54 %.

Для «стационарного» участка полета МКС, когда ее сборка была в основном завершена (после 14.01.2010 г.), определены некоторые типовые характеристики ВКД для РС МКС: средняя продолжительность одного выхода в ОК составляла 6,3 ч; средние трудозатраты на проведение одного выхода в ОК (с учетом подготовительно-заключительных операций) равнялись 101 ч; суммарная доля трудозатрат космонавтов на ВКД от располагаемого (рабочего) времени за экспедицию составляла около 13 %.

### Статистические характеристики длительностей выходов и промежутков времени между ВКД

Анализ длительности выходов экипажей в ОК показывает, что данная величина является случайной, поскольку зависит от множества факторов (число и характер задач, планируемых для ВКД, подготовленность экипажа, время суток, число и характер возникающих при ВКД НшС и др.). Известно, что наилучшей характеристикой случайной величины является ее функция распределения [4]. На рис. 5 представлена гистограмма распределения длительностей  $\tau_{\text{вкд}}$  выходов в ОК экипажей МКС в период 1998–2016 (октябрь). Статистическая плотность распределения времени  $\tau_{\text{вкд}}$  показана в виде нормированного полигона распределения а кривая характеризует огибающую гистограммы.

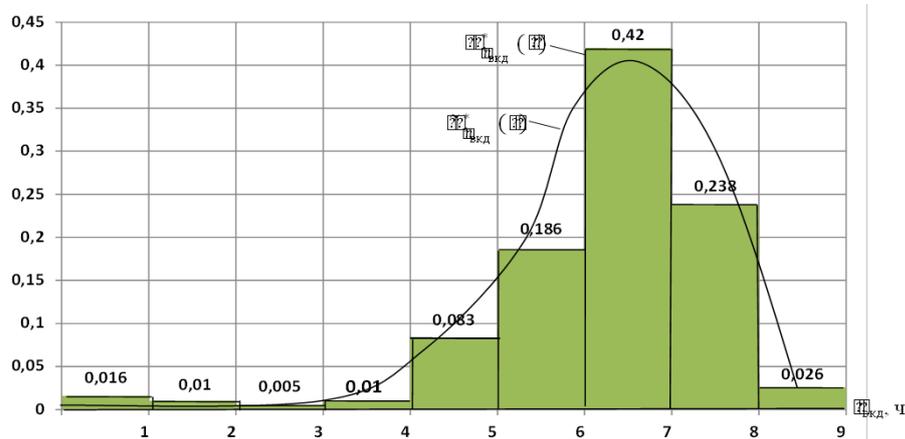


Рис. 5. Гистограмма распределения длительностей ВКД на МКС (1998–2016 гг.)

Приближенную статистическую функцию распределения случайной величины  $\tau_{\text{вкд}}$  можно построить путем интегрирования функции исходя из того, что

$$= \dots \quad (1)$$

Статистическую (выборочную) функцию распределения можно построить, используя экспериментально полученный интервальный ряд величины  $\tau_{\text{вкд}}$  (рис. 6).

Ее теоретическое описание является, по сути, законом распределения длительностей  $\tau_{\text{вкд}}$  нахождения космонавтов и астронавтов в ОК. Иными словами,

$$\approx \dots \quad (2)$$

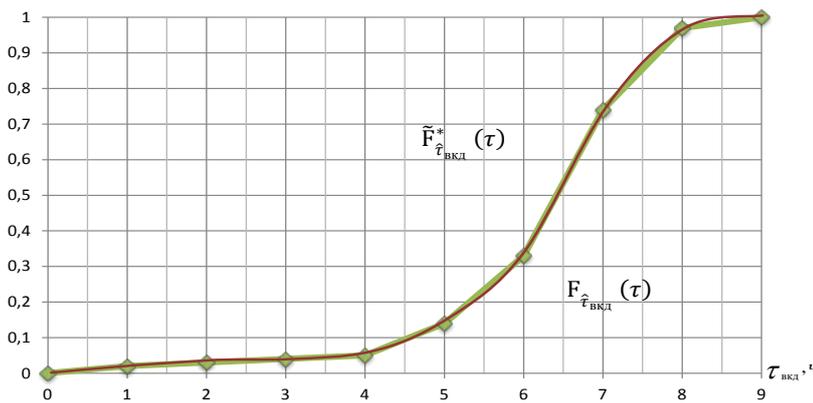


Рис. 6. Функция распределения длительностей ВКД на МКС

По характеру кривых и (рис. 5, 6) видно, что [5] лучше всего для описания полученного распределения (плотность при , далее возрастает до достижения своей моды и убывает после) подходит двухпараметрический закон Вейбулла:

$$\approx \dots \quad (3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент масштаба ( $\lambda > 0$ ),  
 $k > 1$  – коэффициент формы ( $k = 1, 1.4$ ).

Из гистограммы следует также, что на ВКД длительностью от 5 ч до 8 ч приходилось до 87 % выходов в ОК.

На рис. 7 показана гистограмма длительностей времени  $\tau_{\text{пр}}$  между ВКД (время от окончания предшествующего выхода в ОК до начала следующего) за тот же период полета МКС.

Аналогично предыдущему здесь статистическая плотность распределения времени  $\tau_{\text{пр}}$  представлена нормированным полигоном , а огибающая гистограммы функцией .

В имитационных моделях удобнее использовать описание  $\tau_{пр}$  в виде функции распределения. На рис. 8 приведена статистическая функция распределения этой величины, построенная по экспериментальным данным, полученным по результатам ВКД на МКС. Зависимость  $F_{\tau_{пр}}^*$  является ее огибающей. Теоретическим описанием этой функции согласно [5] может быть экспоненциальное распределение (или Вейбулла, вырождающееся в экспоненциальное при равенстве 1 обоих его коэффициентов):

$$F_{\tau_{пр}}^* = \dots \quad (4)$$

при  $\lambda > 0$ .

Полученные характеристики могут быть использованы в имитационных математических моделях при исследованиях ВКД экипажей существующих и перспективных пилотируемых космических комплексов (ПКК).

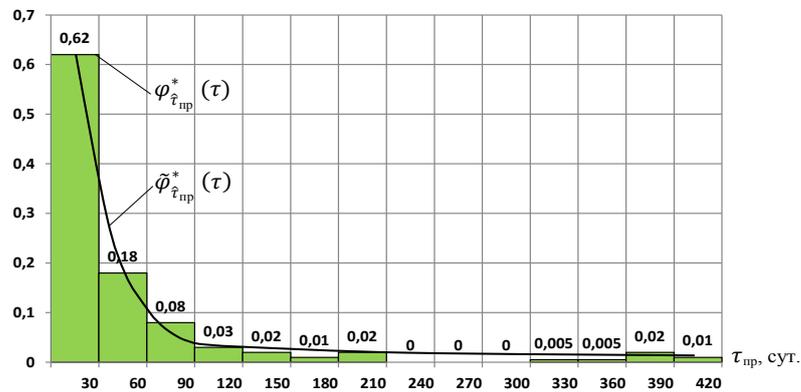


Рис. 7. Гистограмма распределения длительностей времени между ВКД на МКС

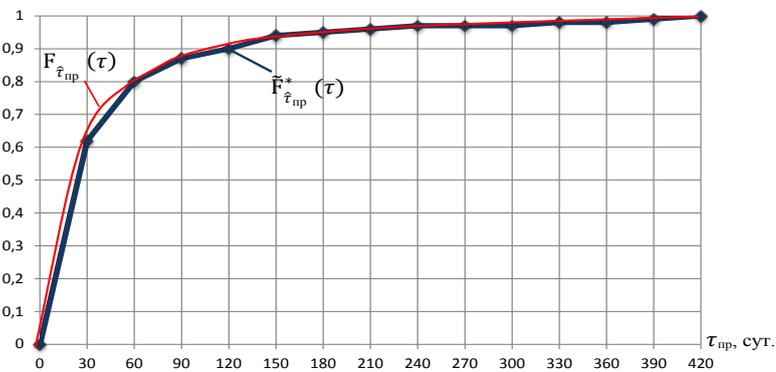


Рис. 8. Функция распределения промежутков времени между ВКД

### Показатели, характеризующие резерв времени экипажа и оперативность повторного выхода в ОК

Представляет интерес оценивание готовности экипажа к повторному выходу в ОК в рамках одной и той же экспедиции. Данная характеристика особенно важна при планировании работ на ПКК с большим объемом монтажно-сборочных операций, при организации серии форсированных ВКД для ликвидации аварийных ситуаций на внешней поверхности ПКК или при осуществлении коротких миссий с большой частотой ВКД, как, например, при выходах на поверхность Луны в программе «Аполлон» или обслуживании телескопа «Хаббл».

Введем понятие «*оперативности повторного выхода в ОК*», которую будем оценивать временем от окончания предыдущего выхода данного экипажа в ОК до начала следующего.

При численности экипажа на борту ПКК более трех человек возможно несколько схем осуществления повторных выходов в ОК: тем же экипажем, с частичной заменой в экипаже выхода и полной заменой экипажа, выполняющего выход. Разные схемы повторных выходов использовались как в программе МКС, так и в других программах полетов. При ВКД на МКС было выполнено 67 повторных выходов тем же составом экипажа выхода, с заменой одного участника ВКД – 35 повторных выходов.

Для МКС время находилось в пределах 39 ч 03 мин–50 ч 26 мин. Оперативность ВКД при полной замене экипажа в рамках данной экспедиции существенно повышалась и оценивалась диапазоном величин 16 ч 19 мин–40 ч 10 мин. Для сравнения приведем значение для повторных выходов в программе «Аполлон». В 1969–1972 гг. астронавтами было выполнено в рамках 5 экспедиций (№ 12, 14, 15, 16, 17) на Луну 8 повторных выходов. Время при этом было в диапазоне 12 ч 25 мин–15 ч 02 мин.

В общем случае время можно представить в следующем виде:

$$= \quad , \quad (5)$$

– время на заключительные операции после предшествующего выхода экипажа в ОК (включает обратное шлюзование и выход из скафандров, медконтроль, приведение в исходное состояние использованного оборудования и шлюзового отсека, сушку и техническое обслуживание скафандров, отчет-доклад ЦУПу о выполненной ВКД);

– время согласно режиму труда и отдыха (РТО) на отдых космонавтов после выхода в ОК (как правило, предусматривает сон в течение 8–8,5 ч, приемы пищи, личную гигиену);

– время на подготовительные операции к следующему выходу (включает уточнение предстоящих процедур ВКД, подготовку оборудования, скафандров и шлюзового отсека, надевание и проверку скафандров, десатурацию, прямое шлюзование).

Снижение возможно, в основном, за счет сокращения объемов подготовительно-заключительных операций, на которые может уходить до 40 % суточного времени космонавтов. Наиболее существенное повышение оперативной готовности экипажа к выходу в ОК возможно при наличии на борту ПКК не менее четырех космонавтов, готовых к ВКД (за счет, например, смещения РТО для экипажа повторного выхода).

### Частота выполнения ВКД в различное время суток

Известно, что на этапах подготовки и проведения ВКД в полете РТО экипажа отличается от обычного, что определяется длительностью и неразрывностью циклограммы работ, выполняемых в различное время суток. Любые эпизоды ночной работы связаны со снижением функциональных возможностей организма и сопровождаются повышенной вероятностью ошибочных действий космонавтов.

Данные о частоте выполнения ВКД в различное время суток для ОС «Мир» представлены в [2]. Они показывают, что для данной станции на дневное время (10:00–18:00 ч) приходилось 42,2 % выходов в ОК, на вечернее (18:00–23:00 ч) – 20,6 %, на ночное (23:00–06:00 ч) – 19 %, на утреннее (06:00–10:00 ч) – 17,2 %.

Сопоставление частоты выполнения ВКД в различное время суток для ОС «Мир», РС МКС и МКС в целом показывает, что для всех трех случаев эти характеристики близки, причем тенденция их изменения от ВКД, осуществляемой в дневное время, к вечернему, ночному и утреннему также сохраняется (рис. 9). В то же время отметим, что и на РС МКС и на МКС в целом объем ночных выходов в ОК был меньше, чем на комплексе «Мир» на 35–40 %.

Данные результаты должны учитываться и при формировании перспективных программ пилотируемых полетов. При планировании ВКД на Луне [3] дополнительно следует принимать во внимание также то, что длительность лунной ночи значительно больше земной (лунный день длится около 354 ч, столько же и лунная ночь).

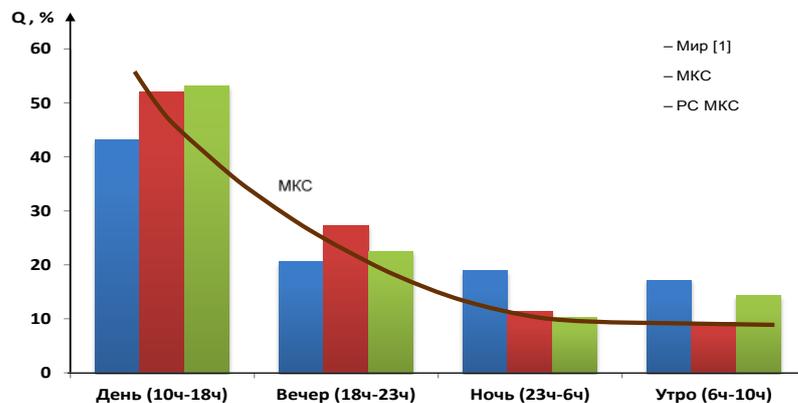


Рис. 9. Частота выполнения ВКД в различное время суток

### Транспортировка грузов

Транспортировка грузов при ВКД осуществлялась вручную и с помощью специальных механизмов. Поскольку Роскосмосом и НАСА согласованы максимальные ограничения к транспортируемым грузам одним человеком [7], объекты массой 9–23 кг, объемом 0,057–0,142 м<sup>3</sup> и размером до 1,5 м перемещались руками с использованием фалов или жесткой привязи. В иных случаях (объекты массой 23–340 кг, объемами 0,142–2,832 м<sup>3</sup>, размером до 2,4 м) применялись манипуляторы, тележки и грузовые стрелы.

Для транспортировки грузов больших массы и габаритов использовались манипуляционный робот SSRMS, мобильный транспортер МТ и робот SPDM.

Роботы SSRMS и SPDM перемещают грузы массой до 116 т и 600 кг соответственно. Мобильный транспортер MT применялся для перемещения SSRMS, SPDM, доставленных грузов и операторов. Японский робототехнический комплекс JEMRMS переносит своей основной рукой грузы до 700 кг, малой – от 80 до 300 кг [8].

На РС МКС до настоящего времени для переноса грузов большой массы использовался неавтоматизированный комплекс типа «грузовая стрела» (установлена в мае 2000 года). С 2017 года после выведения многоцелевого лабораторного модуля (МЛМ) подобные задачи будет решать космический манипулятор ERA, способный перемещать грузы массой до 8 т.

Российскими космонавтами вынесено на внешнюю поверхность комплекса более 30 типов научной аппаратуры (НА). При этом на аппаратуру массой более 100 кг приходилось всего 7 % оборудования. Большая часть научных приборов (73 %) имела массу до 40 кг [6]. Средние габариты НА составляли 779 x 470 x 362 мм, а среднее расстояние ее перемещения – около 9 м.

### **Скафандры, используемые при ВКД**

В процессе развертывания и эксплуатации РС МКС проводилась модификация конструкции скафандров для ВКД. В период с 2001 по март 2009 года выходы из МКС совершались в скафандрах типа «Орлан-М», применявшихся еще на ОС «Мир». С июня 2009 года и по настоящее время используется скафандр типа «Орлан-МК» (модернизированный, компьютеризированный). В нем дублированы все основные системы: кислородные баллоны, вентиляторы, насосы, регуляторы давления, гермооболочки рук и ног, радиопередатчики и др. [9]. В декабре 2016 года планируется доставка на МКС нового скафандра «Орлан-МКС» (модернизированный, компьютеризированный, синтетический). На данной модификации скафандра установлена автоматическая система терморегулирования, а также заменены резиновые гермооболочки скафандра на полиуретановые, система отображения информации оснащена высококонтрастным дисплеем на пульте скафандра. Использование полиуретана вместо резины позволит увеличить срок службы скафандров на орбите с 15 выходов в открытый космос до 20. Все модификации скафандра «Орлан-М» позволяют космонавту самостоятельно облачаться в скафандр.

Российские космонавты также совершали отдельные выходы в американских скафандрах EMU. Отечественные скафандры по сравнению с американским скафандром EMU имеют меньшую массу, один типоразмер, больший ресурс работы [10].

### **Новые задачи ВКД в связи с развитием РС МКС**

Федеральная космическая программа России предусматривает в ближайшие годы наращивание РС МКС новыми российскими модулями. Запуск МЛМ «Наука» планируется в 2017 году, узлового модуля (УМ) «Причал» – в 2018 году, научно-энергетического (НЭМ) – в 2019 году.

В связи с этим возникают новые задачи ВКД, которые будут связаны в основном с обеспечением интеграции новых модулей в состав РС МКС (прокладка и подключение различных кабелей, установка блоков научной аппаратуры, дооснащение модулей, монтаж поручней и др.). Для их более эффективной реализации на МЛМ будет использоваться манипулятор ERA.

Ниже перечислены основные задачи ВКД по интеграции указанных модулей в состав РС МКС.

*Задачи по интеграции МЛМ в состав РС МКС:*

- подготовка СО-1 к стыковке;
- монтаж перекидных поручней;
- подключение к МЛМ кабелей систем энергоснабжения и Ethernet от АС МКС;
- соединение интерфейсов МЛМ-СМ;
- дооснащение МЛМ;
- использование шлюзовой камеры при проведении ВКД;
- установка адаптеров грузовой стрелы и манипулятора ERA;
- инициализация манипулятора ERA.

*Задачи по интеграции УМ в состав РС МКС:*

- установка жестких поручней-переходов от МЛМ к УМ;
- монтаж межмодульных кабелей для подключения аппаратуры;
- перестановка внешней телевизионной камеры;
- установка мишени контроля стыковки, внешнего конуса;
- демонтаж различного оборудования на РС МКС.

*Задачи по интеграции НЭМ в состав РС МКС:*

- перестановка поручней-переходов;
- прокладка силовых кабелей от НЭМ к МЛМ и СМ и их подключение;
- прокладка кабелей информационной сети между модулями.

### **Задачи ВКД при формировании комплекса РОС**

По завершении функционирования МКС планируется отстыковка от РС МКС связи, состоящей из модулей МЛМ, УМ, НЭМ, и создание на ее основе новой Российской орбитальной станции (РОС). Уже на первом этапе развертывания РОС предполагается выполнение ряда работ на внешней поверхности комплекса. В числе основных задач ВКД на этом этапе в частности будут:

- подготовка к отстыковке РОС от МКС (расстыковка интерфейсов систем энергоснабжения, радиотехнических систем и др.);
- перенос уникального оборудования и научной аппаратуры с модулей РС МКС на НЭМ;
- замена блоков бортовых систем, выработавших свой ресурс;
- установка блоков научной аппаратуры и (или) сопровождение установки с использованием шлюзовой камеры и манипулятора ERA;
- выполнение различных задач в интересах интеграции новых модулей в состав РОС.

### **Выводы**

1. Выполнен анализ внекорабельной деятельности экипажей МКС за весь период сборки и эксплуатации станции – с декабря 1998 года по октябрь 2016 года. За указанное время экипажами в ходе 195 выходов в открытый космос было решено 560 различных задач. Для обоих сегментов наибольшее число задач ВКД было связано со сборкой и дооснащением комплекса – 58,33 % для АС МКС и 30,92 % для РС МКС.

2. Оценена частота выходов в ОК в различное время суток для МКС в целом и РС МКС. Сопоставление полученных данных по ВКД с аналогичными материа-

лами по орбитальной станции «Мир» показывает, что объем ночных выходов в ОК был на МКС на 35–40 % меньше.

3. Оценены возможности экипажей МКС по повторному выходу в ОК в рамках одной и той же экспедиции. Рассмотрены пути повышения оперативности ВКД экипажей МКС.

4. Исследованы статистические характеристики ВКД, в том числе функции распределения длительностей ВКД и промежутков времени между выходами в открытый космос.

5. Определены основные задачи ВКД, которые будут решаться в ближайшей перспективе при дооснащении РС МКС новыми модулями и при создании новой Российской орбитальной станции.

Полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы при организации дальнейших работ по ВКД на МКС, а также перспективных ПКК.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цыганков О.С. 50 лет трудовой деятельности в открытом космосе // Материалы 50-х научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга, 2015. – С. 28–35.
- [2] Медицинское обеспечение ВКД / Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Гноевая Н.К., Тарасенков Г.Г., Барер А.С. // Космическая биология и медицина. В 2-х томах. – Т. 1. Медицинское обеспечение полетов. – ИМБП РАН, 2001. – С. 482–499.
- [3] Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий / Крючков Б.И., Усов В.М., Ярополов В.И., Сосюрка Ю.Б., Троицкий С.С., Долгов П.П. // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 2 (19). – С. 35–57.
- [4] Статистические методы обработки результатов наблюдений / Юсупов Р.М., Петухов Г.Б., Сидоров В.Н. и др. – МО СССР, 1984. – 563 с.
- [5] Сборник задач по теории надежности / Половко А.М., Маликов И.М., Жигарев А.Н., Зарудный В.И. – Советское радио, 1972. – 408 с.
- [6] Статистический анализ массогабаритных характеристик научной аппаратуры, устанавливаемой при ВКД / Иродов Е.Ю., Долгов П.П., Коренной В.С. // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 4 (17). – С. 48–55.
- [7] SSP 41163G. Спецификация российского сегмента. Программа Международной космической станции. Версия G. НАСА-РКА. 9 октября 1999 г.
- [8] Космические робототехнические комплексы на МКС / Кондратенко М.В., Титов К.А., Салаев А.М. // Пилотируемые полеты в космос. – 2014. – № 3 (12). – С. 80–91.
- [9] Алексеев А.В., Глазов Г.М. Скафандры для внекорабельной деятельности (к 50-летию первого выхода человека в открытый космос) // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 1 (14). – С. 49–64.
- [10] История космонавтики. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sovkos.ru/cosmos-articles/skafandr-orlan.html> (Дата обращения: 02.11.2016).

УДК 004.896

**ВАРИАНТ СОСТАВА  
И СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ БАЗОВОГО БЛОКА  
АВТОНОМНОГО АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА  
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В.Г. Сорокин

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

На основе анализа состава существующих базовых блоков антропоморфных роботов космического назначения синтезируется вариант состава и структурной схемы базового блока автономного антропоморфного робота космического назначения.

**Ключевые слова:** автономный антропоморфный робот, базовый блок, внутрикорабельная деятельность, космонавты, модули, процесс, состав, структурная схема, функционирование.

**An Option Configuration and Structural Scheme of the Base Unit of the Stand-Alone Humanoid Space Robot. V.G. Sorokin**

An option configuration and structural scheme of the base unit of the stand-alone humanoid space robot were synthesized on basis of an analysis of basic blocks of existing humanoid robots for space purposes.

**Keywords:** stand-alone, base unit, intravehicular activity, cosmonauts, modules, process, configuration, structural scheme, functioning..

**Введение**

Нормативные акты, принятые руководством страны, а именно – «Основы политики РФ в области космической деятельности на период до 2020 года и дальнейшую перспективу», «Концепция развития робототехнических систем для решения задач в области обеспечения космической деятельности и исследования объектов солнечной системы на период до 2040 года», «Система взглядов на осуществление Россией независимой космической деятельности со своей территории во всем спектре решаемых задач на перспективу до 2040 года» определяют среднесрочную и долгосрочную перспективы развития отечественной космонавтики. Эти документы обязывают отечественную космическую отрасль перейти к осуществлению новых амбициозных проектов в космической сфере, в том числе – и к широкомасштабному развитию робототехники космического назначения.

Среди различных направлений робототехники особое место принадлежит разработке автономных антропоморфных роботов космического назначения, способных взаимодействовать с космонавтами в качестве помощника экипажа в длительных межпланетных полетах.

Эти роботы должны обладать функциональными возможностями решать любые задачи в рамках специально созданного для каждого из них программного сценария. Для обеспечения возможностей решения задач в рамках программного сценария робот должен иметь развитый машинный интеллект, для чего необходимо создать соответствующую функциональную архитектуру, одним из элементов которой является базовый блок автономного антропоморфного робота космического назначения. Вместе с тем, именно технический уровень базового блока определяет функциональные возможности этого робота.

### Существующие составные варианты базовых блоков антропоморфных роботов космического назначения

Базовый блок предназначен для управления антропоморфным роботом космического назначения (АР КН) на основе функционирования взаимодействующих модулей.

Необходимо отметить, что первоначальный вариант АР КН – прообраза робота-помощника экипажей (SAR-400 (401), разработанного НПО «Андроидная техника») – является торсовым и не имеет базового блока. Вместо базового блока в его структуре используется набор различных взаимодействующих модулей (рис. 1): управляемый исполнительный комплекс; модуль информационной поддержки; модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства; модуль контроля физического и эмоционального состояния космонавта; модуль оперативной и глобальной связи [1, 2, 3, 6].

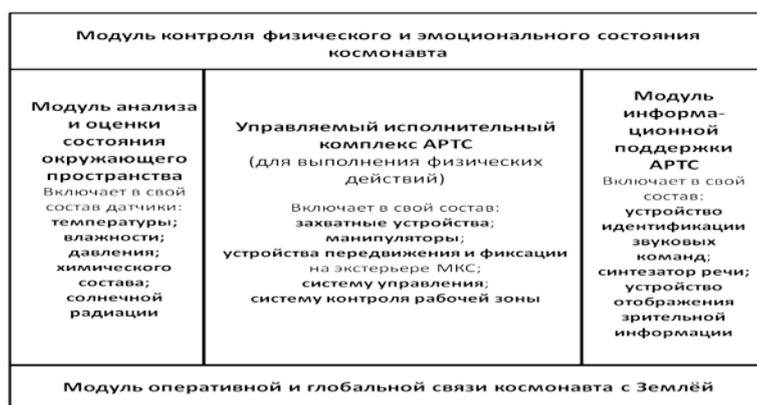


Рис. 1. Набор взаимодействующих модулей АР КН SAR-400 (401)

*Управляемый исполнительный комплекс* предназначен для выполнения физических действий с объектами внутри и вне МКС, представляет собой совокупность механической части, систем управления и контроля.

*Модуль информационной поддержки* предназначен для представления космонавту необходимой визуальной и звуковой информации.

*Модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства* предназначен для ведения непрерывного мониторинга состояния окружающего пространства с целью оперативного информирования космонавта об основных параметрах внешней среды и динамики их изменения.

*Модуль контроля физического и эмоционального состояния космонавта* предназначен для оценки физического и эмоционального состояния космонавта на основе анализа физиологических параметров: температуры, выделения пота, частоты и полноты дыхания, изменения состояния зрачка.

*Модуль оперативной и глобальной связи* предназначен для обеспечения связи космонавта с МКС и с Землей.

Анализ набора взаимодействующих модулей структуры АР SAR-400 (401) по предназначению каждого из них показывает, что этот робот не обладает техническим зрением, поэтому использование его при внутрикорабельной деятельности (ВнуКД) и внекорабельной деятельности (ВнеКД) нецелесообразно.

Кроме того, результаты экспериментальных исследований АР SAR-400 (401), выполненных в научно-исследовательском испытательном Центре подготовки космонавтов (НИИ ЦПК), показали, что для совершенствования АР поддержания ВнуКД и ВнеКД космонавтов целесообразно оснащение его базовым блоком, обеспечивающим возможность использования робота в автоматическом и в интерактивном копирующем режимах под управлением оператора ЦУПа или космонавта с борта пилотируемого космического комплекса (ПКК) [2, 3, 6].

Состав взаимодействующих модулей базового блока мобильного АР КН, способного функционировать в автоматическом и интерактивном копирующем режимах, показан на рис. 2 [2, 6].



Рис. 2. Состав взаимодействующих модулей базового блока мобильного АР КН, способного функционировать в автоматическом и интерактивном копирующем режимах

Базовый блок мобильного АР КН, способного функционировать в автоматическом и интерактивном копирующем режимах, включает [2]: блок управления; модуль визуализации; модуль ориентации телекамер; модуль информационной поддержки; модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства; модуль трехосной системы ориентации и стабилизации; модуль линейного движения; модуль связи; зарядное устройство; аккумуляторную батарею (предназначение этих модулей показано ниже).

Автором данной статьи был разработан вариант состава базового блока антропоморфной робототехнической системы (АРТС) для поддержания ВнуКД [2]. Этот вариант базового блока оснащен набором взаимодействующих модулей, обеспечивающих функционирование робота в автоматическом режиме, с обеспечением способности АРТС самостоятельно передвигаться внутри модулей ПКК [2, 6].

Состав взаимодействующих модулей базового блока АРТС для поддержания ВнуКД показан на рис. 3 [2].

Базовый блок блока АРТС для поддержания ВнуКД включает: набор программных сценариев; набор полетных операций (ПО); набор базовых элементов полетных операций (БЭПО) [7]; набор элементов полетных операций (ЭПО) [7]; библиотеку движений ЭПО; модуль формирования совокупности механических действий; модуль интеллектуального сопровождения выполнения ЭПО; управляемый исполнительный комплекс АРТС; модуль технического зрения; модуль

	Набор программных сценариев	
	Набор полётных операций	
	Набор базовых элементов полётных операций	
	Набор элементов полётных операций	
	Библиотека движений элементов полётных операций	
	Модуль формирования совокупности механических действий	
<b>Модуль интеллектуального сопровождения выполнения ЭПО</b> Опознавание; машинное восприятие; объективизация; предметность; детальность; реальность; предметно-детальная избирательность; предметное наблюдение; предметно-детальное внимание; представление детали, предмета, процесса; машинная логика; аксиомизация; теоризация; машинное абстрагирование; машинное сравнение (процессуальное, предметное, детальное и т.д.); машинное обобщение	<b>Управляемый исполнительный комплекс АРТС</b> (для выполнения физических действий)  Включает в свой состав: <b>захватные устройства;</b> <b>манипуляторы;</b> <b>устройства передвижения и фиксации на рабочей поверхности;</b> <b>систему управления;</b> <b>систему контроля рабочей зоны</b>	Модуль технического зрения
		Модуль информационной поддержки
		Модуль обеспечения подвижности
		Модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства
Модуль, контролирующий действия	Модуль информационно-речевой	Модуль, контролирующий действия в аварийных ситуациях

Рис. 3. Состав взаимодействующих модулей базового блока АРТС для поддержания ВнукД

информационной поддержки; модуль обеспечения подвижности; модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства; модуль, контролирующий действия; модуль информационно-речевой; модуль, контролирующий действия в аварийных ситуациях [2].

### Вариант состава базового блока автономного антропоморфного робота космического назначения

Рассмотрение состава взаимодействующих модулей базовых блоков, показанных на рис. 2 и 3, с использованием метода анализа и синтеза позволило сформировать состав базового блока автономного АР КН (рис. 4).

Этот состав взаимодействующих модулей и блоков обеспечивает функционирование АР КН в автономном (полностью автоматическом) режиме с возможностью робота самостоятельно передвигаться внутри модулей ПКК и занимать рабочее место.

Базовый блок автономного АР КН обеспечивает построение программного сценария решения задачи, формирование совокупности ПО, БЭПО, ЭПО, действий, движений, траекторий и процессов, с обеспечением манипуляций набором объектов действий, воздействий и инструментов. Кроме того, обеспечивается ориентация робота, его безопасное передвижение в интерьере ПКК по оптимальному маршруту, занятие рабочего пространства и закрепление на рабочем месте. Выполнение полетных операций поддерживается интеллектуальным сопровождением, обеспечивающим создание управляющих воздействий, приводящих к достижению функциональных состояний АР КН, реализующих выполнение конкретного программного сценария.

Базовый блок автономного АР КН предусматривает следующий состав: анализатор набора программных сценариев; анализатор набора ПО; анализатор набо-

ра БЭПО; анализатор набора ЭПО; анализатор набора сложных действий; анализатор набора простых действий; анализатор набора движений; анализатор набора траекторий; библиотеку движений и траекторий; синтезатор совокупности движений и траекторий; модуль формирования процессов деятельности; блок управления; модуль ориентации телекамер; модуль связи; модуль информационной поддержки; модуль визуализации; модуль контроля движений и траекторий; библиотеку электронных карт; модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства; модуль трехосной системы ориентации и стабилизации; модуль линейного движения; модуль контроля занятия рабочего места; модуль технического зрения; блок интеллектуального сопровождения выполнения ПО; синтезатор совокупности процессов использования объектов действий, воздействий и инструментов; зарядное устройство; аккумуляторную батарею.

Анализатор набора программных сценариев	Модуль технического зрения	Модуль психологической поддержки
Анализатор набора полётных операций	Модуль ориентации телекамер	Модуль информационной поддержки
Анализатор набора базовых элементов полётных операций	Блок интеллектуального сопровождения выполнения полётных операций	Библиотека электронных карт
Анализатор набора элементов полётных операций	Модуль формирования процессов деятельности	Модуль линейного движения
Анализатор набора сложных действий	Блок управления	Модуль контроля движений и траекторий
Анализатор набора простых действий	Модуль трёхосной системы ориентации и стабилизации	Модуль контроля занятия рабочего пространства
Анализатор набора движений	Модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства	Модуль связи
Анализатор набора траекторий	Синтезатор совокупности движений и траекторий	Синтезатор совокупности команд на выполнение процессов конкретной полётной операции
Библиотека движений и траекторий	Модуль визуализации	
Аккумуляторная батарея		Зарядное устройство

Рис. 4. Состав базового блока автономного АР КН

*Анализатор набора программных сценариев* (АНПС) – предназначен для выбора требуемого (поставленного задачей) программного сценария, состоящего из совокупности полетных операций, которые могут быть возложены на АР КН, и передачи этой информации в анализатор набора ПО.

*Анализатор набора полетных операций* (АНПО) – предназначен для выбора совокупности алгоритмов полетных операций, выданных АНПС, и передачи этой информации в анализатор набора БЭПО.

*Анализатор набора базовых элементов полетных операций* (АНБЭПО) – предназначен для выбора алгоритмов комплекта БЭПО, логичная совокупность которых обеспечивает выполнение всего набора ПО, выданных АНПО, и передачи этой информации в анализатор набора ЭПО.

*Анализатор набора элементов полетных операций* (АНЭПО) – предназначен для выбора алгоритмов комплекта ЭПО, логичная совокупность которых обеспечивает выполнение всего набора БЭПО, выданных АНБЭПО, и передачи этой информации в анализатор набора сложных действий.

*Анализатор набора сложных действий* (АНСлДс) – предназначен для выбора алгоритмов комплекта сложных действий, логичная совокупность которых обеспечивает выполнение всего набора ЭПО, выданных АНЭПО, и передачи этой информации в анализатор набора простых действий.

*Анализатор набора простых действий* (АНПрДс) – предназначен для выбора алгоритмов комплекта простых действий, логичная совокупность которых обеспечивает выполнение всего набора сложных действий, выданных АНСлДс, и передачи этой информации в анализатор набора движений и анализатор набора траекторий.

*Анализатор набора движений* (АНДв) – предназначен для выбора комплекта движений, логичная совокупность которых в комплексе с набором траекторий обеспечивает выполнение всего набора простых действий, выданных АНПрДс, и передачи этой информации в библиотеку движений и траекторий.

*Анализатор набора траекторий* (АНТр) – предназначен для выбора комплекта траекторий, логичная совокупность которых в комплексе с набором движений обеспечивает выполнение всего набора простых действий, выданных АНПрДс, и передачи этой информации в библиотеку движений и траекторий.

*Библиотека движений и траекторий* (БлДвТр) – предназначена для последовательного выбора взаимосвязанных движений и траекторий из комплекта фиксированных состояний АР КН в пространстве и времени с набором процессов перехода из одного состояния в другое, с последовательным применением к каждому из ПрДс, СлДс, ЭПО, БЭПО, ПО сценарию, и передачи этой информации в синтезатор совокупности движений и траекторий.

*Синтезатор совокупности движений и траекторий* (ССДвТр) – предназначен для объединения логического множества движений и траекторий «головой», корпусом и манипуляторами АР КН в единое целое, обеспечения последовательного выполнения сценарных ПрДс, СлДс, ЭПО, БЭПО, ПО и передачи этой информации в модуль формирования процессов деятельности и в модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства.

*Модуль формирования процессов деятельности* (МФПД) – предназначен для компоновки и выдачи команд в блок управления на осуществление логического множества движений и траекторий в комплексе с совокупностью процессов использования объектов действий (ОД), объектов воздействий (ОВ) и набора инструментов (НИ), объединенных общей связью, выражающейся в последовательном выполнении сценарных ПрДс, СлДс, ЭПО, БЭПО, ПО.

*Блок управления* (БУ) – предназначен для обеспечения всего диапазона возможных вариантов управления АР КН путем передачи управляющих воздействий на его «голову», корпус и манипуляторы.

*Модуль ориентации телекамер* (МОТК) – предназначен для ориентации телекамер в направлениях, определенных программным сценарием на выполнение конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО), в рамках этого программного сценария, а также для выдачи команды на включение в работу МТЗ. При завершении программного сценария выдает команду на выключение МТЗ.

*Модуль связи* (МС) – предназначен для обеспечения передачи телевизионной и телеметрической информации по радиоканалу в модули информационной поддержки и контроля движений и траекторий.

*Модуль информационной поддержки* (МИП) – предназначен для выдачи требуемой визуальной, текстовой, графической информации – по запросам космонавта, и в модуль визуализации – непрерывно. Некоторые аспекты решения задач информационной поддержки космонавтов рассмотрены в авторской статье [4].

*Модуль визуализации (МВ)* – предназначен для отображения видеоинформации, а также для суммирования видеоинформации от всех телекамер, установленных на АР, и выдачи всего объема видеоинформации в модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства.

*Модуль контроля движений и траекторий (МКДвТр)* – предназначен для выдачи команд в БУ на приведение параметров движений и траекторий в безопасные или программные эксплуатационные значения при их выходе за установленные границы.

*Библиотека электронных карт (БлЭК)* – предназначена для выбора комплекта специализированных трехмерных интегрированных информационных карт, отображающих информацию обо всех элементах интерьера ПКК, с учетом их пространственного расположения и динамики изменения в соответствии с информацией о содержании программного сценария, полученного от АНПС. Информация из БлЭК поступает в модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства.

*Модуль анализа и оценки состояния окружающего пространства (МА)* – предназначен для построения единой модели окружающей сцены; планирования перемещения АР КН или его манипуляторов внутри ПКК; расчета и уточнения данных, касающихся интерьера ПКК; обеспечения отказоустойчивости системы в целом; определения неполадок в сенсорных подсистемах АР КН; расчета перемещения динамических объектов окружающей сцены. МА выдает команды на перемещение АР КН по маршруту в район рабочего пространства (РП) и на занятие рабочего места (РМ) в РП в модуль трехосной системы ориентации и стабилизации и в модуль контроля занятия рабочего места (МКЗРМ).

*Модуль трехосной системы ориентации и стабилизации (МСОС)* – предназначен для обеспечения разворотов при движении по маршруту в район РП по командам с МА, для обеспечения разворотов на занятие рабочего места в РП по командам с МКЗРМ и для ориентации АР КН относительно центра масс по трем осям. По завершении разворота по команде с МА или МКЗРМ, МСОС выдает команду на движение в модуль линейного движения.

*Модуль линейного движения (МЛД)* – предназначен для обеспечения линейного передвижения АР КН в объеме ПКК по командам с МСОС или МКЗРМ.

*Модуль контроля занятия рабочего места (МКЗРМ)* – предназначен для отключения МЛД и МСОС при совпадении плана интерьера с планом РМ и при правильной фиксации АР КН на РМ в РП и передает команду в модуль аккумуляции и передачи общей информации блока интеллектуального сопровождения, разрешающую к включению его в работу.

*Модуль технического зрения (МТЗ)* – предназначен для непрерывной выдачи в блок интеллектуального сопровождения и в МИП информации в виде стереоизображений рабочего пространства в реальном времени для сопровождения выполнения требуемого (поставленного задачей) программного сценария.

*Блок интеллектуального сопровождения (БИС)* выполнения ПО – предназначен для создания управляющих воздействий на основе конкретной текущей информации (при начальной неопределенности) с целью реализации процессов изменения параметров, приводящих к достижению наилучших состояний АР КН, обеспечивающих выполнение конкретного программного сценария. Включает модули: аккумуляции и передачи общей информации; комплектации объектов действий, воздействий и инструментов (ОДВИ); формирования очередности применения ОДВИ; определения рабочего объема деятельности ОДВИ; выбора ОДВИ; опре-

деления очередности применения ОДВИ; формирования технических и эксплуатационных характеристик ОДВИ; формирования пользовательских характеристик ОДВИ; формирования избирательных характеристик ОДВИ; формирования детального плана использования ОДВИ; формирования команд на захват необходимого из набора ОДВИ; формирования команд на применение необходимого из набора ОДВИ; формирования процесса реализации конкретной ПО; формирования алгоритма процесса выполнения конкретной ПО; формирования команд на выполнение комплекса необходимых движений и траекторий для выполнения конкретной ПО; формирования команд на прекращение работы; выдачи команд на выполнение процесса конкретной ПО. Включение и функционирование БИС осуществляется при поступлении команды с МКЗРМ в модуль аккумуляции и передачи общей информации. При этом модули, при включенном БИС, постоянно находятся в режиме дежурного приема информации, включаются в работу по обработке информации при поступлении ее извне, переходят в режим дежурного приема после выдачи обработанной информации адресату.

*Модуль аккумуляции и передачи общей информации (МАПОИ)* – предназначен для хранения и использования общей информации об ОДВИ, не требующей дополнительной обработки, и формирования целенаправленной информации, обеспечивающей выполнение программного сценария. Включение этого модуля осуществляется при поступлении команды с МКЗРМ, функционирование начинается с поступлением в него информации из БлЭК, МА, МТЗ. В результате функционирования этого модуля формируется информация о необходимом наборе ОДВИ; об их пространственном расположении до начала, в процессе выполнения и по окончании программного сценария в объеме специализированной трехмерной интегрированной информационной карты; о динамике изменений интерьера в процессе безопасного использования ОДВИ в границах единой модели рабочего пространства; о пространственных данных движений и траекторий для выполнения программного сценария; об алгоритме движений и траекторий, сформированных применительно к ОДВИ. Данная информация передается в модули формирования процесса реализации выполнения ПО и комплектации ОДВИ.

*Модуль комплектации ОДВИ (МК)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей характеризовать совокупность ОДВИ как «единство и целостность ограниченных частей», что обеспечивает выделение комплекта ОДВИ для выполнения заданного программного сценария. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МАПОИ. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая выделение конкретных комплектов № 1, № 2, ..., №  $n$  ОДВИ для выполнения ЭПО № 1, ЭПО № 2, ..., ЭПО №  $n$ , составляющих конкретную ПО (или БЭПО, или ЭПО), из всего необходимого набора ОДВИ для выполнения этой ПО (или БЭПО, или ЭПО), находящейся в составе программного сценария. Данная информация передается в модули формирования очередности применения ОДВИ, формирования технических и эксплуатационных характеристик ОДВИ, формирования избирательных характеристик ОДВИ.

*Модуль формирования очередности применения ОДВИ (МФОП)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей выбирать из комплекта (или множества) ОДВИ «воспринимаемые» (т.е. задействованные в процессе выполнения программного сценария) и определять очередность их применения. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МК. В результате функционирования этого модуля формируется

информация, обеспечивающая определение очередности применения ОДВИ в рамках каждого комплекта № 1, № 2, ..., № *n*, для выполнения ЭПО № 1, ЭПО № 2, ..., ЭПО № *n*, составляющих конкретную ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Данная информация передается в модули формирования процесса реализации конкретной ПО, определения рабочего объема деятельности ОДВИ.

*Модуль определения рабочего объема деятельности ОДВИ (МОРО)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей характеризовать совокупность объектов воздействий, в рамках которых функционируют объекты действий и инструменты, как «площадь и объем, в которых осуществляется деятельность». Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФОП. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая определение расположения и размеры рабочих площадей объектов воздействий, в рамках которых функционируют объекты действий и инструменты, и определяется рабочий объем, в границах которого выполняется конкретная ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Данная информация передается в модуль выбора ОДВИ.

*Модуль выбора ОДВИ (МВб)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей устанавливать сходства или различия между подобными ОДВИ из совокупности похожих, и выявления их как «объектов точной деятельности». Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МОРО. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая точный и безошибочный выбор ОДВИ для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Данная информация передается в модуль определения очередности применения ОДВИ.

*Модуль определения очередности применения ОДВИ (МООП)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей выделять из совокупности ОДВИ необходимый объект или инструмент – исключительно в момент выполнения минимального элемента программного сценария (движения или траектории), как «воспринимаемый сейчас» (то есть задействованный в процессе выполнения движения и траектории), или «невоспринимаемый сейчас» (то есть не задействованный в процессе выполнения движения и траектории). Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МВб. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая определение очередности действий и воздействий для объектов с комплексным использованием инструментов применительно к каждому движению и каждой траектории в соответствии с алгоритмом выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Данная информация передается в модули формирования процесса реализации конкретной ПО и формирования технических и эксплуатационных характеристик ОДВИ.

*Модуль формирования технических и эксплуатационных характеристик ОДВИ (МФТЭХ)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей избирательно характеризовать каждый из ОДВИ в отдельности как «объекты точечной деятельности». Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МООП. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая выдачу технической и эксплуатационной характеристик каждому из ОДВИ, используемых для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Дан-

ная информация передается в модуль формирования пользовательских характеристик ОДВИ.

*Модуль формирования пользовательских характеристик ОДВИ (МФПХ)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей характеризовать каждый из ОДВИ в отдельности как «локальный» (т.е. локализованный в пространстве). Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФТЭХ. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая выдачу пользовательских характеристик каждому из ОДВИ, используемых для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Данная информация передается в модуль формирования избирательных характеристик ОДВИ.

*Модуль формирования избирательных характеристик ОДВИ (МФИХ)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей характеризовать ОДВИ и часть рабочего пространства, в рамках программного сценария как «избранные» (т.е. самые нужные). Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФПХ. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая выдачу избирательной характеристики каждому из ОДВИ, используемых для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария с необходимой детальностью. Данная информация передается в модули формирования детального плана использования ОДВИ, формирования команд на захват необходимого из набора ОДВИ, формирования команд на применение необходимого из набора ОДВИ.

*Модуль формирования детального плана использования ОДВИ (МФДП)* – предназначен для хранения и использования информации об алгоритме эксплуатации действий и воздействий с объектами и инструментами. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФИХ. В результате функционирования этого модуля формируется информация, обеспечивающая определение детального плана эксплуатационных действий и воздействий с объектами и инструментами. Данная информация передается в модуль формирования процесса реализации конкретной ПО.

*Модуль формирования команд на захват необходимого из набора ОДВИ (МФКЗ)* – предназначен для хранения и использования информации, позволяющей характеризовать предмет как «целостный» (т.е. в его совокупности с внешней действительностью и деятельностью). Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФИХ. В результате функционирования этого модуля формируются команды на захват каждого необходимого из набора ОДВИ, используемых для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария, в соответствии с планом эксплуатационных действий и воздействий. Данная информация передается в модуль формирования процесса реализации конкретной ПО.

*Модуль формирования команд на применение необходимого из набора ОДВИ (МФКП)* – предназначен для хранения и использования всего объема информации о закономерностях и существенных связях конкретной области действительности, связанной с выполнением ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария и постоянного использования этой информации в процессе функционирования АР КН. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФИХ. В результате функционирования этого модуля формируются команды на практическое применение каждого из набора ОДВИ, используе-

мых для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария в соответствии с планом эксплуатационных действий и воздействий. Данная информация передается в модуль формирования процесса реализации конкретной ПО.

*Модуль формирования процесса реализации конкретной ПО (МФПР)* – предназначен для хранения и использования информации о взаимосвязанных свойствах ОДВИ и процессов, обеспечивающих выполнение конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него всей совокупности информации из МАПОИ, МФОП, МООП, МФДП, МФКЗ, МФКП. В результате функционирования этого модуля вырабатывается информация, обеспечивающая формирование процесса реализации конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО), с практическим применением каждого из набора ОДВИ, используемых для выполнения плана эксплуатационных действий и воздействий в соответствии с программным сценарием. Данная информация передается в модуль формирования алгоритма процесса выполнения конкретной ПО.

*Модуль формирования алгоритма процесса выполнения конкретной ПО (МФАП)* – предназначен для хранения и использования информации о процессах выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария, позволяющей виртуально характеризовать их. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФПР. В результате функционирования этого модуля формируется алгоритм процесса выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Данная информация передается в модули формирования команд на выполнение комплекса необходимых движений и траекторий для выполнения конкретной ПО и формирования команд на прекращение работы.

*Модуль формирования команд на выполнение комплекса необходимых движений и траекторий для выполнения конкретной ПО (МФКДвТр)* – предназначен для хранения и использования информации, обеспечивающей формирование команд на выполнение алгоритма процесса конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него информации из МФАП. В результате функционирования этого модуля формируются команды на выполнение комплекса необходимых движений и траекторий для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария с использованием каждого из набора ОДВИ. Данная информация передается в модуль выдачи команд на выполнение процесса конкретной ПО.

*Модуль выдачи команд на выполнение процесса конкретной ПО (МВКВП)* – предназначен для выдачи сформированных команд на выполнение процесса конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО), в рамках программного сценария в синтезатор совокупности команд на выполнение процесса конкретной ПО. Функционирование этого модуля начинается с поступлением в него сформированной команды из МФКДвТр. После завершения выдачи команды этот модуль вновь переходит в режим дежурного приема.

*Модуль формирования команд на прекращение работы (МФКПР)* – предназначен для принятия и обработки информации, позволяющей характеризовать ее как «отработанную» (т.е. ставшую ненужной, «невоспринимаемой») и для формирования команды на прекращение работы МВКВП. Включение этого модуля в готовность к выдаче команды осуществляется с началом поступления в него ин-

формации из МФАП. Выдача команды на прекращение работы МВКВП осуществляется с окончанием передачи данных из МФАП. В результате функционирования этого модуля формируются команды на прекращение действий в связи с завершением алгоритмического процесса выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария.

*Синтезатор совокупности команд на выполнение процесса конкретной ПО (ССКВП)* – предназначен для объединения логического множества сформированных команд в единый процесс выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария, и передачи этой информации в МФПД.

*Модуль психологической поддержки* – предназначен для облегчения у космонавтов процессов социальной, психологической и профессиональной адаптации к воздействующим факторам длительного орбитального или автономного космического полета. Некоторые аспекты решения задач психологической поддержки космонавтов рассмотрены в авторской статье [5].

*Зарядное устройство (ЗУ)* – предназначено для подзарядки аккумуляторных батарей АР КН от сети электропитания ПКК.

*Аккумуляторная батарея (АБ)* – предназначена для обеспечения автономной работы АР КН в течение определенного времени с последующей подзарядкой от сети электропитания.

### Структурная схема базового блока автономного антропоморфного робота космического назначения

Структурная схема базового блока автономного АР КН показана на рис. 5.

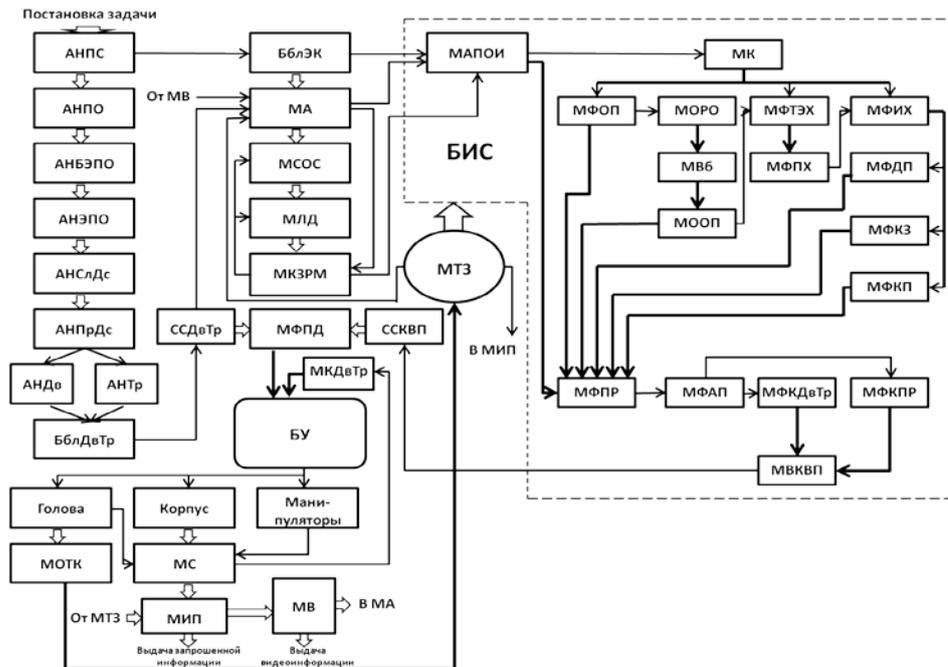


Рис. 5. Структурная схема базового блока автономного АР КН

Постановка задачи (ввод информации на выполнение нескольких (или одной) полетных операций) осуществляется через АНПС, который выбирает программный сценарий, в соответствии с которым выдается информация на АНПО, где осуществляется формирование набора ПО, входящих в состав программного сценария – в соответствии с поставленной задачей, и в БблЭК.

Информация с АНПО по каждой ПО в отдельности, в порядке очередности, определяемой программным сценарием, поступает в АНБЭПО, где осуществляется формирование набора БЭПО, входящих в состав конкретной ПО.

Информация с АНБЭПО по каждой БЭПО в отдельности, в порядке очередности, определяемой алгоритмом ПО, поступает в АНЭПО, где осуществляется формирование набора ЭПО, входящих в состав конкретной ПО.

Информация с АНЭПО по каждой ЭПО в отдельности, в порядке очередности, определяемой алгоритмом БЭПО, поступает в АНСлДс, где осуществляется формирование набора СлДс, входящих в состав конкретной ЭПО.

Информация с АНСлДс по каждому СлДс в отдельности, в порядке очередности, определяемой алгоритмом ЭПО, поступает в АНПрДс, где осуществляется формирование набора ПрДс, входящих в состав конкретного СлДс.

Информация с АНПрДс по каждому ПрДс в отдельности, в порядке очередности, определяемой алгоритмом СлДс, поступает одновременно в анализаторы НДв и НТр, где осуществляется комплексное формирование набора Дв и Тр, входящих в состав конкретного ПрДс.

Информация с анализаторов НДв и НТр поступает в БблДвТр, где осуществляется поиск, выбор и передача всего набора Дв и Тр (из которых состоит конкретная ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария) в ССДвТр (поочередно, по мере их поступления).

В ССДвТр весь комплекс Дв и Тр, из которых состоит конкретная ПО (или БЭПО, или ЭПО) в рамках программного сценария, объединяется в единый непрерывный процесс, состоящий из совокупности Дв и Тр (без ОД, ОВ и НИ). Информация о синтезированном процессе передается в МФДП и МА.

В БблЭК в соответствии с полученной от АНПС информацией осуществляется определение района расположения рабочего пространства АР КН, информация о котором выдается в МА и МАПОИ.

МА в результате обработки информации, полученной из ССДвТр, МВ и МТЗ, обеспечивает формирование информации по построению единой модели окружающего интерьера, в объеме которого планирует маршрут перемещение АР КН в район РП и занятие рабочего места в РП. Данная информация передается в МСОС, МАПОИ и МКЗРМ.

МСОС в результате обработки информации, полученной из МА и МКЗРМ, обеспечивает формирование информации по выполнению и выполнение программных разворотов относительно центра масс по трем осям АР КН по маршруту перемещения ее в район РП, а также ориентацию при движении в объеме окружающего интерьера и занятии рабочего места (РМ) в РП. Данная информация передается в МЛД.

МЛД в результате обработки информации, полученной из МСОС и МКЗРМ, обеспечивает линейное передвижение АР КН. Ломаная траектория передвижения робота по маршруту в район РП обеспечивается выполнением программных разворотов МСОС. Занятие РМ в РП обеспечивается ориентацией при движении в объеме окружающего интерьера МСОС и использованием МКЗРМ. Данная информация передается в МКЗРМ.

МКЗРМ получает всю информацию о маршруте передвижения и плане рабочего места АР КН в рабочем пространстве – напрямую от МА и МЛД, косвенно – от БблЭК и МСОС. При передвижении АР КН сравнивает план меняющегося интерьера с виртуальным планом РМ. При совпадении плана интерьера с планом РМ отключает МЛД и контролирует правильность фиксации АР КН на РМ в РП. При занятии АР КН положения, затрудняющего фиксацию и требующего некоторых передвижений АР КН для фиксации, передает команды на МСОС и МЛД до тех пор, пока АР КН не займет и не зафиксируется на РМ. После занятия АР КН РМ и фиксации на нем с МКЗРМ передается команда на МЛД и МСОС на их отключение, и на МАПОИ, разрешающая включению в работу МАПОИ и БИС.

БИС работает в комплексе с МТЗ. То есть в работающий БИС постоянно поступает информация с МТЗ.

После включения в работу МАПОИ, он принимает информацию из БблЭК и МА, которая комплексирована с общей информацией об ОД и ОВ, используемых в рамках программного сценария. В результате функционирования МАПОИ формируется информация: о необходимом комплекте ОД и ОВ; об их пространственном расположении до начала, в процессе выполнения и по окончании конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО); о динамике изменений интерьера в процессе выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в границах РП – в результате использования ОД и ОВ; об алгоритме сформированных и спрогнозированных движений и траекторий для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО); о параметрах безопасной работы АР КН. Данная информация передается в МК, МФПР.

МК принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МАПОИ. В результате обработки, дополнительно к информации выработанной МАПОИ, добавляется информация, обеспечивающая определение комплекта ОДВИ для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) на общем фоне всей совокупности ОДВИ. Данная информация передается в МФОП, МФТЭХ, МФИХ.

МФОП принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МК. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МК, добавляется информация, обеспечивающая определение очередности применения ОДВИ из всего комплекта, предназначенного для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО). Данная информация передается в МФПР, МОРО.

МОРО принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФОП. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МФОП, добавляется информация, обеспечивающая определение расположения и размеры рабочих площадей объектов воздействий, в рамках которых функционируют объекты действий и инструменты, и определяется рабочий объем, в границах которого выполняется конкретная ПО (или БЭПО, или ЭПО). Данная информация передается в МВб.

МВб принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МОРО. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МОРО, добавляется информация, обеспечивающая точный и безошибочный выбор нужных ОДВИ. Данная информация передается в МООП.

МООП принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МВб. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МВб, добавляется информация, обеспечивающая определение очередности действий и воздействий для объектов, с комплексным использованием инструментов применительно к каждому движению и каждой траектории в соответствии с алгоритмом

выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО). Данная информация передается в МФПР, МФТЭХ.

МФТЭХ принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МК и МООП. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МК и МООП, добавляется информация, содержащая техническую и эксплуатационную характеристики каждому из ОДВИ, используемых для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО), в связке с частью РП, в котором выполняется процесс. Данная информация передается в МФПХ.

МФПХ принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФТЭХ. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МФТЭХ, добавляется информация, содержащая пользовательскую характеристику каждому из ОДВИ, локализованному в той части РП, в которой выполняются действия и воздействия. Данная информация передается в МФИХ.

МФИХ принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МК и МФПХ. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МК и МФПХ, добавляется информация, обеспечивающая формирование избирательной характеристики каждого из ОДВИ, использующихся для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО), с детальностью, необходимой для ее выполнения. Данная информация передается в МФДП, МФКЗ, МФКП.

МФДП принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФИХ. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МФИХ, добавляется информация, обеспечивающая определение детального плана эксплуатационных действий и воздействий с ОДВИ. Данная информация передается в МФПР.

МФКЗ принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФИХ. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МФИХ, добавляется информация, обеспечивающая формирование команды на захват конкретных ОДВИ – с расчетом рационального использования в процессе выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО). Данная информация передается в МФПР.

МФКП принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФИХ. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МФИХ, добавляется информация, обеспечивающая формирование команды на практическое применение каждого из набора ОДВИ, используемых для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО), в соответствии с планом эксплуатационных действий и воздействий. Данная информация передается в МФПР.

МФПР принимает и комплексно обрабатывает информацию, поступившую из МАПОИ, МФОП, МООП, МФДП, МФКЗ, МФКП. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной этими блоками, добавляется информация, обеспечивающая формирование процесса реализации конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО), с практическим применением каждого из набора ОДВИ, используемых для выполнения плана эксплуатационных действий и воздействий – в соответствии с программным сценарием. Данная информация передается в МФАП.

МФАП принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФПР. В результате обработки, дополнительно к информации, выработанной МФПР, формируется алгоритм процесса выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО). Данная информация передается в МФКДвТр и МФКПР.

МФКДвТр принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФАП. В результате обработки информации, выработанной МФАП, формируются команды на выполнение комплекса необходимых движений и траекторий для выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) с использованием каждого из набора ОДВИ. Данная информация передается в МВКВП.

МФКПР принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФАП. В результате обработки информации, выработанной МФАП, формируются команды на прекращение действий в связи с завершением алгоритмического процесса выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО). Данная информация передается в МВКВП.

МВКВП принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФКДвТр и МФКПР. В результате обработки информации, выработанной МФКДвТр, выдает сформированные команды на алгоритмические процессы выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО) в ССКВП. В результате команды, полученной из МФКПР, прекращает работу и переходит в дежурный режим.

ССКВП принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МВКВП. В результате обработки информации, выработанной МВКВП, объединяет логическое множество сформированных команд в единый процесс выполнения конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО). Данная информация передается в МФПД.

МФПД принимает и обрабатывает информацию, поступившую из ССДвТр и ССКВП. В результате обработки этой информации выдает скомпонованные команды в БУ на осуществление логически необходимого количества движений и траекторий в комплексе с совокупностью процессов использования ОДВИ.

БУ принимает и обрабатывает информацию, поступившую из МФПД и МКДвТр. В результате обработки информации, поступившей из МФПД, передает управляющие воздействия на «голову», корпус и манипуляторы АР КН. При получении команды из МКДвТр ограничивает параметры движений и траекторий в пределах безопасных или программных эксплуатационных значений.

МОТК ориентирует телекамеры в направлении, заданном «голове», управляемой БУ, в соответствии с программным сценарием, определенным при постановке задачи на выполнение конкретной ПО (или БЭПО, или ЭПО). При начале движения «головы» выдает команду на включение в работу МТЗ. При завершении программного сценария выдает команду на выключение МТЗ.

МС обеспечивает передачу телевизионной и телеметрической информации по радиоканалу в МИП и в МКДвТр.

МИП выдает требуемую визуальную, текстовую, графическую информацию по запросам космонавта и в МВ – непрерывно.

МКДвТр выдает команды в БУ на приведение параметров движений и траекторий в безопасные или программные эксплуатационные значения при их выходе за установленные границы.

МВ отображает видеoinформацию на дисплей и суммирует видеoinформацию от всех телекамер, установленных на АР КН, для выдачи в МА.

## **Заключение**

Предлагаемый вариант базового блока предназначен для создания автономного АР КН, обладающего широкими функциональными возможностями по выполнению любых задач в рамках программного сценария ВнукД, заложенного в робот. Этого робота необходимо рассматривать как незаменимого помощника экипажу в

межпланетных и долговременных автономных космических полетах, которые планируются к выполнению уже в среднесрочной перспективе [1]. Вместе с тем, незначительные дополнительные доработки предложенного базового блока позволят создать АР КН для поддержания внекорабельной и напланетной деятельности экипажа.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сорокин В.Г. Анализ процесса восприятия и реализации решения, принятого оператором-космонавтом, на выполнение полетной операции антропоморфной робототехнической системой при внутрикорабельной деятельности // Тезисы докладов XI Международной научно-практической конференции 10–12 ноября 2015 года. – Звездный городок, 2015. – С. 35–36.
- [2] Сорокин В.Г. Вариант структуры базового блока антропоморфной робототехнической системы для поддержания внутрикорабельной деятельности // Тезисы докладов XI Международной научно-практической конференции 10–12 ноября 2015 года. – Звездный городок, 2015. – С. 36–37.
- [3] 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. 400–405.
- [4] Сорокин В.Г. Некоторые аспекты информационной поддержки внутрикорабельной деятельности космонавтов с помощью антропоморфных робототехнических систем // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 3(20). – С. 101–111.
- [5] Сорокин В.Г., Гущин В.И. и др. Некоторые аспекты психологической поддержки космонавтов с помощью антропоморфных робототехнических систем в длительном автономном космическом полете // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 2(19). – С. 91–104.
- [6] Сорокин В.Г., Сохин И.Г. Возможные области применения антропоморфных роботопомощников экипажей в отсеках перспективных космических комплексов // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 4(17). – С. 71–79.
- [7] Сорокин В.Г. Элементы полетных операций, выполняемых антропоморфной робототехнической системой для обеспечения внекорабельной деятельности космонавтов // Тезисы докладов X Международной научно-практической конференции 27–29 ноября 2013 года. – Звездный городок, 2013. – С. 31–33.

УДК 629.782.15:535.5

**О МИНИМАЛЬНЫХ НЕУСТРАНИМЫХ МИКРОПЕРЕГРУЗКАХ  
НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ  
В ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ**

М.Н. Бурдаев, Б.В. Бурдин

Докт. техн. наук, профессор, гл. н. с. М.Н. Бурдаев;  
канд. техн. наук, ст. н. с. Б.В. Бурдин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье проведен анализ характеристик пространственных полей неустранимых микроперегрузок гравитационного происхождения на космических аппаратах, стабилизированных в инерциальной системе координат. Определены форма и размеры пространственных поверхностей равных микроперегрузок и их зависимость от величин микроперегрузок.

**Ключевые слова:** инерциальная система координат, микроускорения, микроперегрузки, космические аппараты, поверхности равных микроперегрузок.

**About the Minimal Irremovable Microaccelerations on Space Vehicles,  
Stabilized in the Inertial Coordinate System. M.N. Burdaev, B.V. Burdin**

The paper analyzes the characteristics of spatial fields of irremovable microaccelerations of gravitational origin on space vehicles, stabilized in the inertial coordinate system. The shape and dimensions of the spatial surfaces of equal microaccelerations and their dependence on the magnitudes of microaccelerations were determined.

**Keywords:** orbital reference system, microaccelerations, micro g-loads, space vehicles, surfaces of equal microaccelerations.

Под инерциальной системой координат (ИСК) принято понимать систему координат, не вращающуюся относительно инерциального пространства. В соответствии с этим стабилизация космического аппарата в ИСК отличается от стабилизации в орбитальной системе координат (ОСК) отсутствием его собственного вращения относительно звезд. Поэтому на космическом аппарате, стабилизированном в ИСК, отсутствует составляющая микроускорения, связанная с этим вращением.

По той же причине траектории движения всех его точек одинаковы и совпадают по форме с траекторией центра масс космического аппарата. Следовательно, центробежные ускорения  $J_{цб}$  всех точек космического аппарата одинаковы и совпадают по величине и направлению с центробежным ускорением центра масс космического аппарата. Его орбиту будем считать круговой. В любой точке круговой орбиты с геоцентрическим радиусом  $r_h$  в центре масс космического аппарата центробежное ускорение  $J_{цб}$  равно ускорению земного притяжения  $g_h$ :

$$J_{цб} = \omega^2 r_h = \frac{\mu}{r_h^2} = g_h, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая скорость геоцентрического радиуса-вектора  $r_h$  центра масс космического аппарата;

$\mu$  – гравитационная постоянная Земли.



Величина суммарной микроперегрузки  $n_h$  в точке  $B$  в долях ускорения  $g_h$  земного притяжения на круговой орбите с радиусом  $r_h$  составляет:

$$n_h = \frac{J_B}{g_h} = \sqrt{\left(\frac{g}{g_h}\right)^2 + 1 - 2\frac{g}{g_h} \cos \alpha} = \sqrt{\frac{r_h^4}{r^4} + 1 - 2\frac{r_h^2}{r^2} \cos \alpha} \quad (7)$$

Преобразуем последний член под корнем в правой части уравнения (7), подставив в него (3) и (5):

$$\begin{aligned} 2\frac{r_h^2}{r^2} \cos \alpha &= 2\frac{r_h^2}{r^2} \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 2\left(\frac{r_h}{r}\right)^3 \sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} - \frac{r^2}{r_h^2} \frac{D^2}{r^2} \sin^2 \delta} = \\ &= 2\left(\frac{r_h}{r}\right)^3 \sqrt{\frac{D^2}{r_h^2} + 2\frac{D}{r_h} \cos \delta + 1 - \frac{D^2}{r_h^2} \sin^2 \delta} = \\ &= 2\left(\frac{r_h}{r}\right)^3 \sqrt{\frac{D^2}{r_h^2} \cos^2 \delta + 2\frac{D}{r_h} \cos \delta + 1} = 2\left(\frac{r_h}{r}\right)^3 \left(1 + \frac{D}{r_h} \cos \delta\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Подставив (8) в (7), получаем величину суммарной микроперегрузки  $n_h$  в точке  $B$  в долях ускорения тяготения  $g_h$  на орбите:

$$n_h = \frac{J_B}{g_h} = \sqrt{\frac{r_h^4}{r^4} + 1 - 2\left(\frac{r_h}{r}\right)^3 \left(1 + \frac{D}{r_h} \cos \delta\right)}. \quad (9)$$

Величина суммарной микроперегрузки  $n_0$  в точке  $B$  в долях ускорения тяготения  $g_0$  на уровне Земли составляет:

$$n_0 = \frac{J_B}{g_0} = \frac{J_B}{g_h} \frac{g_h}{g_0} = n_h \left(\frac{R}{r_h}\right)^2 = \left(\frac{R}{r_h}\right)^2 \sqrt{\frac{r_h^4}{r^4} + 1 - 2\left(\frac{r_h}{r}\right)^3 \left(1 + \frac{D}{r_h} \cos \delta\right)}, \quad (10)$$

где  $R$  – средний радиус Земли.

Угол  $\varphi$  между векторами ускорения земного тяготения  $\bar{g}$  и суммарного микроускорения  $\bar{J}_B$  в точке  $B$  определяется из треугольника ускорений  $\bar{J}_{уб}, \bar{J}_B, \bar{g}$  (рис. 1):

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{g_h \sin \alpha}{J_B}\right) = \arcsin\left(\frac{R^2}{r^2} \frac{r_h}{r} \frac{D \sin \delta}{r_h n_0}\right) \quad (11)$$

Направление вектора суммарной микроперегрузки  $n_0$  относительно оси  $+Y_0$  исходной инерциальной системы координат определяется углом  $\lambda$  (рис. 1):

для  $0 \leq |\delta| \leq \pi$  и  $2\pi \leq |\delta| \leq 3\pi$

$$\lambda = \delta + (\pi - \varphi),$$

для  $\pi \leq |\delta| \leq 2\pi$  и  $3\pi \leq |\delta| \leq 4\pi$

$$\lambda = \delta - (\pi - \varphi).$$

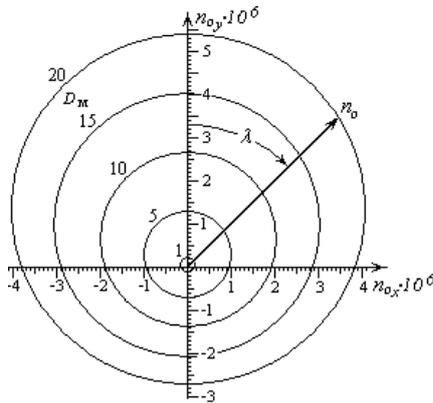


Рис. 2. Годографы векторов микроперегрузки  $n_0$  в плоскости орбиты космического аппарата, стабилизированного в инерционной системе координат, в точках, удаленных на различные расстояния от центра масс КА

На рисунке 2 показаны годографы векторов микроперегрузок  $n_0$  для точек, находящихся в плоскости орбиты на различных расстояниях  $D$  от центра масс космического аппарата, стабилизированного в ИСК. Численная проверка показала, что в ИСК вектор микроперегрузки в каждой точке, жестко связанной с конструкцией космического аппарата, изменяет свою величину и направление с периодом, равным половине периода орбиты КА. Конец вектора микроперегрузки за период своего изменения движется по траектории, близкой к окружности.

Зависимость между величиной и направлением вектора микроперегрузки в ИСК одинакова для всех точек конструкции космического аппарата, удаленных в плоскости орбиты на одинаковое расстояние от его центра масс.

Различие для этих точек состоит в том, что все они последовательно, но не одновременно проходят на каждом витке орбиты через все положения относительно направления из центра притяжения на центр масс космического аппарата.

Для более полного исследования микроперегрузок введем третью координатную ось  $Z$ , указывающую расстояние  $z$  от плоскости орбиты до параллельной ей плоскости  $Z$  (рис. 3). Рассмотрим ускорения, действующие в точках этой плоскости, лежащих на общем с точкой  $B$  перпендикуляре к плоскости орбиты (рис. 3, точка  $B_z$ ).

При любых значениях  $Z$  в точках на таких плоскостях, лежащих на общем с точкой  $B'$  перпендикуляре к плоскости орбиты, имеют место одинаковые величины центростремительных ускорений:  $J_{цб}$ , возникающих вследствие движения по орбите.

При  $z \neq 0$  эти плоскости не проходят через центр притяжения. Поэтому векторы гравитационного ускорения  $\bar{g}_z$  для точек  $B_z$  не лежат в них и имеют каждый по две проекции:  $\bar{g}_{rz}$  на плоскость  $Z$  и  $g_{zz}$  на линию  $BB_z$ , перпендикулярную к плоскости орбиты и плоскости  $Z$  (рис. 3).

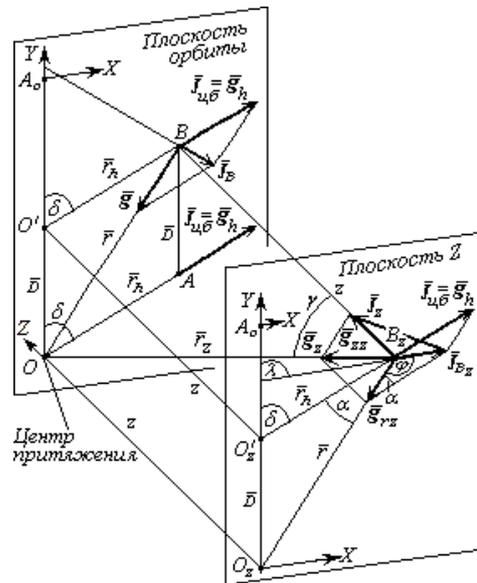


Рис. 3. К расчету микроускорения в точке  $B_z$ , жестко связанной с космическим аппаратом, стабилизированным в инерционной системе координат

В треугольнике  $BOB_z$ :

$$r_z = \sqrt{r^2 + z^2}, \quad (12)$$

$$\sin \gamma = \frac{r}{r_z} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + z^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}} \frac{r}{r_h}, \quad (13)$$

$$\cos \gamma = \frac{z}{r_z} = \frac{z}{\sqrt{r^2 + z^2}} = \frac{z}{r_h \sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}}. \quad (14)$$

В точке  $B_z$  гравитационное ускорение  $g_z$  равно:

$$g_z = \frac{\mu}{r_z^2} = \frac{\mu}{r_h^2} \frac{r_h^2}{r_z^2} = g_h \frac{r_h^2}{r_z^2} = g_h \frac{r_h^2}{r^2 + z^2} = g_h \frac{1}{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}, \quad (15)$$

– составляющая  $g_{rz}$  гравитационного ускорения в плоскости, параллельной плоскости орбиты:

$$g_{rz} = g_z \sin \gamma = g_h \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)} \frac{r}{r_h \sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}} = g_h \frac{r}{r_h \left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (16)$$

– составляющая  $g_{zz}$  гравитационного ускорения по оси  $Z$ :

$$g_{zz} = g_z \cos \gamma = g_h \frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)} \frac{z}{r_h \sqrt{\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}}} = g_h \frac{z}{r_h \left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}. \quad (17)$$

Модуль суммарного вектора  $\bar{J}_{Bz}$  ускорений  $\bar{g}_{rz}$  и  $\bar{J}_{z\bar{O}}$  в точке  $B_z$  в плоскости, удаленной от плоскости орбиты на расстояние  $z$ , равен:

$$J_{Bz} = \sqrt{g_{rz}^2 + J_{z\bar{O}}^2 - 2g_{rz}J_{z\bar{O}} \cos \alpha}. \quad (18)$$

В точке  $B_z$  модуль  $J_z$  векторной суммы всех действующих микроускорений:  
 $\bar{J}_{цб} = g_h, \bar{g}_{rz}$  и  $\bar{g}_{zz}$  равен:

$$J_z = \sqrt{g_{rz}^2 + g_h^2 - 2g_{rz}g_h \cos \alpha + g_{zz}^2} = \sqrt{g_z^2 + g_h^2 - 2g_{rz}g_h \cos \alpha}. \quad (19)$$

Микроперегрузка  $n_0$  в точке  $B_z$  в долях ускорения земного тяготения  $g_0$  составляет:

$$n_0 = \frac{J_z}{g_0} = \frac{J_z}{g_h} \cdot \frac{g_h}{g_0} = \frac{R^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\frac{g_{rz}^2}{g_h^2} + 1 + 2\frac{g_{rz}}{g_h} \cos \alpha + \frac{g_{zz}^2}{g_h^2}} = \frac{R^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\frac{g_z^2}{g_h^2} + 1 + 2\frac{g_{rz}}{g_h} \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}. \quad (20)$$

Используя преобразование (8), приводим формулу (20) к виду:

$$n_0 = \frac{R^2}{r_h^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^2} + 1 - \frac{2}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \left(1 + \frac{D}{r_h} \cos \delta\right)}. \quad (21)$$

Это уравнение позволяет рассчитать микроперегрузку  $n_0$  в любой жестко закрепленной относительно конструкции движущегося в ИСК по круговой околоземной орбите радиусом  $r_h$  космического аппарата точке с координатами  $z$ ,  $D$  и  $\lambda$ .

Для случая  $z \neq 0$  угол  $\varphi$  между направлением на ось  $Z$  (рис. 3) и вектором суммарного микроускорения  $J_{B'z}$  в точке  $B$  рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \arctg \left[ \frac{\frac{D}{r_h} \frac{r^2}{r_h^2} \frac{\sin \delta}{\left(\frac{r^2}{r_h^2} + \frac{z^2}{r_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} - 1 - \frac{D}{r_h} \cos \delta}{1} \right]. \quad (22)$$

Решая совместно уравнения (21) при  $n_0 = Const$  и (22), получаем возможность исследовать и рассчитывать характеристики поверхностей равных значений микроперегрузок  $n_0 = f(x, y, z)$  на космическом аппарате, ориентированном в ИСК, используя, например, метод последовательных приближений. Результаты таких вычислений представлены на рисунках 4, 5 и 6.

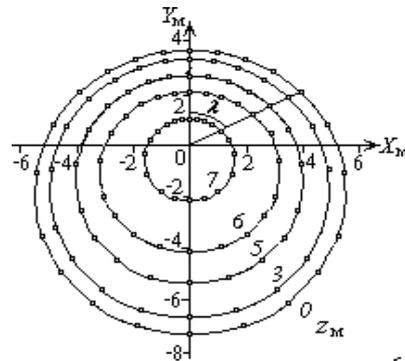


Рис. 4. Сечение поверхности  $n_0 = 1 \cdot 10^{-6}$  плоскостями  $XOY$  при различных  $z$

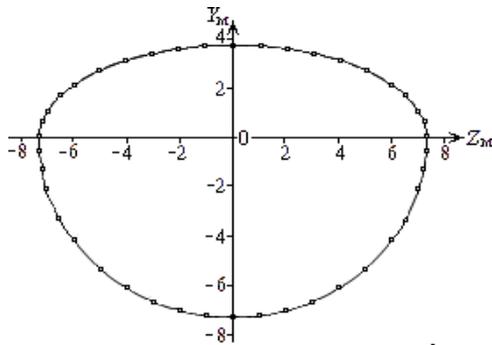


Рис. 5. Сечение поверхности  $n_0 = 1 \cdot 10^{-6}$  плоскостью  $YOZ$  при  $x = 0$

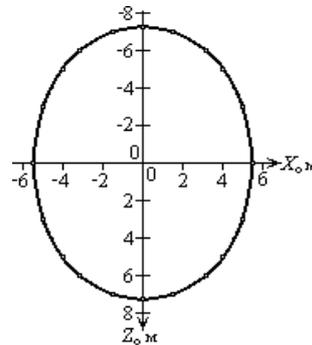


Рис. 6. Проекция поверхности  $n = 1 \cdot 10^{-6}$  на плоскости  $X_0OZ_0$  в исходной ИСК  $X_0Y_0Z_0$

На основании изложенного могут быть сделаны некоторые выводы:

1. При полетах в центральных полях тяготения на космических аппаратах, стабилизированных в инерциальной системе координат, существуют трехмерные поля минимальной неустранимой микрогравитации (микрперегрузок).

2. Существование полей минимальной неустранимой микрогравитации является следствием неоднородности центральных полей тяготения.

3. Характеристики полей минимальной неустранимой микрогравитации определяются напряженностью гравитационных полей, расстоянием от центра масс космического аппарата до центра притяжения, расстоянием от рассматриваемых точек до плоскости орбиты КА, расстоянием от рассматриваемых точек до нормали к плоскости орбиты, проведенной из центра масс космического аппарата и не зависят от размеров и конструкции космических аппаратов.

4. В конкретных полях минимальной неустранимой микрогравитации на космических аппаратах могут быть аналитическим путем определены трехмерные поверхности с одинаковым уровнем микрогравитации (микрперегрузки).

5. На космических аппаратах, стабилизированных в инерциальной системе координат, векторы минимальной неустранимой микрогравитации (микротрегрузки) для всех точек, жестко связанных с конструкцией КА нестационарны: за виток орбиты космического аппарата их направления и величины изменяются с периодом, равным половине периода орбиты КА.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ишлинский А.Ю. Механика относительного движения и силы инерции. – М.: Наука, 1981. – 191 с.
- [2] Ишлинский А.Ю. Прикладные задачи механики: в 2 кн. – Кн. 2. – М.: Наука, 1986. – 412 с.
- [3] Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета. – М.: Наука, 1990.
- [4] Первые результаты определения микроускорений на российском сегменте Международной космической станции / Бабкин Е.В., Беляев М.Ю., Ефимов Н.И., Обыденников С.С., Сазонов В.В. – Препринт ИПМ им. Келдыша РАН. – № 83. – 2001.
- [5] Определение квазистатической компоненты микроускорения, возникающего на борту Международной космической станции / Бабкин Е.В., Беляев М.Ю., Ефимов Н.И., Сазонов В.В., Стажков В.М. // Космические исследования. – 2004. – Т. 43, № 2. – С. 162–171.
- [6] Низкочастотные микроускорения на борту ИСЗ «Фотон-11» / Сазонов В.В., Чебуков С.Ю., Абрашкин В.И., Казакова А.Е., Зайцев А.С. // Космические исследования. – 2004. – т. 43, № 2. – С. 185–200.
- [7] Бурдаев М.Н. Микрогравитация на космических аппаратах // Авиакосмическое приборостроение. – № 4. – 2005. – С. 16–20.
- [8] Результаты определения фактического вращательного движения и уровня остаточных микроускорений на КА «Фотон» по данным бортовых измерений / Абрашкин В.И., Зайцев А.С., Сазонов В.В. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – № 2. – 2010. – С. 17–24.

УДК 159.9

## ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

И.Б. Соловьева

Канд. псих. наук И.Б. Соловьева (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье деятельность космонавтов в полете рассматривается с позиций инженерной психологии. На основании требований подготовленности космонавтов к полету рассмотрено содержание психологического сопровождения профессиональной подготовки в интересах обеспечения надежности деятельности. Используя инженерно-психологические рекомендации, определены направления развития профессионально-психического потенциала личности космонавта и обеспечения готовности к действиям в нестандартных ситуациях.

**Ключевые слова:** инженерная психология, человеческий фактор, концепция обучения, подготовленность к полету, концептуальная модель полета, профессионально-психический потенциал, надежность деятельности, принятие решений.

### **Psychological Support of Cosmonaut Professional Training.**

**I.B. Solovyova**

The paper considers in-flight activity of cosmonauts in terms of engineering psychology. In order to ensure activity reliability, the content of psychological support of professional training is examined on basis of the requirements for the readiness of cosmonauts for a space mission. The development directions of the professional-mental capacity of a cosmonaut and preparing them for actions in off-nominal situations are determined here, using engineering-and-psychological recommendations.

**Keywords:** engineering psychology, human factor, educational concept, readiness for a space flight, conceptual model of a space flight, occupational-mental potential, activity reliability, decision making.

### **Введение**

По мере усложнения задач, решаемых экипажем в космическом полете, повышаются требования к подготовленности человека и, соответственно, к системе подготовки космонавтов. В свете этого в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина постоянно ведется работа по совершенствованию технических и методических средств подготовки.

В данной статье деятельность космонавтов и подготовка к ней рассматриваются с позиций инженерной психологии, основной проблемой которой является исследование путей согласования психологических характеристик оператора и технических характеристик сложного комплекса, которым он управляет, для получения максимальной эффективности всей системы [5]. Понятие эффективности системы «человек–техника» включает интегральную оценку качества системы, т.е. приспособленности к выполнению возложенных на нее функций [6].

Проблема согласования психологических и технических характеристик системы «космонавт–ПКА» решается на этапе проектирования и создания космической техники (например, [15]), а также в процессе ее эксплуатации путем:

– обобщения замечаний экипажей после полета по эргономической оценке технических средств деятельности (рабочего места космонавта, системы отображения информации, средств управления бортовыми системами ПКА) и проведения инженерно-психологического анализа содержания и условий деятельности в

полете с выявлением сложностей и затруднений космонавтов в процессе ее выполнения для решения в дальнейшем задач совершенствования техники;

– определения профессиональных и психологических требований к подготовленности членов экипажей по мере усложнения техники и обоснования возможных направлений развития содержания и средств подготовки.

Качество деятельности космонавтов в полете зависит от взаимодействия всего комплекса составляющих: с одной стороны, относящихся к субъекту деятельности, а с другой – характеризующих содержание и организацию деятельности экипажа в космическом полете [1].

### **Специфика деятельности космонавтов в полете**

С позиций инженерной психологии деятельность оператора рассматривается как системообразующая связь при взаимодействии человека и техники и включает внешнюю (предметную) область и внутренние (психические) процессы [6].

Профессиональная деятельность космонавтов представляет собой разновидность операторского труда, при котором основная сложность работы сосредоточена на психологических (интеллектуальных) операциях: распределении и поддержании внимания, выполнении мыслительных операций, принятии решений и т.д. В соответствии с характером труда космонавта основные его трудности и проблемы сосредоточены в сфере психической деятельности. При этом необходимо учитывать роль мотива и цели деятельности, поскольку они существенно влияют на структуру действий и на конечный результат (качество) работы [5].

Специфика космической техники и условия ее эксплуатации создают ряд процессуальных (объективных) сложностей и затруднений в деятельности космонавтов. В первую очередь это касается решения важной инженерно-психологической проблемы распределения функций в полете: между экипажем и Центром управления полетами (ЦУП), а также между экипажем и автоматом в процессе управления движением ПКА. Исторически сложилось, что исходные данные по подготовке, разрабатываемые РКК «Энергия», ориентированы на организацию деятельности экипажа в рамках работы ЦУПа. Контроль за действиями экипажа, жесткий регламент поведения в случае усложнения обстановки полета ограничивают активность и творческие возможности космонавтов [10].

Структура и психологическое содержание деятельности в системе управления ПКА и бортовыми системами определяются представляемой экипажу информационной моделью полета (совокупностью информации о текущем состоянии объекта управления), ее полнотой, определенностью, оперативностью. При этом следует отметить важную особенность деятельности космонавта – опосредованное через систему отображения информации (СОИ) представление основного объема информации о полете при ограниченном объеме неинструментальной (визуальной) информации в процессе управления ПКА. Большой объем и сложности внутренней логической связи потоков информации существенно осложняют работу космонавтов, особенно в нештатных режимах выполнения программных операций [1].

Наряду с «информационной моделью» ситуации к фундаментальным понятиям инженерной психологии относится понятие «концептуальной модели» полета, формируемой при подготовке. Концептуальная модель деятельности в космическом полете создается в процессе обучения космонавтов и представляет собой «обобщенное мысленное представление о содержании и условиях будущей дея-

тельности, состояниях объекта управления, о возможных отказах и действиях при этом» [5]. В процессе подготовки у космонавта формируется психический образ полета как субъективное отражение в его сознании основного содержания деятельности и жизнедеятельности в полете. Представление о полете развивается на основе профессиональных знаний и умений при тренировках на тренажерах, участии в модельных и натурных экспериментах, а также с учетом опыта летавших космонавтов. Психический образ – это сложный, развертывающийся во времени процесс, в ходе которого отражение (осознание) становится все более и более адекватным отражаемому предмету [8]. Специфика психического образа космического полета, создаваемого у космонавта в процессе подготовки, состоит в том, что он формируется с использованием комплекса психологических моделей деятельности и состояний человека в полете, имеющих определенную степень приближения и ограничений при воспроизведении подобия реальных условий и ситуаций. Другими словами, на основании отражения действительности моделируемых ситуаций космонавт должен построить (домыслить, осознать) цельный образ вообразяемого будущего полета.

Специфической особенностью деятельности космонавтов является необходимость при выполнении управляющих воздействий постоянного обращения к бортовой документации, объем которой существенно усложняет ее использование в условиях дефицита времени. Алгоритм деятельности космонавта диктуется логической схемой, заложенной в управлении ПКА и, соответственно, в бортовой документации, при длительной работе с которой от космонавта требуется «способность удержания сознания в пространстве смысла деятельности» [11].

Функциональные возможности космонавта в контуре управления космическим кораблем (движение центра масс и движение относительно центра масс) обусловлены различной логикой управления, заложенной в технических средствах, что затрудняет деятельность в усложненных условиях, при которых стрессовое воздействие может разрушать сложные навыки управления [1].

Следует отметить важную особенность деятельности командира экипажа в процессе ручного управления движением ПКА. При обучении на статических тренажерах космонавт работает по СОИ и бортовой документации, при этом человек не «чувствует» движения корабля, которым управляет, у него возникает особое состояние «отчуждения» от объекта управления, теряется чувство реальности физического объекта. Сам процесс управления воспринимается им как управление абстрактными сигналами скорости, дальности и пространственного положения [1, 8]. Этим объясняется первое впечатление командира экипажа ПКА при ручном управлении кораблем в реальном полете («Когда первый раз взялся за ручки»): «Да он живой! Двигатель сработал ... Угловая скорость ... Все в твоей власти!..». Согласно литературе, одним из способов исключения негативного влияния «отчуждения» от корабля в полете является формирование у человека при тренировках такого яркого, четкого психического образа – представления, который позволил бы ему мысленно видеть за показаниями приборов реальные изменения управляемого объекта [8]. Это требует активности понятийного и образного мышления, воображения [11].

Рассмотренные психологические составляющие деятельности в системе управления ПКА лишь обозначили сложность задач, связанных с деятельностью космонавтов в реальном полете. Учитывая технические, информационные и энергетические ограничения при управлении кораблем, необходимо сказать о большой ответственности действий командира корабля, что является причиной повы-

шения операционной и эмоциональной напряженности психического состояния человека в реальной работе.

В статье опытных космонавтов А.Ю. Калери и М.В. Тюрина [11] показана необходимость «решения проблем интеллектуально-психологической насыщенности труда и быта экипажей ПКА, особенно во время межпланетных полетов, поиска и внедрения эффективных способов и методик во время тренировок и в полете». Актуальность данной работы состоит в обосновании важности понимания психологических характеристик деятельности космонавта, особенно в усложненных условиях полета, в интересах дальнейшего развития концепции отбора и подготовки космонавтов.

### **Требования подготовленности космонавтов к деятельности в нештатных ситуациях**

В процессе взаимодействия человека с техникой одним из необходимых условий обеспечения эффективности и безопасности системы является надежность деятельности оператора [5]. Понятие надежности деятельности отражает вероятность безошибочного выполнения требуемых функций в течение определенного времени и в заданных, в т.ч. усложненных, условиях [14].

На современном этапе подготовки космонавтов надежность деятельности в штатных условиях полета и **расчетных** нештатных ситуациях базируется на следующих составляющих их подготовленности:

- прочных знаниях, сформированных навыках и умениях при выполнении операций циклограммы, их гибкости и сохранности в полете;
- системных психологических качествах (системы организации внимания при выполнении конкретной операции, оперативных единиц восприятия и памяти – «блоках»), необходимых для организации сложно-совмещенной деятельности и контроля выполняемых действий;
- развитых профессионально-важных качествах, обеспечивающих способность работать в условиях строгого ограничения времени, сотрудничества в экипаже, взаимного контроля и понимания;
- способности распознавания НшС и принятия решений.

Надежность выполнения операций в расчетных нештатных ситуациях обеспечивается необходимым и достаточным объемом информации, которая представлена внешними техническими средствами (бортовой документацией, СОИ, аварийной сигнализацией), а также помощью (контролем действий экипажа) со стороны ЦУПа.

В случае нерасчетной НшС обстановка на борту резко усложняется за счет возможной неопределенности (недостаточности) поступающей информации и дефицита времени. Согласно авиационной психологии, непредвиденная ситуация, с точки зрения воздействия на человека, представляет собой внезапное осложнение деятельности, которое вызывает два уровня ответных реакций: приспособительно-защитные (биологические) и психологические, формирующие стратегию поведения и обеспечивающие выполнение новых, непредусмотренных программой действий. В этом случае деятельность включает параллельность действий: с одной стороны, контроль за текущей информацией, а с другой – анализ и поиск путей выхода из ситуации. Психическая активность человека направлена на интеллектуальную деятельность, а именно, построение плана действий и принятие решения [14].

От космонавта требуется быстрое осмысление ситуации, анализ текущей обстановки полета, сбор дополнительной (приборной и неинструментальной) информации, т.е. самостоятельность, активность и оперативность действий. Важнейшими составляющими способности действовать в нештатной ситуации являются оперативное мышление и предвосхищение (прогноз), которые обеспечивают переработку неполноценной (неполной, противоречивой) информации и быстрое действие. При этом успешность действий человека обеспечивается всей системой защитных и приспособительных механизмов, включающей как доведенные до совершенства двигательные навыки, так и умственные способности анализа ситуации и принятия решения [13].

В **нерасчетной** нештатной ситуации существенно повышается роль экипажа, его готовности к самостоятельным действиям, которые должны быть обеспечены внутренними (психическими) средствами деятельности, отрабатываемыми в процессе подготовки, а именно:

- «летно-космическим умением», которое включает в себя способность целенаправленно и самостоятельно оперировать профессиональными знаниями и навыками; способность анализировать неполноценную (ложную, неопределенную, неполную) информацию; умение использовать дополнительную (неинструментальную) информацию; способность прогнозирования развития ситуации.
- творческой составляющей интеллектуальной деятельности, обеспечивающей широту понимания задачи и способность найти выход из ситуации, в т.ч. в условиях информационной и алгоритмической неопределенности;
- сформированностью концептуальной модели деятельности на различных этапах полета;
- способностью самостоятельного принятия решения;
- субъективной готовностью к действию в экстремальных условиях полета.

Можно выделить две категории экстремальности условий деятельности космонавтов:

1. Усложненные условия (дефицит времени, повышенная ответственность выполнения отдельных операций, условия риска, опасности и т.д.) при сохранении заданного алгоритма (структуры) деятельности.
2. Усложнение деятельности, когда в ситуации неопределенности нарушается алгоритм работы, и экипаж вынужден совместно с ЦУПом или самостоятельно принимать решения.

Принципиальной особенностью опасной профессии является то, что человек не может избегать опасности, а должен преодолевать ее, своими активными действиями преобразовывать ситуацию в состояние управляемости. Опасная профессия требует готовности к нестандартным действиям, нетривиальным решениям, вероятностному прогнозу [13]. Для оператора опасной профессии осознание предполагаемой угрозы реальной деятельности в процессе подготовки (интеллектуализация опасности) является необходимым условием формирования субъективной готовности к ней и рассматривается как активный процесс прогноза развития событий в проекции на свои возможности. Это не просто субъективная оценка предполагаемой опасности, но, главным образом, осмысление своей активной позиции при усложнении условий, оценка необходимости и возможности своего участия при внезапном изменении ситуации.

Реализация в процессе подготовки указанных выше требований подготовленности космонавтов зависит от того, насколько полно учитываются при разработке ее содержания психологические характеристики деятельности в различных

ситуациях полета и психофизиологические состояния космонавтов при этом, зависит от разнообразия используемых средств и методов обучения, от насыщенности требований к психике человека при тренировках (трудности порождают в человеке способности, необходимые для их преодоления [14]).

### **Содержание психологического сопровождения профессиональной подготовки космонавтов**

Психологические составляющие деятельности в полете и требования подготовленности космонавтов на современном этапе положены в основу определения содержания психологического сопровождения профессиональной подготовки, реализуемого в интересах обеспечения возможности самостоятельного выполнения космонавтами в полете необходимых профессиональных задач. Психологическое сопровождение профессиональной подготовки космонавтов основывается на современных психолого-педагогических концепциях и принципах обучения.

Важным методологическим положением психологического сопровождения подготовки космонавтов является рассмотрение ее содержания с позиций человеческого фактора (ЧФ), т.е. с учетом ограничений и потенциальных возможностей человека в космическом полете. В этом вопросе обратимся к истории пилотируемой космонавтики [9]. Перед полетом Ю.А. Гагарина специалистами было сформулировано ключевое положение полета человека в космос, а именно, «непрерывным условием его успешного осуществления является реальный учет возможностей человека».

Задача учета ограничений психофизиологических возможностей космонавтов состоит в изучении и предупреждении ошибочных действий, обусловленных спецификой деятельности в полете, т.е. ориентирована на предупреждение закономерных ошибок, которые не зависят от человека, но могут быть заложены в конструктивных особенностях техники, в условиях, содержании и организации деятельности в полете. Ошибка человека как результат неправильного или несвоевременного действия является интегральным показателем качества взаимодействия компонентов системы «человек–техника». Важная проблема инженерной психологии – выявление причин, порождающих ошибки в деятельности. Сведение причины ошибочного действия только к личному фактору следует рассматривать как методологическую ошибку анализа деятельности оператора [5]. Точную оценку этому вопросу дал основоположник космической психологии Ф.Д. Горбов: «понятие «человеческий фактор» позволяет за беспросветным термином «ошибка» увидеть психологические механизмы ее возникновения» [9].

С другой стороны, в основу подготовки первых космонавтов было положено следующее требование С.П. Королёва: «... к моменту старта космического корабля в его кабине должен находиться пилот, способный выполнить куда более сложный полет, чем тот, который ему предстоит» [9]. Поэтому основной задачей психологического сопровождения подготовки следует считать повышение функциональных возможностей космонавтов, что достигается путем развития резервов психики (профессионально-психического потенциала) и на этой основе способности самостоятельного выполнения профессиональных задач различной сложности [14].

Функциональные возможности человека подразделяются на две категории: актуальные (внутренние средства деятельности, которые требуются при выполнении конкретной операции) и потенциальные (психические средства, которые могут быть востребованы при изменении и усложнении ситуации). Внутренние

средства деятельности (цель, мотив, концептуальная модель полета, профессионально важные качества, знания, навыки, умения) сочетаются с потенциальными (резервными) возможностями психики (оперативным мышлением, интуицией, творческим потенциалом, субъективной готовностью к действию, уверенностью в себе) и обеспечивают тем самым надежность деятельности космонавта.

Принципиальным вопросом профессиональной подготовки космонавтов является используемая концепция обучения, ее содержание и психолого-педагогические положения. В инженерно-психологической литературе [1, 5, 14] отмечается, что концепция обучения, основу которой составляет отработка навыков, т.е. автоматизированных двигательных актов, имеет определенные ограничения. В соответствии с этой концепцией главная задача подготовки оператора состоит в том, чтобы научить, натренировать его быстро и точно реагировать на те или иные внешние воздействия. Нельзя отрицать, что отработка навыков и тренировка действий при различных начальных условиях является важной стороной подготовки космонавтов к определенным видам деятельности, главным образом, к работе в штатных и нештатных (расчетных) режимах, но в нерасчетной нештатной ситуации этого недостаточно. Отличие продуктивного процесса мышления от автоматизированных стереотипных действий состоит в том, что осознание ситуации направлено на поиск и анализ новых признаков, на оценку ситуации, на принятие решения и выбор стратегии поведения [14]. При этом стойкий стереотип автоматизированных действий, отработанный в процессе подготовки, в нештатной ситуации может тормозить переключение внимания с режима репродуктивного функционирования к продуктивному, то есть препятствует созданию новой информации, нового решения.

Как показано выше, важным направлением обеспечения надежности деятельности космонавтов в полете рассматривается повышение профессионально-психического потенциала личности космонавта. Такой постановке задачи, согласно инженерно-психологическим рекомендациям, отвечает концепция компетентностно-ориентированного подхода в обучении, который обеспечивает на каждом этапе подготовки соответствие имеющихся способностей (возможностей) человека необходимому уровню сложности профессиональных задач. При этом основной целью подготовки космонавтов является достижение такого итогового состояния компетентности космонавта, которое гарантированно обеспечивало бы требуемое качество и надежность результатов деятельности в любой усложненной ситуации полета.

Компетентность как интегральная характеристика подготовленности базируется на совокупности различных компетенций (личностных, профессиональных, интеллектуальных, психологических), соответствующих требованиям, предъявляемым космонавтам в полете. Компетентность субъекта деятельности, формируемая в процессе подготовки, представляет собой системное проявление знаний, умений, интеллектуальных способностей и личностных качеств, позволяющее успешно решать профессиональные задачи, и, главное, обеспечивает возможность самостоятельных действий.

Концепция обучения с использованием компетентностного подхода опирается на следующие положения [2]:

- обучение не ограничивается составом необходимых знаний, навыков, умений и ориентируется на конечные требования подготовленности космонавта к полету, исходящие из концептуальной модели деятельности на борту ПКА, оно направлено на повышение психического потенциала личности (по принципу: зна-

ние–понимание–умение), обеспечивающего способность к деятельности в нестандартных и непредвиденных ситуациях;

- обучение базируется на развитии творческих способностей обучаемых, их самостоятельности и активности путем создания «ситуаций развития», способствующих раскрытию и повышению творческого потенциала личности;

- управляемый процесс подготовки предполагает сочетание психолого-педагогических и информационных средств и методов обучения, которое ориентировано на максимальное содействие личностному и профессиональному развитию, достижению необходимого уровня подготовленности и психологической готовности к предстоящей реальной деятельности;

- важным условием обучения является самостоятельная работа обучаемых с ИП (информационным порталом), организующим проблемно-ориентированное информационно-обучающее пространство с выделением базовых личностно-развивающих ситуаций.

С учетом приведенных соображений очевидна необходимость подхода к подготовке космонавтов, исходя из разработки состава необходимых компетенций (требований к подготовленности космонавта) как более широко трактуемых образований, чем традиционные навыки и умения. Основная задача психологического сопровождения подготовки – формирование профессионально-психического потенциала личности космонавта, который рассматривается как совокупность внутренних средств деятельности, включает в себя компетентность и психофизиологическую устойчивость и является резервом профессиональной надежности человека в полете.

### **Направления развития профессионально-психического потенциала космонавтов**

Специфика условий деятельности в космическом полете и высокие требования к подготовленности космонавтов в свете перспективных полетов предполагают не только прочность знаний, навыков, умений, но и готовность космонавтов к активной самостоятельной деятельности. В этом плане целенаправленное развитие профессионально-психического потенциала личности космонавта в процессе подготовки основано на следующих базовых составляющих:

- профессиональном интеллекте;
- творческом потенциале;
- способности принятия решения;
- способности построения стратегии решения нестандартных задач;
- уверенности в профессиональной подготовленности.

Ниже представлены теоретические понятия и психолого-педагогические положения, которые могут быть использованы в развитии системы подготовки космонавтов.

Интеллект понимается как общая познавательная способность, определяющая готовность человека к усвоению и использованию знаний и опыта, а также к эффективному поведению в проблемных ситуациях [14]. Понятие профессионального интеллекта учитывает содержание профессиональной деятельности, ее структуру и условия выполнения, а также требования, предъявляемые к психике оператора. Согласно авиационной психологии [3, 5, 14], профессиональный интеллект состоит в развитии способности перехода от простого приобретения информации к умению ее эффективно перерабатывать и порождать новую [7].

Фундаментальное свойство интеллекта – самостоятельность мышления, именно на этом строится обучение способности принятия решений и продуктивного поведения в нестандартных ситуациях. Повышение профессионального интеллекта в процессе подготовки связано с развитием мыслительных способностей и, главным образом, оперативного мышления и предвосхищения [14], а также понятийного, логического, образного типов мышления. Интуиция развивается в деятельности человека как некоторый «спрессованный опыт» и обеспечивает способность быстро разбираться в сложной ситуации за счет сокращения переборов вариантов решения. В ней своеобразно соединяются образное и понятийное мышление. Логика и оперирование образами выступают в неразрывном единстве [5].

Важную роль в формировании профессионализма космонавта играет интеллектуально-творческий потенциал личности как способность находить новые, необычные решения. Творческое (креативное) мышление позволяет отклоняться от традиционных (шаблонных) схем рассуждений, успешно решать проблемные задачи.

Этап принятия и реализации решения занимает важное место в деятельности экипажа ПКА, особенно в нестандартных режимах работы. Необходимость принятия решения наступает, как правило, в условиях информационной неопределенности, риска, дефицита времени, что предъявляет особые требования к подготовленности членов экипажа [1]. Принятие решения в деятельности космонавтов рассматривается в двух аспектах:

- принятие решения как умение (компонент летно-космического умения) базируется на профессиональной подготовке, опыте, развитых интеллектуальных качествах, при регулирующей роли концептуальной модели деятельности;
- принятие решения как способность к волевому поведению основано на личностных качествах, включая оперативную устойчивость, психическую готовность к действию, способность рисковать, готовность взять ответственность на себя.

Следовательно, подготовка к выполнению самостоятельных эффективных действий на этапе принятия решений должна осуществляться совместно в двух направлениях: профессиональном и психологическом.

В зависимости от информационной определенности нестандартной ситуации выделяют три типа принятия решения о действии, связанные с активностью различного комплекса внутренних механизмов [16]:

- актуализация способа действия (при жесткой детерминированности и алгоритмическом характере способа действия);
- выбор способа действия (в проблемной ситуации при наличии набора алгоритмов);
- построение способа действия (в проблемной ситуации при отсутствии готовых операционных схем).

Третий тип решения соответствует нестандартной (нерасчетной) ситуации. При этом построение способа действия связано с эвристическим уровнем оперативного мышления, который обеспечивает нахождение новых связей и отношений между объектами и явлениями. Важную роль в обеспечении продуктивной деятельности в нестандартной ситуации играют творческие процессы психики (интуиция, прогноз, познавательная активность). Способность творческого решения проблемы обеспечивает запас надежности действий профессионала – нахождение выхода из ситуации [13].

Согласно инженерно-психологическим рекомендациям в интересах развития самостоятельного принятия решений выделяют три этапа обучения:

1. Интеллектуальный тренинг.
2. Тренажерная подготовка с использованием метода моделирования проблемных ситуаций.
3. Развитие эмоционально-волевых компонентов принятия решения.

#### *Тренажерная подготовка космонавтов*

В практике подготовки космонавтов используются широкие возможности специализированных и комплексных тренажеров. Применение методических приемов обучения, основанных на психологическом моделировании полетных задач различной сложности [3, 14], обеспечивает активизацию не только внешних исполнительных действий, а прежде всего, внутренних – интеллектуальных процессов, которые составляют основу профессионального мышления. Тренажер позволяет достаточно полно моделировать деятельность в полете и тем самым придавать профессиональному мышлению обучаемого целостный характер.

Подготовка на тренажерах предполагает использование метода проблемного обучения, при котором от космонавтов в процессе тренировки требуется [12, 13]:

- умение самостоятельно анализировать ситуацию, выявлять существенные признаки, находить дополнительную инструментальную информацию;
- знание возможных неинструментальных признаков каждой нештатной ситуации и готовность их использования в полете;
- способность работать в условиях жесткого ограничения времени;
- способность мгновенного извлечения из памяти нужной информации;
- способность к выполнению совмещенной деятельности;
- самоконтроль и саморегуляция действий.

Проблемное обучение обеспечивает активность обучаемого, самостоятельность интеллектуальной (мыслительной) деятельности, формирование творческого потенциала как необходимого компонента принятия решения.

#### *Эмоционально-волевые компоненты принятия решения*

Вероятная опасность реальной деятельности (угроза благополучию жизни или функционированию управляемого объекта) не может не являться значимым фактором для человека, это формирует его потребность быть готовым к действиям в таких условиях. Как подчеркивает В.А. Пономаренко, проблема готовности в опасной профессии – это проблема способностей, умений противостоять любым ситуациям, обстоятельствам и условиям, в том числе угрожающим жизни [13].

Уверенность в себе, осознание своей подготовленности обеспечивает способность нейтрализовать прогнозируемую угрозу, делает ситуацию приемлемой для психики, активизирует ее возможности, тем самым выполняет для человека роль психической защиты в усложненных условиях работы. Процесс подготовки к деятельности в экстремальных условиях отличается предъявлением повышенных требований к интеллектуальной и волевой сферам психики человека. Это достигается за счет использования эмоционально-насыщенных условий деятельности (в рамках натурального эксперимента – тренировок по выживанию, летной и парашютной подготовки), а также за счет интенсификации самого процесса обучения [2]. В этом плане наиболее ценными факторами при подготовке космонавтов являются автономность (самостоятельность) деятельности и ответственность за свои действия в ситуации неопределенности и дефицита времени. Обучаемый ставится в условия необходимости самостоятельной организации деятельности (в плане рас-

пределения внимания, формирования стратегии решения задачи), а также необходимости подключения волевого компонента психики в сложных условиях деятельности, в т.ч. при необходимости принятия решения.

Представленные психологические положения используются в системе подготовки космонавтов на современном этапе и могут быть целенаправленно проработаны с целью дальнейшего развития содержания системы подготовки космонавтов.

### Заключение

Специфика деятельности космонавтов в полете в свете усложнения техники и перспективных (автономных) полетов требует направленности профессиональной подготовки на развитие внутренних (психических) средств деятельности космонавта, на повышение его потенциальных возможностей при выполнении профессиональных задач. Решение этой проблемы возможно при сочетании и единении профессиональных и психологических средств как целостной системы подготовки. Целенаправленное психологическое сопровождение подготовки космонавтов (с позиции человеческого фактора) должно основываться на современных психолого-педагогических концепциях и принципах обучения и быть функционально включено в профессиональную подготовку, составляя часть ее содержания.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Экспериментально-психологические исследования в авиации и космонавтике / Береговой Г.Т., Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф. и др. – М.: Наука, 1978. – 303 с.
- [2] Богдашевский Р.Б., Соловьева И.Б. Психологическое обеспечение подготовки космонавтов. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2012. – 390 с.
- [3] Гандер Д.В. Профессиональная психопедагогика. – М.: Воентехиздат, 2007. – 336 с.
- [4] Гурова Л.Л. Психологический анализ решения задач. – Воронеж: Изд-во Университета, 1976. – 327 с.
- [5] Методы инженерно-психологических исследований в авиации / Доброленский Ю.П., Завалова Н.Д., Пономаренко В.А. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
- [6] Основы инженерной психологии / Душков Б.А., Ломов Б.Ф., Рубахин В.Ф. – М.: Высш. шк., 1986. – 448 с.
- [7] Жданько И.А. Психофизиологические основы формирования профессионального интеллекта летчика. – М.: ГНИИИ ВМ МО, 2009.
- [8] Образ в системе психической регуляции деятельности / Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф. и др. – М.: Наука, 1986. – 174 с.
- [9] Котовская А.Р. Непрошедшее время. – М.: Фирма «Слово», 2012. – 200 с.
- [10] Человек на МКС: творчество или детерминизм? / Крикалёв С.К., Калери А.Ю., Сорокин И.В. – РКК «Энергия», 2010.
- [11] Калери А.Ю., Тюрин М.В. Антропоцентрический подход к процессу принятия автономных управляющих решений экипажем пилотируемого космического корабля // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 4(9). – С. 36–41.
- [12] Матюшкин А.М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. – М.: Педагогика, 1972. – С. 168.
- [13] Пономаренко В.А. Психология человеческого фактора в опасной профессии. – Красноярск: «Поликом», 2006. – 629 с.
- [14] Пономаренко В.А., Завалова Н.Д. Авиационная психология. – М.: ИАКМ, 1992. – 197 с.
- [15] Перспективный транспортный корабль нового поколения // Новости космонавтики. – 2014. – № 9. – С. 58–61.
- [16] Проблемы принятия решения. – М.: Наука, 1976. – С. 105–111.

# ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

## HISTORY. EVENTS. PEOPLE

### От редакции

Автор этих воспоминаний – Старлычанов Валерий Дмитриевич. Занимался испытаниями космической техники на космодроме Байконур в период с 1958 по 1979 год. Через его руки прошли две модификации межконтинентальной баллистической ракеты и 13 типов космических аппаратов. Один из наиболее квалифицированных специалистов по телеметрии.

УДК 629.78

### **ШЕСТЬ ЧАСОВ НА ОСТРИЕ «ИГЛЫ»**

В.Д. Старлычанов

**Six Hours on the Point of the “Needle”. V.D. Starlychanov**

*«В поисках истины загляни под каждый камень»  
Еврипид*

### **Вместо введения**

Мы привыкли к космическим рейсам – обыденным стали запуски космических кораблей, привычным стало награждение очередных космонавтов за полет. На фоне этих достижений практически забыта работа тех, кто готовит эти корабли к полету. Ведь прежде чем перейти в руки космонавтов, корабли многократно пройдут через их руки и жизнь. По-прежнему, подготовка к старту – это комплекс сложнейших и ответственных операций. До того, как прозвучит команда «Зажигание», корабль пройдет самые строгие испытания в заводских цехах, на космодроме в испытательном корпусе и на стартовой площадке. Блестящие полеты «Востоков», «Салютов», «Союзов» – заслуга и лучшая оценка сложного и нелегкого труда испытателей космической техники.

### **Немного недавней истории**

...Это уже была неудача. Транспаранты на центральном пульте беспорядочно замигали, затрещал, выбрасывая ленту с колонками цифр, контрольный регистратор. По шлемофонной связи прозвучал доклад бортового оператора:

– Сработали аварийные контакты платформы, движение объекта прекращено. Авария.

– Привести бортовые системы в исходное состояние.

Голос «Сто первого» – главного оператора, был спокойным, даже бесстрастным, и от этого спокойствия сковывающее людей напряжение ощущалось еще сильнее.

Ведущий специалист по комплексным испытаниям Саша Александров обеспокоенно откинулся на спинку кресла. Закрыв глаза, он последовательно строил в уме скелет космического аппарата, вслушиваясь в доклады операторов, пытался пред-

ставить то мгновение в изменчивой картине взаимодействия систем, когда корабль, как говорят испытатели, свалился в аварию. Конечно же, он не упал – угол наклона стал предельным, и движение было остановлено аварийными датчиками. Корабль беспомощно застыл, освещенный мощными прожекторами. На фоне черных причудливой формы стен он выглядел фантастическим, не для этого мира созданным, а лишь случайно оказавшимся здесь, словно птица, ненароком залетевшая в клетку.

В приоткрытые ворота испытательного корпуса уже заглядывала черная южная ночь, возле них стояла вышедшая покурить группа операторов. Легкий прохладный ветерок сменил дневную жару, свежий воздух снимал ватную усталость, которая появляется после многочасового напряженного сидения за пультом.

Разговор крутился вокруг одной темы: что могло случиться? На космодроме так бывает всегда – нештатные ситуации не оставляют равнодушными ни одного члена испытательной бригады. Любая гипотеза становится общим достоянием – обсуждается, отвергается или допускается, и каждый, близок он или далек от случившегося, старается быть полезным.

Корабль проходил одну из сложнейших проверок – комплексные испытания в безэховой камере. Экзамен, который приходится держать космическому аппарату, – сложный многосуточный процесс проверки работоспособности бортовых систем во всех режимах, порой запредельных. Сначала проверяют каждую систему отдельно, затем все во взаимодействии. И лишь потом корабль заправляется топливом и сжатыми газами, на него устанавливаются бортовые электрические батареи и прочая многообразная начинка, без которой он не выходит в полет.

– «Игла» отказала, – доносились обрывки дискуссии, разгоревшейся у ворот МИКа.

– Нет, по-моему, сегодня крайние СОУДовцы.

Разговоры операторов понятны только посвященному. СОУД – система ориентации и управления движением, во время сближения и стыковки она работает вместе с «Иглой» – радиотехнической системой, которая находит станцию «Салют» на орбите. И тогда, в беспредельности пространства, начинается танец двух аппаратов, пируэтами которого управляет автоматика (рис. 1). Они сближаются, и раздается торжествующий голос космонавта:

– «Есть стыковка».

Однако на Земле система так работать не может, и чтобы ее проверить, необходимо создать «космос» здесь, в МИКе.

Там, в бесконечном «ничто», нет отражения собственных радиосигналов. На Земле, отброшенные от строений и поверхности, они попадают на вход приемников «Иглы», создавая ложные сигналы «Салюта». Чтобы избежать этого, корабль устанавливают в безэховой камере, выложенной изнутри специальным поглощающим материалом причудливой конфигурации. Корабль размещается на специальной платформе, электродвигатели могут перемещать его в любом направлении с нужной скоростью – корабль движется, ловя сигналы от имитатора станции.



Рис. 1. Корабль «Союз» идет на стыковку

Но сейчас он неподвижен. Операторы всех систем уже в который раз сверяют свои действия с испытательными методиками, телеметристы просматривают и анализируют десятки метров графиков в поисках отклонений, вместе с ними – специалисты СОУД и «Иглы».

В голове Александрова неотвязно звучала нелепая фраза: «Вы крайний? Я за Вами». Сегодня СОУДовцы оказались крайними, а завтра... Что поделаешь, такая работа у испытателей – ждать сюрпризов и быть готовыми к любой неожиданности.

Внешне все понятно – сигнал аварии выдал гироскоп, но что заставило его это сделать? С ведущим специалистом по этой системе сейчас говорить бессмысленно – он начисто отключился от внешнего мира. Александров понимал – его товарищ в уме перебирает все узлы системы, может быть даже «беседует» с каждым из них. На стол один за другим ложатся «простыни» – листы электрических схем непомерной длины, и в который раз прослеживаются пути прохождения управляющих сигналов.



Рис. 2.  
Аркадий Ильич Осташёв

Да, если бы они могли работать, как другие инженеры. Приборы в руках, измеряй и экспериментировать сколько хочешь, пока не придешь к истине. Но космический аппарат собран, в его начинку уже не заглянешь, а лимит на эксперименты строг – необходимо беречь ресурс для полета. Выход один – перевоплотиться в корабль, почувствовать его живым существом, мысленно осмотреть все его органы, понять, где больно. Говоря языком техники, просмотреть не один десяток гипотез и с наибольшей вероятностью указать причину отказа. Лишь потом провести реальный эксперимент и доказать свою правоту. Но для этого систему надо знать лучше, чем самого себя.

Скосив глаза, Александров увидел, что в зале появилось начальство. Аркадий Ильич Осташёв (рис. 2), поняв обстановку, сел в стороне, слушая разговоры. Пройдя путь от рядового испытателя до технического руководителя испытаний, он мгновенно сориентировался в ситуации.

Одно из двух – либо отказал какой-то из приборов, либо есть недостаток в методике испытаний, или опять столкнулись с новым свойством объекта, которое надо понять. И если так, то подготовить к этому экипаж.

Первое совсем плохо. Время старта уже установлено, к нему готовятся многочисленные службы, готовится экипаж. Неисправность? Тогда корабль придется разбирать, испытывать вновь и постараться сохранить дату пуска. Тяжесть всех работ ляжет на плечи все тех же испытателей.

Неточность в методике испытаний? Технически исправить проще. Хотя неприятностей несравненно больше, а также будет неловко после завершения всех разборов и коррекции документации выговаривать хорошим людям и прекрасным специалистам за допущенную «ляпу».

Вошел дежурный.

– До отправления автобуса на «десятку» (рис. 3) осталось минут пятнадцать. Желающие есть?

Желающих было много, могущих – никого.



Рис. 3. Это то место, которое называлось «десятка»

Многолетний опыт испытаний подсказывал Аркадию Ильичу не торопиться события. Пройдя все ступеньки своей конструкторской и испытательской карьеры, он выработал в себе то особое чутье, которое можно назвать профессионализмом, можно – интуицией.

Сейчас он не исключал и третий вариант, но он мог вытащить большой хвост проблем, включая и проектные, которые порой невозможно решить в одночасье. Но, собственно, ради этого зерна и крутится вся эта огромная и сложная машина испытаний.

Разработчик слеп на созданный им прибор или систему. Завершив проектирование и выполнив все пункты технического задания, пройдя конструкторские и прочие испытания, он считает свое детище законченным и завершенным. Понимание потенциальных возможностей, равно как и заложенных недостатков, не осознается, и нет стимула к их осознанию. В процессе предполетных испытаний система и сам разработчик попадают в другие, более жесткие и многовекторные условия.

Здесь впервые прибор попадает в конфликтную ситуацию, создаваемую взаимодействием с другими приборами и системами. Формируется некая парадоксальная ситуация, когда познать реальную ценность прибора возможно только в комплексе функционирования всех бортовых систем в различных технологических условиях. Именно поэтому на вершине испытательской иерархии находятся специалисты «комплексники», в задачи которых входит испытание комплекса бортовых систем и выявление «нестыковок». Инструментом комплексной оценки являются телеметрические системы. Телеметристы, кроме испытаний собственной системы, проводят оценку правильности функционирования систем и первоначально проводят анализ возникших нештатных ситуаций (рис. 4). Лишь эти две испытательные службы владеют комплексом знаний по всем системам, и именно их касается все, что происходит с космическим аппаратом.

Испытательная бригада формировалась из военных и гражданских испытателей. Военные испытатели были штатными сотрудниками космодрома и принимали участие в испытаниях всех изделий, поступавших на Байконур, оттого и были более подготовленными, чем гражданские, которые профилировались по типу изделий. Как следствие, военные испытатели несли большую нагрузку и большую ответственность за достигнутые результаты. Сложилось некое сообщество испытателей со своими законами, где единственным и непререкаемым критерием был уровень профессионализма и, как следствие, отсутствие зависти к коллегам.



Рис. 4. Телеметристы за работой

Пока позднее время суток, а впереди ночь, можно спокойно работать. С утра начнется другая работа – бесконечные доклады и пояснения вышестоящему начальству.

Аркадий Ильич, будучи комплексником «от бога», сумел отстоять эту структуру испытательных служб в дискуссиях с главными конструкторами, и его позицию поддерживал Королёв. Именно поэтому Королёвым было введено правило, что рассмотрение результатов проведенных испытаний начиналось с доклада телеметристов, которые иногда были подобны гонцу, приносившему хорошую или плохую весть.

Специалисты, попав на работу в испытательные подразделения, вначале разочаровываются в своей профессии. Куда заманчивее и интереснее быть проектировщиком, разработчиком, где есть все возможности проявить свои способности. Аркадий Ильич никогда не торопил молодежь. Только со временем придет понимание того, что за испытателем никого нет, после него – старт. В багровых сполохах огня в небо с ревом уйдет ракета, и поздно будет что-либо исправить.

Образ испытателя как личности определяется не только особенностью его научно-технической деятельности, но гораздо больше его морально-этической стороной. Почему морально-этической? В первую очередь потому, что у испытателя нет предела необходимым знаниям, и нет предела, когда он должен уйти от процесса анализа состояния объекта, не развеяв своих сомнений, несмотря на усталость физическую или моральную. И решения свои он должен определять быстро, и никого не волнует, какое время суток сейчас, и сколько он проработал до этого – вектор работоспособности должен быть постоянным. Аркадий Ильич любил вспоминать, что при интенсивной подготовке лунника Е-3 после непрерывных двухсуточных испытаний он спросил Володю Смирнова, телеметриста ОКБ-1, сможет ли он проработать еще сутки. Тот ответил:

– Могу, но только стоя, если сяду – усну.

Ситуации бывают разные, как правило, они не повторяются, и зачастую причина неисправности находится там, где ее трудно ожидать.

...Готовился к запуску первый управляемый Лунник Е-6 (рис. 5). Аппарат прошел полный цикл испытаний и буквально был вылизан: все, что могло принести неприятности, было устранено. Объект был пристыкован к ракете, и вся связка тепловозом была вывезена на стартовую площадку и установлена вертикально в стартовом сооружении.

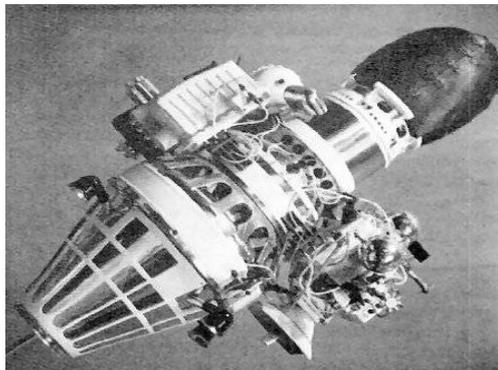


Рис. 5. Лунник Е-6

В первый стартовый день при проведении контрольной записи телеметрии было установлено, что давление наддува в баке горючего ниже того уровня, который фиксировался перед вывозом аппарата на стартовую позицию. Вроде бы мелочь, которую можно списать на суммарную погрешность измерения, на изменение внешней температуры (была середина ноября), в общем, можно было найти множество причин. Но! Просмотрели записи телеметрии после заправки газом в МИКе – все нормально, просчитали погрешность датчика – падение давления больше того, что могло быть допустимым. Газ наддува куда-то исчез. Опять черная магия – ведь объект прошел испытания на герметичность, его весь облазили с теченскателем. Даже если предположить потерю герметичности, то почему не стравился весь газ? Теперь сомнения и предположения вылились в замечание.

Доложили Королёву, и он лично прибыл на доклад по «пленкам» – так назывался официальный доклад телеметристов по результатам анализа телеметрической информации. Стало понятным, что Главный почувствовал себя неуютно – его технической интуиции можно только позавидовать.

Техническое совещание затянулось. Ближе к полуночи все версии были проговорены, но конкретного вывода никто не мог сделать. По правилам ракету следовало снять со старта, отстыковать Лунник, слить с него топливо и искать неисправность.

Королёв слушал все мнения и дискуссии, но оставался в молчаливом раздумии – что-то останавливало его для принятия кардинального решения. Тогда Аркадий Ильич прервал его раздумья:

– Сергей Павлович, ракету мы крутили, везли по рельсам. Газ мог раствориться в азотной кислоте, из-за этого и упало давление – надо повторно надуть и посмотреть, как будет изменяться давление.

Гипотеза была столь необычна и неожиданна, что Королёв спросил:

– Аркадий Ильич, у вас какая научная степень?

– Кандидат наук.

– Я Вам предлагаю пересчитать все стыки рельс от МИКа до старта, вывести зависимость, и мы присвоим Вам степень доктора наук.

Ответ был также необычным, и все рассмеялись – Королёв умел разрядить атмосферу шуткой, хотя было очевидно, что ему самому не до шуток. Однако зерно сомнения было посеяно, и никто не мог грамотно возразить.

Не выдержал Евгений Ануфриенко, начальник лаборатории комплексных испытаний космодрома:

– Аркадий Ильич, как Вы представляете провести наддув? По-вашему, мы должны симитировать контакт отделения от носителя, перейти на бортовое питание, запустить программу и ...

Евгений осекся – его взгляд наткнулся на поднятый указательный палец Королёва:

– ... извините, Сергей Павлович!

Дело в том, что в памяти еще была жива трагедия наших коллег, когда по аналогичной схеме на старте ошибочно был запущен двигатель ракеты и произошла авария, унесшая много жизней – Королёв не допускал некорректного отношения к памяти наших коллег.

Корректность была постоянным качеством Сергея Павловича. Даже в самых серьезных ситуациях он не опускался ниже той черты, за которой можно обидеть человека непризнанием его профессионализма или заслуг.

...Завершалась подготовка гагаринского «Востока» к запуску (рис. 6). После взвешивания аппарата и определения ориентировочной массы космонавта, оказалось, что необходимо уменьшить массу аппарата на несколько килограммов. Кинутый клич призывал всех думать и ... все думали.

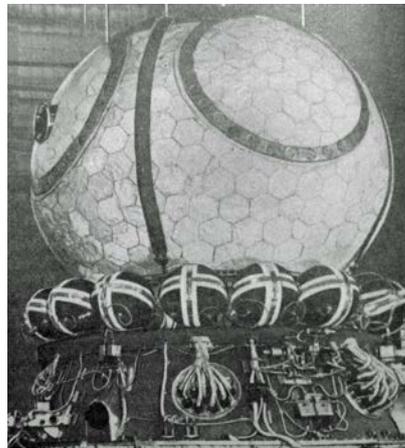


Рис. 6. Корабль «Восток» в сборе

Наиболее активный рабочий день начинался в 9 часов утра с прибытием мотовоза с десятой площадки. Расчет собирался в монтажном зале у аппарата за загородкой, которой была выгорожена площадка, на которой размещался «Восток». Рядом находились столы руководителя испытаний, телеметриста, несколько пультов и стол с регистратором (ондулятором) оперативной телеметрической системы «Сигнал». Сам аппарат стоял в центре и был опутан кабелями, уходившими на балкон и в люки подземных кабельных потерн, словно присосавшись щупальцами к земле. Отдельный вход контролировался охраной, сразу за дверью находился стенд, на котором висел суточный график работ с отметками о его выполнении. Собственно, отсюда и начинался дневной цикл испытаний.

Но сегодня он ознаменовался прибытием Сергея Павловича. Как правило, он появлялся здесь в дни великих свершений. И оно не заставило себя ждать.



Рис. 7.  
Олег Генрихович Ивановский

Навстречу Королёву вышел ведущий конструктор аппарата Олег Ивановский (рис. 7). В руках стоявшего с ним мастера кусачек Бориса Данилова была круглая большая банка из-под гироскопов, из которой торчали хвосты от отрезанных электрических разъемов.

Но вместо ожидаемой похвалы, Олег наткнулся на жесткий взгляд Королёва (рис. 8). Молча выслушав доклад Ивановского, Королёв повернулся и вышел из зала. Это было худшим предзнаменованием для Ивановского на будущее. Положительный исход любой конфликтной ситуации прогнозировался по взрывной реакции Главного. «Стоять! Цирульня. Олег Ивановский. Стрижем-бреем первый сорт» – такотреагировал Боевой листок, который издавался в недрах испытательного расчета.

Ивановский самостоятельно принял рискованное решение отрезать ненужные бортовые электрические разъемы, оставшиеся от системы аварийного подрыва, и за счет этого получить экономию массы аппарата. Будучи грамотным инженером, он прекрасно понимал, что делал, ведь от его решения во многом зависела дальнейшая судьба запуска. Также он понимал, что проторенная схема технических совещаний, бумаг и так далее, не приведут к иному техническому решению, но оно будет принято не сразу и не им. Королёв не мог простить такой вольности, особенно в очень напряженный для него период, но и не мог не понимать своевременного и технически правильного решения Ивановского – Олег был награжден высшей государственной наградой. Правда, в дальнейшем пути их разошлись.



Рис. 8. Сергей Павлович Королёв в минуты, когда ему что-то не нравилось

Ну, а сейчас Королёву надо было принимать решение.

– Телеметристы, – Королёв обратился к Владимиру Смирнову.

– Мы считаем, что проводить наддув бака сейчас нельзя ни в коем случае.

Даже если предположить наличие растворения, динамика которого нам не известна, то не исключено, что на его фоне может маскироваться другая причина падения давления. Дав вслепую наддув, мы можем стравить весь полетный ресурс. Утром необходимо провести контрольную запись и посмотреть динамику явления.

Похоже, что Смирнов подтвердил королёвские мысли. Нам Сергей Павлович преподал очередной урок, что выдержка – это обратная сторона мудрости, а мудрость – это способность не допускать ошибок при принятии решения.

Утро следующего дня подтвердило королёвские сомнения – мы поймали настоящего БОБа. БОБ на жаргоне испытателя – неисправность, которую надо найти и устранить. Полученная величина давления имела такое значение, которое уже не поддавалось никакому объяснению. Выход один – добраться до бака с датчиком и выяснить, что из них «дурит».

Лифт поднял нас максимально высоко. Далее пешком по металлическим лестницам. Миновали третью ступень и вышли на верхний мостик. Выше только конус головного обтекателя и низкие тучи, которые стараются зацепиться за него. Пока монтажник соображает, который из лючков надо открыть, обзираю необозримую казахстанскую степь. Пейзаж сродни лунному – желтый кочковатый песок с небольшими наддувами снега и далее, вплоть до линии горизонта, глаз ни за что не может зацепиться. Да, от лунного пейзажа к Луне. Наверное, к марсианским цветущим яблоням надо лететь, когда цветут тюльпаны. Но марсианское окно – тоже осень, и какие там тюльпаны. А пока надо получить выходной билет от Земли, а его надо заслужить. По шлемофону получаю замечание, что поднялся наверх без страховочного пояса, в разговор вмешивается Ануфриенко:

– Чтобы проще было смываться...

Действительно «накаркал». Запах азотной кислоты ударил в нос при попытке визуального осмотра – на поверхности тороидального бака горючего была небольшая лужица азотной кислоты, вытекшая из статического штуцера датчика давления. Стало очевидным, что нарушена герметичность мембраны датчика, кислота попала в его негерметичную полость, повредила электрические цепи и вылилась на поверхность бака горючего, заполненного диметилгидразином. Последнее особенно неприятно, поскольку при контакте эти компоненты самовоспламеняются.

Как наяву, вспомнились сполохи огня от горевшей в результате аварии ракеты, когда один из ее блоков упал и взорвался рядом с МИКом. Первая мысль – убежать от огня, но куда – мы выше всех. Вспомнился недавний шашлык на берегу Сырдарьи. Раз не уйти, то надо предотвратить. Первый вопрос – откуда взялась азотная кислота – ее там не должно быть. Как сменная карта в голове – чертеж места установки датчика – приемный патрубок давления располагается над зеркалом окислителя, бак наддут и жидкость не может туда попасть, следовательно, не было давления наддува, и в горизонтальном положении кислота заплеснулась в датчик. Похоже, что в предположении Осташёва есть зерно истины. Стало спокойнее – если не загорелись до, то почему это должно случиться позже.

Как билет перед экзаменом, повторяю свое умозаключение – вроде бы все правильно, к тому же кислота повредила электрические цепи датчика – оттого и липовые измерения давления, и сейчас ее «пир» продолжается. Как следствие происшедшего – разгерметизация бака окислителя и невозможность устойчивого запуска двигателя – но это промелькнуло на краю сознания с мыслью, что это уже не моя проблема. Пришло время доложить.

По шлемофонной связи докладываю, что вижу следы протекания окислителя на бак горючего. В шлемофонном циркуляре тишина, а затем следует команда – всем покинуть фермы обслуживания, расчету телеметрии оставаться на месте. Сверху хорошо видно, как люди схлынули от ракеты и начали уходить подальше от нее – никто не убежал – быть трусом и паникером никому не хотелось, во всяком случае, не быть первым в этом процессе. Навстречу не спеша двигается ситу-

ловатая фигура Королёва – теперь на нулевой отметке их двое – начальник управления Кириллов (рис. 9) и Королёв. И мы с Валерием Буцыком наверху. Мысль, пытаясь прогнать панику, продолжает резвиться – комплект для шашлыка готов: мы с Буцыком и угли внизу.

Далее процессом, не спеша, стал управлять Королёв. Спокойно выяснив все обстоятельства происшедшего, с шутливыми комментариями утвердил мои предложения все-таки добраться до датчика и измерить сопротивление потенциометра, чтобы окончательно снять все сомнения и отключить электрический разъем датчика от сети. Прикрыв снятой меховой курткой азотную лужу, мы в течение часа отыскивали необходимый электрический разъем в жгутах. Проверка подтвердила наши предположения о неисправности датчика и разгерметизации бака окислителя. Только после этого мне было позволено спуститься для более детального «допроса».



Рис. 9. Анатолий Семенович Кириллов в бункере у перископа

Разговор был спокойный, словно ничего не произошло – штиль после бури или тишина перед штормом. Королёв попросил нарисовать схему датчика и обосновать мои предположения, что я и сделал, нарисовав схему на мятом листе бумаги, извлеченном из кармана. Выслушав меня, Королёв неожиданно резко повысил голос:

– Ты что мне подсовываешь, я – главный конструктор, а ты мне рисуешь на грязных листках. Вызови сюда Лыгина.

Понятно, Главный разрядился – теперь вместе с Лыгиным будут соображать, что делать. И пока мы готовили ему справку, как по косвенным признакам установить наличие наддува, Лыгин с монтажниками соорудил металлическую коробку с эпоксидкой, куда и заключили «негодяя».

Реконструкция происшедшего показала, что правы оказались все: в основе проблемы лежала недоработка конструктора, не предусмотревшего такой вариант, и выбранный датчик, не отвечавший жестким условиям эксплуатации. Истина многогранна, и в ее поиске есть место любому сомнению как началу пути к ней или к какой-то ее грани.

Цена решения испытателя велика, еще большая цена его недосмотра или ошибки, порой они трагичны и не забываются. Это про них сказано: «Грехи их чертят на металле, заслуги пишут на песке».

Но вернемся снова к испытаниям в безэховой камере.

В среде испытателей сложился некий закон, гласивший: «Объект всегда прав». Действительно, находясь во взаимодействии с внешней средой и под воздействием испытательного оборудования, иногда создаются условия для получения реакции, подобной отказу – и тогда приходится разгадывать сущие головоломки. Вот и сейчас Александров чувствовал аналогичную ситуацию. По его просьбе телеметристы просмотрели и проанализировали записи предыдущих испытаний, в надежде найти хоть какую-то зацепку, могущую привести к разгадке этой ситуации. Остался один выход – создать несколько иную ситуацию для функционирования объекта и посмотреть его реакцию.

Сейчас такую частную программу испытаний, предложенную СОУДовцами, изучал Аркадий Ильич. Его никто не торопил, зная бессмысленность этого занятия: в этом человеке сложились или безудержная гонка процесса испытаний, невзирая ни на что, или остановка для мысленной оценки ситуации и путей выхода из нее.

– Что же, все логично – посмотрим результат, – сказал он, подписывая документ. Далее стала работать вторая сторона его характера.

Еще немного времени для записи программы в бортовой журнал и получения согласующих подписей. Все готово на пути к поиску момента истины.

– Стать на связь и доложить «Сто первому» о готовности.

Несколько минут ушло на то, чтобы подтолкнуть замешкавшегося оператора, и вот в шлемофонах звенящая тишина.

– Подаю напряжение на борт, сто четвертый – протяжка.

Теперь все внимание на движение платформы – Александров сидит рядом с оператором «Иглы», одновременно через прозрачное стекло наблюдая, как платформа обрабатывает последовательность подаваемых команд. Пока все нормально, но это пока, поскольку опять выдан сигнал аварии. Но становится понятным и другое – выданные объектом команды из системы управления бортовым комплексом неправильно обрабатываются платформой. Что? Объект опять прав? Теперь это уже головная боль самого Александрова – вот от чего у него в голове вертелся вопрос: «Кто крайний – я за Вами». Но ведь раньше было все нормально. Вероятной причиной возникновения такой ситуации может быть несоответствие углов наклона платформы и объекта.

Александров просит привести платформу в ноль – так и есть – платформа недорабатывает десятые доли градуса и останавливается. Это уже результат, но поиск причины впереди. Что это? Чья-то ошибка или измененный алгоритм управления? Время простых ошибок прошло, технологических «ляп» тоже, значит недопонимание конструкторов, когда один пошел прямо, а второй чуть-чуть прямее. Саша начинает перебирать в памяти доработки, которые проходили в этот период. Были работы по увеличению быстродействия СУБК, а значит, могла быть уменьшена ширина командного импульса и входные цепи блока управления платформой неадекватно воспринимали поданные команды. Похоже, причина в этом, и надо разбираться с разработчиками платформы.

Все завершилось. За окном светлело. Саша достал пачку из кармана – надо же, шесть часов и ни одной сигареты.

УДК 629.78.007

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ  
КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КНР:  
ИСТОРИЯ И ПОЛИТИКА**

О.В. Матвеев А.С. Харланов

Докт. ист. наук, профессор О.В. Матвеев (Финансовый университет при Правительстве РФ)

Канд. техн. наук, докт. экон. наук, профессор А.С. Харланов (Дипломатическая академия МИД РФ, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Исследованы материалы в области космической деятельности КНР, выявлены основные направления освоения космического пространства (пилотируемые полеты, научные исследования, программы в интересах экономики), обобщены отдельные аспекты космических программ КНР. Авторы пришли к выводам, что китайская политика отличается государственной поддержкой, целеустремленностью, практической направленностью и плановостью. Создан цельный комплекс космической промышленности, который на основе единого государственного плана производит разработку и запуск космических аппаратов связи и вещания на орбиту, осуществляет наземное обеспечение, организует операционные услуги и т.д.

**Ключевые слова:** Shenzhou («Небесная ладья»), Центр научно-исследовательской подготовки китайских космонавтов, Tiangong («Небесный дворец»), Yinghuo («Свет светлячка»).

**Some Aspects of Space Activities of China: History and Politics.****O.V. Matveev, A.S. Kharlanov**

The paper deals with materials, related to Chinese activity in space, and with the main trends in space exploration (manned missions, research, programs in the interests of the economy) and summarizes some aspects of China's space programs. The authors concluded that the Chinese strategy is characterized by government support, purposefulness, practical focus and planned character. They created a monolithic industrial complex which ensures the development, designing, building and launching of space communications and broadcasting satellites, provides the ground-based support, operational maintenance and so on.

**Keywords:** Shenzhou («A heavenly castle»), Center of research training of the Chinese astronauts, Tiangong («The heavenly palace»), Yinghuo («Light of a glowworm»).

Космическая деятельность (КД) стала одним из важнейших элементов научно-технического потенциала государств, показателем уровня его экономического развития, важнейшим фактором укрепления международного авторитета [1, 2]. Эффективная КД в современных условиях – это наиважнейшее звено инновационного развития экономики, создающее новые научные, технологические и технические направления. Вследствие того, что космос – это оборонный щит государства с современной качественной связью, навигацией, своевременным выявлением природных и иных явлений и катаклизмов, растет число государств, рассматривающих космос как зону своих геополитических и экономических интересов. Для укрепления конкурентных позиций в этой сфере более 120 стран мира участвуют в КД, не жалеют ни сил, ни средств [3].

Космическая программа КНР начиналась в 1956 году, с задачами вывода на орбиту космического аппарата (КА) в ознаменование 10-летней годовщины образования Поднебесной, разработки баллистических ракет (БР). В 1959 году запуск

КА в космос завершился неудачей. А успешный запуск первой китайской БР DF-1 состоялся в 1960 году, которая была практически точной копией советской ракеты Р-2 [4].

До 1968 года все космические разработки были военного назначения. Но с создания Исследовательского института космической медицины и инженерии (ныне – Центр научно-исследовательской подготовки китайских космонавтов) и начала отбора кандидатов в тайконавты (китайский аналог космонавтов) КНР приступила к отработке задач мирного освоения космоса. Вследствие принятых мер политического и экономического характера, уже в 70-е годы XX века КНР стала космической державой мира.

Первым шагом стало успешное выведение на орбиту в 1970 году КА «Донг Фан Хун I» (Dong Fang Hong I, «Красный Восток»), имевшего задачу трансляции песни о великом кормчме Мао. В последующие годы в КНР были построены собственные космические системы телевизионного вещания и спутники для трансляции образовательных программ; созданы несколько систем спутников дистанционного зондирования поверхности Земли (ДЗЗ), в том числе сеть геостационарных и низкоорбитальных метеорологических КА; успешно реализованы планы исследования Луны, запустив к ней возвращаемый аппарат и доставив на Землю лунный грунт. Несмотря на то, что достижения китайской космонавтики значительно уступали космическим программам СССР и США, Китай вошел на международный космический рынок пусковых услуг более 20 лет назад. Однако в период 1992–1996 гг. при запусках КА произошел ряд аварий, и КНР покинула рынок пусковых услуг на 12 лет. Но несмотря на скромные достижения, рассматривались планы по организации пилотируемых полетов, которые до середины 90-х годов XX века не смогли быть реализованы. Поэтому в 1994 году у России были закуплены некоторые технологии, разработанные еще в середине XX столетия и используемые для производства самых надежных из существующих космических кораблей типа «Союз». Как следствие, в конце первого десятилетия XXI века Китай успешно вернулся на международный космический рынок, но уже с комплексной услугой, включающей разработку КА, вывод их на орбиту и финансирование проектов. Это позволило строить КА почти для десятка стран.

В новом столетии руководством КНР были приняты меры, направленные на обеспечение устойчивого развития космической отрасли. Прежде всего:

- на совершенствование законодательной базы;
- внедрение новых методов управления производством;
- обеспечение деятельности в космосе с соблюдением определенных стандартов.

Государство поддержало инновации в области космических технологий и способствовало созданию в космической отрасли поощрительной системы, позволяющей усилить потенциал ее технологического обновления. Вместе с тем, государственная поддержка отрасли сочеталась с использованием для ее развития рыночных принципов. В 1999 году ракетно-космическая промышленность (РКП) по решению Госсовета Китая была реорганизована. Единственная в стране Китайская аэрокосмическая корпорация РКП (*China Aerospace Corporation*) была преобразована в две независимые государственные коммерческие корпорации, конкурирующие между собой: Китайскую аэрокосмическую научно-промышленную

корпорацию (*China Aerospace Science and Industry Corp., CASIC*)<sup>1</sup> и Китайскую корпорацию космической науки и технологии (*China Aerospace Science and Technology Corp, CASC*) [4]. Поэтому закономерно, что вся научно-исследовательская и производственная деятельность по ракетно-космической (военной и гражданской) технике сосредоточена в двух крупнейших государственных космических корпорациях. Обе корпорации являются государственными коммерческими предприятиями и имеют структуру, позволяющую осуществлять в полном объеме научные исследования, разработки и производство военной и гражданской космической продукции. В настоящее время китайская РКП является одной из крупнейших не только в Азии, но и в мире как по численности персонала, так и по объемам продаж. По данным Rand Corporation, в 2002 году в компаниях CASC и CASIC работало порядка 260 тысяч человек, соответственно 110 и 150 тысяч человек [5].

Принятые меры позволили в ознаменование 50-летнего юбилея КНР в 1999 году провести первый запуск КА «Шэньчжоу-I» (*Shenzhou-I*, «Небесная ладья»<sup>2</sup>) без космонавтов на борту, функционирующий в космосе 21 час. В 2001 году на борту второй «Небесной ладьи» уже находились собака, обезьяна, кролик, мыши, клетки и образцы тканей еще почти сотни животных и растений, и микроорганизмы. Последующие два КА доставили на орбиту манекены людей в натуральную величину. А в 2003 году в космос на борту КА «Шэньчжоу-V» (пятой «Небесной ладьи») был запущен китайский тайконавт Ян Ливей (*Yang Liwei*), который в течение 21 часа 22 минут совершил 14 витков вокруг Земли. В 2005 году состоялась вторая китайская пилотируемая миссия, полет которой осуществлялся пять дней. Во время третьего запуска на орбиту КА «Шэньчжоу V» в 2008 году впервые в истории китайской космической программы тайконавт Чжай Чжиган (*Zhai Zhigang*) совершил выход в открытый космос, где находился 25 минут (из запланированных 40 минут).

Результаты исследованного материала показали, что расцвет китайской КД пришелся на первое десятилетие XXI века, о чем свидетельствуют успешные запуски на орбиту 87 спутников, в том числе 20 спутников в 2010 году [3]. Китай перешел на собственный путь развития ракет-носителей [7], который стал направлением конкурентной борьбы за заказы. При этом надежность успешного запуска отдельного спутника в Китае составляла 100 %, а такого успеха в это время не смогли добиться ни Россия, ни США [8].

За период 1970–2010 гг. Китай построил 147 КА для своих нужд и 6 КА для других стран. Из 147 КА успешно выведены на орбиту 138 КА. Надежность успешного запуска спутника в КНР за весь период равна 93,9 %, что превышает надежность выведения российских и американских КА. Кроме того, Китаем было закуплено 9 КА у европейских и американских производителей. Орбитальная

---

<sup>1</sup> Китайская аэрокосмическая научно-промышленная корпорация (*China Aerospace Science and Industry Corp., CASIC*) была сформирована на базе Китайской корпорации аэрокосмической техники и электроники (*China Aerospace Machinery and Electronics Corporation, CAMEC*) (Прим. авт.).

<sup>2</sup> КНР заимствует многие технологии у России: «Небесная ладья» во многом скопирована с российской ракеты-носителя «Союз», а китайские скафандры являются несколько модифицированными версиями отечественных «Соколов» (Прим. авт.).

группировка КНР по состоянию на 31.12.2010 г. составляла 69 КА, а в 2013 году – уже 121 КА<sup>3</sup>.

Согласно официальной информации, в 2011 году Китайское объединение космических технологий по результатам работы получило операционную выручку в размере 100 млрд юаней (15,87 млрд долларов). По словам представителя компании, к 2015 году было запланировано доведение финансового показателя до 250 млрд юаней, что составляет годовой рост около 20 % [10].

Начальник отделения по делам космических полетов Китайского объединения космических технологий Чжао Сяоцинзнь на пресс-конференции, устроенной пресс-канцелярией Госсовета КНР, свидетельствовал, что в период 12-й пятилетки (2011–2015 гг.) были запланированы запуски 100 ракет с целью вывода на орбиту 100 КА. В 2011 году Китай выполнил 19 космических запусков, благодаря которым поднялся в космос 21 КА, включая 3 навигационных спутника «Бэйдоу», космический модуль «Тяньгун-1» и космический корабль «Шэньчжоу-8». По количеству выполненных в 2011 году космических запусков Китай занял второе место в мире, мировым лидером стала Россия (36 запусков), на третьем месте – США (18 запусков). В последующие 4–5 лет в Китае было запланировано выполнение ежегодно в среднем около 20 космических запусков и вывод на орбиту 7–8 КА серии «Бэйдоу». «В целях выполнения таких нелегких задач наше объединение готово принять ряд новых мер, включая серийное производство ракет-носителей, сосредоточение сил на преодолении технических проблем», – заявил Чжао Сяоцинзнь [10]. В 2012 году был запланирован запуск 21 ракеты и 30 спутников, включая запуск КА «Шэньчжоу-9» с тремя космонавтами на борту, с целью стыковки с аппаратом «Тяньгун-1». Начался второй этап пилотируемой космической программы Китая. Планы страны в освоении космоса чрезвычайно амбициозные, китайцы планируют сконструировать постоянную космическую станцию, организовать пилотируемые полеты на Луну и даже пилотируемый полет на Марс в 2040–2060 годах. Китайские власти не очень распространяются относительно будущих миссий, так что никаких конкретных дат старта для «Шэньчжоу-11» или «Тяньгун-2» объявлено не было.

Вместе с тем, результативность космической деятельности позволила КНР уже к 2015 году планировать запуски по 20 ракет и примерно такое же количество спутников на орбиту. А в 2016 году была запущена 21 ракета (ракеты-носители «Чанчжэн-3В Y29», «Чанчжэн-4В», «Чанчжэн-2D Y32», «Чанчжэн-2D Y33») и 41 спутник, включая 6 спутников иностранных государств (Белоруссии, Аргентины<sup>4</sup>, Испании, Люксембурга, Бразилии) [16].

Анализ обобщаемого материала свидетельствует, что на рубеже веков в результате политики китайских государственных органов в области освоения космического пространства КД КНР развивалась стремительно на базе сформирован-

---

<sup>3</sup> КНР планирует запустить в космос в течение нескольких ближайших лет до 120 спутников. Такое количество космических аппаратов связано с возрастающими в стране потребностями в космических технологиях. В основном это до 30 навигационных спутников и 20 спутников, предназначенных для передачи теле- и радиовещания. Навигационные спутники обеспечат китайскую глобальную навигационную систему. Кроме того, планируется вывести на орбиту метеорологические спутники и спутники для зондирования Земли. Открытые данные орбитальной группировки КНР по состоянию на 2017 год отсутствуют (*Прим. авт.*).

<sup>4</sup> В интересах Бразилии было запущено два космических аппарата (*Прим. авт.*).

ного промышленного космического комплекса и включала ряд основных направлений (см. таблицу).

Таблица

Основные направления китайской космической деятельности

№	Направления космической деятельности
<b>1. Космические научные исследования (пилотируемые полеты)</b>	
1.1	Полеты орбитальной станции
1.2	Пилотируемые полеты по программе освоения Луны
1.3	Пилотируемые полеты по программе исследования Марса
<b>2. Космические программы в интересах экономики</b>	
2.1	Орбитальная группировка гражданских спутников связи и вещания
2.2	Метеорологическая спутниковая система
2.3	Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли
<b>3. Космические программы военного назначения</b> (космическая разведка, навигация, противоракетная и противокосмическая оборона и др.) <sup>5</sup>	

Опыт мировой КД свидетельствует, что в настоящее время усилия направлены на исследования на постоянной основе околоземного космического пространства, солнечной системы, планет и астрофизических процессов. При этом особое место в КД заняли лунная и марсианская программы.

Поэтому закономерно, что китайские пилотируемые полеты стали частью масштабной программы освоения космоса, включающей создание собственной орбитальной станции, отправку пилотируемой миссии на Луну и освоение Марса. Поднебесная разрабатывает все эти направления и по некоторым уже добилась заметных результатов. Именно под лунную и марсианскую программы разрабатывается китайская ракета-носитель тяжелого класса, способная вывести в космос полезную нагрузку весом 130 тонн. Этот проект рассматривается как один из важных шагов КНР в реализации стратегии освоения космоса и значительного повышения уровня космических технологий.

**Космические научные исследования (пилотируемые полеты)** представлены:

- полетами орбитальной станции;
- пилотируемыми полетами по программе освоения Луны;
- пилотируемыми полетами по программе исследования Марса.

**Полеты орбитальной станции.** В связи с тем, что Китай не является постоянным участником программы Международной космической станции, однако уже в 2011 году было запланировано создание собственной орбитальной станции. Предполагалось, что первый лабораторный модуль будущей станции с названием «Тяньгун-1» (Tiangong-1, или «Небесный дворец») отправится в космос в конце 2010 года, но впоследствии дата старта была перенесена на вторую половину 2011 года, что подтверждал экс-ведущий конструктор китайской программы пилотируемых полетов Ци Фажэнь (Qi Faren) [11]. Кроме того, к 2020 году было запланировано расширение внутреннего пространства станции «Небесный дворец» еще одним лабораторным и одним основным модулями. По заложенным характеристикам китайский аналог МКС должен функционировать на орбите не меньше десяти лет.

Китайская космическая программа предполагала стыковку с «Небесным дворцом» трех космических кораблей «Шэньчжоу-8, 9, 10». Последние два долж-

<sup>5</sup> В данной статье космические программы военного назначения не рассматриваются (Прим. авт.).

ны были доставить к модулю «Тяньгун-1» по 2–3 тайконавта. Успешный старт пилотируемого космического корабля «Шэньчжоу-10» с тайконавтами Nie Haisheng, Чжан Сяогуаном и Ван Уаринг состоялся 11 июня 2013 года с космодрома Цзюцюань. Миссия экипажа заключалась в проведении 15 дней на орбите и успешной стыковке с космической лабораторией «Тяньгун-1». По состоянию на 2017 год космическую станцию «Тяньгун-1» сменила «Тяньгун-2», к которой уже выполнен пилотируемый полет. Полеты к «Тяньгун-1» завершены, и как сообщила заместитель директора управления пилотируемых космических полетов Китая У Пин, «космический аппарат класса орбитальной станции «Тяньгун-1» («Небесный дворец» – первая китайская космическая станция, запущенная в сентябре 2011 г.) войдет в плотные слои атмосферы Земли в конце 2017 года». При этом заместитель директора заявила, что «в соответствии с расчетами и анализом данных, большинство узлов космической лаборатории сгорят во время падения»<sup>6</sup>.

КНР 16 октября 2016 года осуществила запуск на орбиту «Шэньчжоу-11» – пилотируемый корабль с двумя тайконавтами на борту, у которых было запланировано проведение конкретных работ.

Первого космонавта Китай запустил в космос в 2003 году, отстав от России на 42 года. В 2016 году китайцы осуществляли передовые проекты в космосе, имеют 181 спутник на орбите, практически полный набор спутников, за исключением системы раннего оповещения. Когда Международная космическая станция прекратит свою работу, Китай сможет оказаться единственным государством, обладающим постоянным присутствием космонавтов в космосе.

**Пилотируемые полеты по программе освоения Луны.** Лунная программа началась в 2007 году с запуска зонда «Чаньэ-1» («Chang'e-1» – имя одной из богинь китайского эпоса)<sup>7</sup>, ведущий конструктор китайских лунных аппаратов Е Пэйцзянь (Ye Peijian). Зонд «Чаньэ-1» провел на орбите Луны 16 месяцев и завершил свою миссию 2 марта 2009 г., «прилунившись» (врезавшись) на поверхности спутника Земли. Китайские специалисты на основании собранных зондом данных составили карту распределения некоторых химических веществ и топографическую карту лунной поверхности. Другой лунный зонд «Чаньэ-2», имевший конструктивные отличия от своего предшественника, был запущен 1 октября 2010 года, в целях изучения поверхности земного спутника и подбора места для посадки лунного зонда «Чаньэ-3», в задачу которого входит исследование Луны «органолептически». Запуск третьей «Богини» состоялся 2 декабря 2013 года с задачей «прилунения» в районе кратера Залива радуги (Sinus Iridum) [12]. КА «Чаньэ-3» вышел с переходной орбиты на круговую орбиту высотой 100 километров над поверхностью Луны после 361-секундного торможения. Зонд состоял из посадочного модуля и шестиколесного лунохода, названного «Юйту» («Нефритовый заяц»), обладающего ресурсом функционирования в три месяца<sup>8</sup>. Луноход, способный развивать скорость до 200 км/ч, продвигаясь по Луне, выполнял

<sup>6</sup> Китайская космическая станция может бесконтрольно рухнуть на Землю // Коммерсант, 2016. 21 сентября.

<sup>7</sup> Китайская программа зондирования Луны «Чаньэ», названная в честь древней китайской богини Луны, включает три этапа: облет вокруг спутника Земли («Чаньэ-1» и «Чаньэ-2»), посадка на Луну («Чаньэ-3» и «Чаньэ-4») и возвращение с Луны на Землю («Чаньэ-5» и «Чаньэ-6») (Прим. авт.).

<sup>8</sup> «Нефритовый заяц» – в честь мифологического зайца, принадлежащего богине «Чаньэ» (Прим. авт.).

задачи исследования геологической структуры и вещества на поверхности спутника. В качестве источника питания «Юйту» использовалась энергия, выделяющаяся от распада радиоактивных изотопов.

Китайское национальное космическое управление (КНКУ) 24 октября 2014 года осуществило запуск беспилотного испытательного аппарата к Луне. После трех тормозных маневров и стабилизации полета по круговой орбите космический аппарат совершил облет спутника на высоте 200 км для проведения испытаний ключевых моментов технологических особенностей, необходимых для получения данных по обеспечению следующего полета на Луну. В конце ноября 2014 года модуль достиг вторую точку Лагранжа<sup>9</sup> и покинул точку в январе 2015 года после завершения всех заданных научных задач. Результаты полученных исследований будут использованы для подготовки следующей миссии «Чанъэ-5» к Луне в 2017 году по программе Китая – орбита, посадка и возвращение.

Китайской программой освоения Луны запланирована отправка тайконавтов на 2017 год. Кандидаты, из которых будет набираться экипаж для этой миссии, уже приступили к тренировкам.

**Пилотируемые полеты по программе исследования Марса.** Китайские ученые и государственные чиновники планируют уже в XXI веке отправить на Марс тысячи человек для создания «запасной китайской цивилизации» на случай глобальных катаклизмов на Земле, способных уничтожить существующую цивилизацию. К таким катаклизмам относят ядерную войну, наступление нового ледникового периода или столкновение Земли с крупным небесным астероидом. Ученые Поднебесной полагают, что Марс является наиболее пригодным местом (присутствует хорошая гравитация, есть минералы, вода и т.д.) для создания внеземного космического поселения необходимой численности. Численность поселения должна составлять около 1000 человек, чтобы после земной глобальной катастрофы могли вернуться на нашу планету и возродить китайскую земную цивилизацию. По мнению ученых, покорение Марса приведет к тому, что КНР станет реальным лидером современного мира в космической деятельности. Китайская академия космических технологий предложила программу самостоятельного проведения марсианской исследовательской миссии в 2013 году. Проект был основан на платформе автоматического зонда «Чанъэ-1» («Chang'e-1»), успешно запущенного к Луне в 2007 году, с использованием других космических технологий национальной программы лунных исследований. Запуск первого марсианского зонда «Yinghuo-1» («Свет светлячка») был запланирован на 2009 год.<sup>10</sup> По некоторым данным, конструкция зонда напоминала конструкцию лунных зондов, причем представители китайской космонавтики отмечали, что все научные приборы будут изготовлены в КНР. В космос КА должна была вывести ракета-носитель

<sup>9</sup> (лат. Librātiō – раскачивание) или L-точки – точки в системе из двух массивных тел, в которых третье тело с пренебрежимо малой массой, на которое не действуют никакие другие силы, кроме гравитационных сил со стороны двух первых тел, может оставаться неподвижным относительно этих тел [13].

<sup>10</sup> Марсианский зонд «Yinghuo-1» – третий крупный исследовательский проект Китая после пилотируемой программы и лунной миссии. Запуск запланирован совместно с российским аппаратом «Фобос-Грунт», предназначенным для сбора образцов грунта на марсианском спутнике Фобос. Китайский марсианский зонд, миссия которого рассчитана на два года, попытается объяснить исчезновение воды на планете и другие изменения в окружающей среде Марса (Прим. авт.).

«Протон-М» совместно с российской АМС «Фобос-Грунт», запуск которой по техническим причинам, не указанным российской стороной, был отложен. В результате старт марсианского зонда «Yinghuo-1» был перенесен на ноябрь 2011 года.<sup>11</sup> Информация о переносах поступала неоднократно – вначале на ноябрь 2013 года, затем было объявлено о запуске в 2016 году (с одной стороны, при условии того, что китайские инженеры не успеют закончить все работы к концу 2013 года, а с другой – когда вновь наступит благоприятное время для запуска, определяемое максимальным сближением орбиты Земли и Марса)<sup>12</sup>.

**Космические программы в интересах экономики** представлены работами по развертыванию орбитальной группировки:

- гражданских спутников связи и вещания;
- метеорологической спутниковой системы;
- спутниковых систем дистанционного зондирования Земли.

**Орбитальная группировка гражданских спутников связи и вещания.** В Китае на рубеже XX и XXI веков на базе основательно сформированного промышленного космического комплекса стремительно развивались спутниковая связь и вещание. Последнее позволяет КНР разрабатывать и выводить на геостационарные орбиты спутники связи и непосредственного вещания с длительным сроком эксплуатации, высокой надежностью и большой энергетикой. Спутники, отвечающие требованиям времени, позволяют развивать широкий спектр услуг, активно продвигать процесс рыночной ориентации космических технологий и увеличить масштабы прикладного применения спутниковой связи и вещания на всей территории немалой страны. В стране создана и успешно работает широкополосная сеть дистанционного обучения на базе спутниковой связи и сеть космической медицины. Китай создал глобальную сеть мобильной и фиксированной спутниковой связи, войдя в число стран, обладающих передовыми космическими технологиями; построил и запустил спутники связи и вещания для Нигерии, Венесуэлы и Пакистана. В КНР строятся спутники для Белоруссии и других стран [3].

**Метеорологическая спутниковая система.** В начале 80-х годов XX века Китай в рамках «Программы поддержки разработок» (United Nations Development Program, UNDP) Организации Объединенных наций получил финансирование на приобретение американской системы приема и обработки спутниковых данных, что позволило выйти на уровень практического использования космической информации и подготовить отечественных специалистов по спутниковой метеорологии. В 1997 году КНР запустила первый геостационарный метеоспутник собственной разработки и стала пятым в мире обладателем метеоспутника после США, России, Японии и Европейского союза. В Китае создано три поколения метео-

---

<sup>11</sup> Российская попытка запустить 9 ноября 2011 года с Байконура автоматическую межпланетную станцию «Фобос-Грунт», на борту которой также находился китайский зонд «Yinghuo-1», завершилась неудачей. «Фобос-Грунт» предназначался для забора и доставки на Землю грунта со спутника Марса – Фобоса, Yinghuo-1 должен был выйти на орбиту планеты. Использувавшаяся для запуска российско-украинская ракета-носитель «Зенит-2СБ» выполнила свою задачу – вывела станцию на опорную орбиту. Однако «Фобос-Грунт» не смог выйти на траекторию перелета к Марсу, так как произошел сбой автоматики, вследствие чего в расчетное время аппарат не включил двигательную установку. Не сгоревшие в плотных слоях атмосферы обломки «Фобос-Грунта» и «Yinghuo-1» упали в Тихий океан в январе 2012 года (*Прим. авт.*).

<sup>12</sup> В связи с отсутствием информации по данному вопросу, авторы предполагают о невозможности осуществления данных планов в настоящее время (*Прим. авт.*).

спутников типа FengYun («Фэнъюнь»), продолжаются работы по КА четвертого поколения FengYun-4, запуск которого был запланирован на 2013 год. За управление метеорологическими спутниками, сбор и обработку космических данных отвечает Национальный центр спутниковой метеорологии (*National Satellite Meteorological Center, NSMC*). Китайские метеорологические спутники на полярной и геостационарной орбите включены в международную систему оперативных метеорологических спутников Всемирной метеорологической организации, где занимают одно из ключевых мест. Информация с успехом применяется для разработки метеопрогнозов, мониторинга окружающей среды и чрезвычайных ситуаций, а также в сельском и лесном хозяйстве в Бангладеш, Индонезии, Иране, Монголии, Пакистане, Таиланде и других странах. Китай, опираясь на успехи национальной космической индустрии, укрепляет лидирующие позиции в динамично развивающемся регионе и именно поэтому подарил пользовательские станции 14 странам Азиатско-Тихоокеанского региона [14]. В КД в области спутниковой метеорологии Китай является второй державой после США.

**Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).** Государственная поддержка позволила китайским ученым и инженерам успешно справиться с комплексом ключевых технологических проблем в этой области и в короткое время существенно повысить технический уровень наземных и космических систем, создать аппаратно-программные средства прикладного уровня. Как следствие, постепенно на плановой основе Китай расширял космическую деятельность в сфере спутникового зондирования Земли.

Были созданы и модернизированы центральные и местные структуры управления: платформа радиометрического калибрования для спутников оптоэлектронного наблюдения, Китайский центр прикладного использования спутников для мониторинга за использованием земельных ресурсов, Государственный центр спутникового зондирования Земли, Государственный спутниковый метеорологический центр, Национальная служба прикладного использования морских спутников и Китайская наземная спутниковая станция. Для наиболее важных отраслей народного хозяйства спутники ДЗЗ используются в оперативном режиме. Это, прежде всего, относится к охране окружающей среды, предупреждению и ликвидации последствий стихийных бедствий, геодезии, сельскому и лесному хозяйствам, землепользованию, метеорологии, гидрологии, мониторингу океанов и морей, региональному и городскому планированию. Спутники ДЗЗ сыграли важную роль при проведении всекитайского обследования земельных ресурсов, при строительстве газопровода «Запад-Восток», возведении гидроузла на реке Янцзы и ряда других крупных инфраструктурных объектов.

Спутники, созданные в стране, успешно работают на орбите. На орбиту было запущено 27 спутников ДЗЗ, из которых в начале 2011 года целевую функцию выполняли 17 КА. Не один из выведенных из эксплуатации гражданских спутников ДЗЗ не работал менее трех лет, за исключением КА FSW-18 (Jian Bing). Спутниковый мониторинг за выполнением правил землепользования покрывает всю территорию Китая [3].

Китай создает систему мониторинга природных катастроф и техногенных аварий из восьми спутников. Четыре спутника этой системы типа Huan Jing-1A (Хуань Цзин) оснащаются оптической аппаратурой и четыре спутника типа Huan Jing-1C – радиолокационной аппаратурой. Это позволит снимать районы бедствий

и катастроф круглосуточно<sup>13</sup>. Китай продолжает наращивать спутниковую систему видовой оптической и радиолокационной разведки на базе нескольких КА типа Yaogan Weixing. Во время сильнейшего землетрясения в мае 2008 года в провинции Сычуань правительство сумело мобилизовать для обслуживания района бедствия группировку из 15 спутников различного назначения, что позволило осуществлять оперативный мониторинг района и принимать правильные решения по ликвидации последствий этой природной катастрофы.

В 2015 году китайское правительство заявило о планах по изучению космоса, его темной материи и микрогравитации, что необходимо для дальнейшего освоения космического пространства китайскими космонавтами. В этих целях будут запущены серии спутников, которые достигнут ранее неизведанные области Вселенной. Директор Государственного научно-космического центра КНР У. Цзи заявил о намерении взять пробы темной материи. Более того, китайский чиновник свидетельствовал о намерении следовать своим путем, а не за другими странами в вопросах освоения космоса, разрабатывая свою космическую программу и ставя более серьезные задачи перед своими инженерами. В настоящий момент все четыре спутника успешно завершают тестовые испытания. При этом старт первого КА, который непосредственно займется изучением темной материи Вселенной, состоялся в конце 2015 года. Китайские ученые планируют узнать о проводниковых и энергетических свойствах данного объекта, хотя на практике доказать существование темной материи еще никому не удавалось. Затем во второй половине 2016 года состоялся запуск нового спутника SJ-10 для исследования микрогравитации, что позволит в перспективе запускать в дальний космос пилотируемые аппараты. Кроме того, Китай твердо намерен развернуть в космосе свой телескоп, который сможет фиксировать рентгеновское излучение космических объектов [15].

**Таким образом,** результаты обобщаемого материала позволяют сделать следующие **выводы.**

1. Китайская политика в области КД в интересах экономики отличается государственной поддержкой, целеустремленностью, практической направленностью и плановостью. Создан цельный комплекс космической промышленности, который на основе единого государственного плана производит разработку и запуск КА связи и вещания на орбиту, осуществляет наземное обеспечение, организует операционные услуги и т.д.

2. КНР построила космическую систему спутникового вещания и космическую сеть трансляции образовательных программ на спутниках собственного производства, самостоятельно разрабатывает и выпускает бортовые ретрансляторы и платформы, не уступающие по качеству мировым производителям.

Китай создает и успешно внедряет ориентированные на внутренний и внешний рынки передовые технологии космической метеорологии, предлагает космическую информацию со своих метеоспутников странам АТР с целью укрепления лидирующих позиций в этом динамично развивающемся регионе. В области соз-

---

<sup>13</sup> Китай одним из первых государств в мире внедрил инновационную технологию использования сети спутникового непосредственного телевизионного вещания для бесплатного оперативного распространения данных космической съемки Земли среди государственных учреждений и населения. Космическая информация с гражданских спутников СВЕРS и Huan Jing принимается и обрабатывается в центрах ДЗЗ. Затем космические изображения транслируются через сеть геостационарных спутников непосредственного вещания на малогабаритные антенны (тарелки диаметром от 45 до 90 см) приема телевизионных программ потребителей по всей стране (*Прим. авт.*).

дания систем дистанционного зондирования Земли характеризуется высокими темпами реализации, создаются и успешно внедряются ориентированные на внутренний и внешний рынки передовые космические технологии данного направления.

3. Китайские достижения в освоении Марса практически сравнялись с российскими. Поэтому, очевидно, что в ближайшие несколько лет в этой сфере космической деятельности КНР обгонит Российскую Федерацию как по количественным, так и по качественным показателям, включая цели и достигнутые результаты.

4. Бурное развитие китайской космонавтики свидетельствует о том, что в обозримом будущем КНР может стать очень серьезным соперником для России в космической гонке, которая официально не объявлена, но, тем не менее, продолжается. С возвращением Китая в сферу пусковых услуг происходит выдавливание российских ракет-носителей с мирового рынка.

5. В мировой практике реализация национальных целей космической деятельности любой страны, добившейся значимых результатов, сопровождается разработкой законодательства и программных документов на государственном уровне.

6. Российская Федерация, являясь преемницей СССР, должна и далее усиливать лидерство в космосе, а именно: ставить жесткие сроки по достижению заявляемых приоритетов присутствия КА на орбитах околоземного пространства, четко отслеживать вопросы национальной безопасности, коммерческого использования космоса и воссоздавать технологическое преимущество первых советских запусков и поддерживать эволюцию научной школы. Проводящийся жесткий аудит средств и возможностей, потенциала предприятий российской космической отрасли с дальнейшей диверсификацией отраслевых рисков и передача части функций коммерческой эксплуатации КА другим странам на аутсорсинг позволит сохранить стратегическое лидерство, которое в условиях санкций все более трудно достижимо, а также провести необходимую реформу управления космической отрасли и заложить предпосылки международной кооперации для сохранения частичного верховенства в технологических и научных заделах, постепенно и регрессивно теряющихся сегодня в погоне за сиюминутным результатом.

Данные действия позволили бы российской космической отрасли обрести «второе дыхание», гармонизировали бы законодательный уровень национального и международного права, позволили бы вычлнить наши перспективные разработки и уйти от иллюзорного размазывания сокращающегося финансирования на несбыточные и вредоносные для государства проекты.

И именно альянс с КНР сегодня приводит нас и к конвергенции новых космических проектов, и к увеличению точек роста внутри ОПК России, при этом, однако, и втягивает в новую гонку коммерческих рисков мировой конъюнктуры, которая всегда агрессивна и имеет только временных союзников через стратегические альянсы, зачастую приводящих к финальной стадии развития бизнеса – слияниям и поглощениям.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Космическая деятельность ООН и международных организаций / Пудовкин О.Л., Андриянов Н.И., Ермак С.М., Кулик С.В. – М.: ЦИПК РВСН, 2001. – С. 320.
- [2] Космонавтика на рубеже тысячелетий. Итоги и перспективы / Киселев А.И., Медведев А.А., Меньшиков В.А. – М.: Машиностроение, 2001. – С. 627.

- [3] Крылов А. Сравнительный анализ космической деятельности России, Китая и Индии. 2014. С. 8 [Электронный ресурс] ([http://arhidoka.ru/files/2011/12/akd\\_rki.pdf](http://arhidoka.ru/files/2011/12/akd_rki.pdf)) (дата обращения – 26.12.2016 г.);  
Крылов А. Геостационарные спутники связи и вещания за первые 10 лет XXI века // Connect, 2011, № 7. – С.93–96.
- [4] <http://lenta.ru/articles/2011/03/05/china> (Дата обращения – 28.12.2016 г.).
- [5] Прокопенкова И. Ракетно-космическая промышленность Китая. – Институт мировой экономики и международных отношений (ИМЭМО РАН).
- [6] Rand Corporation // Официальный сайт.
- [7] Гетман М.В., Раскин А.В. Военный космос: без грифа секретно. – М.: Фонд «Русские витязи», 2008.
- [8] Бегарь В.В. КНР-экспорт // Мир и политика. – № 2 (17). – 2008. – С. 139–160.
- [9] [http://www.mykitay.ru/kosmos\\_kn08.html](http://www.mykitay.ru/kosmos_kn08.html) (Дата обращения – 28.12.2016 г.).
- [10] <https://gomel-sat.net/10005-v-yetom-godu-kitaj-nameren-zapustit-31-sputnik-i.html> (Дата обращения – 8.11.2016 г.).
- [11] <http://www.gomel-sat.net/5322-novosti-kosmicheskoy-otrasli-kitaya.html> (Дата обращения – 11.12.2016 г.).
- [12] URL: <http://ria.ru/space/20131206/982479926.html> (дата обращения – 2.03.2014 г.).
- [13] <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения – 12.01.2017 г.).
- [14] Ченцова М. Космическая промышленность РФ: тенденции, перспективы, новые риски // Новости космонавтики. – 2011. – № 1.
- [15] <http://oane.ws/2015/11/01/kitayskie-sputniki-izuchat-temnuyu-materiyu.html> (Дата обращения – 11.11.2016 г.).
- [16] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_космических\\_запусков\\_в\\_2016\\_году](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_космических_запусков_в_2016_году) (дата – 12.01.2017 г.).

## НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

### SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION

УДК 629.78.007:(083.74)

#### **ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПИЛОТИРУЕМОЙ КОСМОНАВТИКИ**

Б.И. Крючков, В.Н. Саев, Г.Д. Орешкин, П.П. Долгов,  
Ю.А. Виноградов, Р.Р. Каспранский

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. техн. наук, доцент В.Н. Саев; канд. техн. наук, доцент Г.Д. Орешкин; канд. техн. наук, ст.н.с. П.П. Долгов; канд. техн. наук, ст.н.с. Ю.А. Виноградов; канд. мед. наук, ст.н.с. Р.Р. Каспранский (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена вопросам разработки профессиональных стандартов «Космонавт-испытатель», «Специалист по подготовке космонавтов», «Специалист по техническим средствам подготовки космонавтов». В статье представлены: структура профессиональных стандартов; общая характеристика видов профессиональной деятельности специалистов и их трудовых функций; описание обобщенных трудовых функций, входящих в виды профессиональной деятельности по каждому из разработанных профессиональных стандартов; основные этапы разработки профессиональных стандартов.

**Ключевые слова:** профессиональный стандарт, космонавт-испытатель, специалист по подготовке космонавтов, специалист по техническим средствам подготовки космонавтов, профессиональная деятельность, трудовая функция, квалификация.

#### **Professional Standards for Specialists in the Field of Manned Space Exploration. B.I. Kryuchkov, V.N. Saev, G.D. Oreshkin, P.P. Dolgov, Y.A. Vinogradov, R.R. Kaspransky**

The paper deals with the development issues of professional standards for a test cosmonaut, a specialist in cosmonaut training, and a specialist in technical means for cosmonaut training. Also, it presents the structure of professional standards; the general characteristic of professional activity types and working actions; the description of generic working actions, included in professional activity types according to each developed professional standards; and key development stages of professional standards.

**Keywords:** professional standard, test cosmonaut, specialist in cosmonaut training, specialist in technical means for cosmonaut training, professional activity, working actions, qualification.

#### **Введение**

Научно-технический прогресс, развитие производств и технологий, а также изменяющийся рынок труда требуют постоянного развития профессиональных навыков и компетенций работника. Квалификационные справочники, в свою очередь, постепенно устаревают: либо в них вообще нет новых профессий, либо их описание не соответствует действительности. Именно этим обусловлена потребность изменения действующей системы квалификаций и введение системы профессиональных стандартов [1].

Пока проблема подготовки кадров на предприятиях ракетно-космической отрасли в целом и в федеральном государственном бюджетном учреждении «На-

учно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина), в частности, все еще остается нерешенной. Причины – самые разные: во-первых, снижение уровня подготовки специалистов в средних и высших учебных заведениях; во-вторых, слабая заинтересованность молодого поколения в овладении инженерными и техническими специальностями, отсутствие привлекательных для молодых специалистов социальных условий на предприятиях промышленности и др. В связи с этим возникла потребность обоснования требований к профессиональной подготовке специалистов, занятых подготовкой космонавтов. Решение этого вопроса имеет особое значение для предприятий, занимающихся подготовкой специалистов для их будущей деятельности на объектах космической техники.

Проекты профессиональных стандартов разрабатывались в соответствии с правилами [2] и методическими рекомендациями [3] в рамках реализации распоряжения Правительства Российской Федерации [4] на основании государственных контрактов между федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-исследовательский институт труда и социального страхования» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации (ФГБУ «НИИ ТСС» Минтруда России), являвшимся заказчиком работ, и федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», получившим право заключения контракта в качестве исполнителя работ по результатам электронных аукционов, состоявшихся в 2014 году и проводившихся по каждому из разработанных профессиональных стандартов.

Профессиональные стандарты включают четыре раздела, в которых определены: вид и цель профессиональной деятельности; описание трудовых функций; характеристики обобщенных трудовых функций работников, включающие возможные наименования должностей, требования к образованию и обучению, опыту практической работы, описание особых условий допуска к работе, взаимосвязь с общероссийскими классификаторами, а также описание трудовых функций по параметрам трудовых действий, необходимых умений и знаний для выполнения работниками трудовых функций; сведения об организациях-разработчиках профессионального стандарта.

### **Общая характеристика вида профессиональной деятельности и обобщенной трудовой функции профессионального стандарта «Космонавт-испытатель»**

Основу профессиональной деятельности космонавта-испытателя составляют испытания и эксплуатация пилотируемых космических комплексов (ПКК). Деятельность космонавта-испытателя при выполнении космического полета включает в себя: управление пилотируемым космическим аппаратом (ПКА), эксплуатацию бортовых систем и оборудования, проведение испытаний космической техники, научного и специального оборудования, выполнение космических экспериментов, ведение связи с Центром управления полетами, монтажно-демонтажные, ремонтно-восстановительные работы как внутри станции, так и в открытом космосе и т.д.

На рис. 1 представлены этапы деятельности космонавта-испытателя и сроки их выполнения, а также кратко изложены цели каждого этапа.

В профессиональном стандарте «Космонавт-испытатель» в качестве вида профессиональной деятельности определены испытания и эксплуатация ПКК.



Рис. 1 Последовательность деятельности космонавта-испытателя для осуществления космического полета

При этом основной целью вида профессиональной деятельности является получение результатов испытаний, обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации ПКК, составляющих их ПКА и полезной нагрузки.

В качестве обобщенной трудовой функции определена подготовка к выполнению космического полета, выполнение космического полета и программы послеполетных мероприятий, включающая одиннадцать трудовых функций, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

Описание трудовых функций, входящих в профессиональный стандарт «Космонавт-испытатель»

Обобщенная трудовая функция	Уровень квалификации	Трудовые функции
Код А Подготовка к выполнению космического полета, выполнение космического полета и программы послеполетных мероприятий	7	Теоретическая подготовка к выполнению космического полета
		Практическая подготовка и тренировки на технических средствах подготовки космонавтов к выполнению космического полета
		Выполнение медицинских испытаний и исследований для определения годности к специальным тренировкам, подготовке в составе экипажа и космическому полету
		Испытания ПКА и ПКК в космическом полете
		Эксплуатация ПКА и ПКК в космическом полете
		Действия в аварийных и нестандартных ситуациях в космическом полете
		Внекорабельная деятельность в космическом полете
		Выполнение диагностических и лечебных процедур в космическом полете
		Разработка отчетной документации по результатам космического полета, испытаний в космическом полете, выполнения программы полета
		Выполнение программы медицинской, психологической и физической реабилитации после выполнения космического полета
		Разработка ПКА и ПКК, управление полетами в процессе испытаний ПКА и ПКК, выполнение наземных и летных испытаний ПКА и ПКК, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по космической тематике, экспертизы новой и существующей (серийной) космической техники

Обобщенная трудовая функция предусматривает вид профессиональной деятельности, относящийся к седьмому уровню квалификации, выбор которого соответствует широте полномочий, характеру знаний и умений, требованиям к образованию, предъявляемым к специалистам для выполнения работ по испытаниям и эксплуатации ПКК, составляющих их ПКА и полезной нагрузки, а также в соответствии с особыми условиями допуска к работе.

### **Общая характеристика вида профессиональной деятельности и обобщенных трудовых функций профессионального стандарта «Специалист по подготовке космонавтов»**

В профессиональном стандарте «Специалист по подготовке космонавтов» в качестве вида профессиональной деятельности определены: подготовка космонавтов в гидросреде к ВКД в космическом полете; подготовка космонавтов в условиях невесомости на самолетах-лабораториях; специальная парашютная подготовка; подготовка к действиям после посадки в различных климатогеографических зонах (КГЗ).

С учетом многолетнего опыта подготовки космонавтов в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина было принято решение в данном профессиональном стандарте выделить шесть обобщенных трудовых функций, описание которых представлено в таблице 2.

Таблица 2

Описание трудовых функций, входящих в профессиональный стандарт «Специалист по подготовке космонавтов»

Обобщенные трудовые функции	Уровень квалификации	Трудовые функции
<b>Код А</b> Подготовка космонавтов к ВКД в космическом полете, проведение исследований и испытаний космических средств ВКД	6	Разработка учебной документации для подготовки космонавтов к выполнению ВКД
		Проведение теоретической подготовки космонавтов к выполнению ВКД
		Проведение исследовательских экспериментов и испытательных работ в интересах решения задач ВКД
		Проведение практической подготовки космонавтов по космическим средствам ВКД
<b>Код В</b> Подготовка космонавтов к действиям в условиях вредных факторов космического полета и после посадки	6	Разработка учебной документации для подготовки космонавтов
		Подготовка космонавтов на борту самолета-лаборатории в условиях невесомости
		Проведение испытаний образцов космической техники в условиях моделируемой невесомости
		Проведение специальной парашютной подготовки космонавтов (СППК)
		Подготовка космонавтов к подъемам на борт вертолета
Подготовка космонавтов к действиям в экстремальных условиях после вынужденной посадки		
<b>Код С</b> Управление процессом подготовки космонавтов к выполнению ВКД в космическом полете	7	Проведение подготовки космонавтов к выполнению ВКД и испытаний космических средств ВКД
		Разработка учебной документации для подготовки космонавтов к ВКД
		Проведение испытаний космических средств ВКД
		Создание и модернизация технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) ВКД
<b>Код Д</b> Управление процессом подготовки космонавтов к действиям в условиях вредных факторов космического полета и после посадки	7	Проведение подготовки космонавтов по видам подготовки
		Координация подготовки со смежными организациями
		Разработка учебной документации для подготовки космонавтов
		Проведения экспертной оценки разрабатываемых материалов
		Создание и модернизация ТСПК

Окончание таблицы 2

Обобщенные трудовые функции	Уровень квалификации	Трудовые функции
Код Е Проведение исследований и испытаний в гидросреде космических средств ВКД	8	Обоснование перспективных направлений исследований и испытаний космических средств ВКД
		Разработка программ исследований и испытаний космических средств ВКД и их реализация
		Разработка методов получения и обработки информации в условиях моделированной невесомости в гидросреде
		Организация и проведение исследований космических средств ВКД в условиях моделированной невесомости в гидросреде
		Разработка предложений по совершенствованию подготовки космонавтов к ВКД
Код F Организация и проведение исследований в условиях моделируемой невесомости, в ходе специальной парашютной подготовки и подготовки к действиям после посадки	8	Обоснование перспективных направлений исследований по видам подготовки
		Разработка программ исследований и их реализация
		Разработка методов получения и обработки информации в условиях моделируемой невесомости, в ходе специальной парашютной подготовки и подготовки к действиям после посадки
		Организация и проведение исследований в условиях моделируемой невесомости, в ходе специальной парашютной подготовки и подготовки к действиям после посадки
		Разработка предложений по совершенствованию подготовки в условиях невесомости, специальной парашютной подготовки, подготовки к действиям после посадки

В трудовые функции вошли работы, отражающие все основные этапы организации, проведения и обеспечения подготовки. На всех этапах выполнения трудовых функций учитывалась специфика проведения необходимых работ, требования к обеспечению безопасности, ответственность за результаты выполнения работ на уровне подразделения и предприятия.

### **Общая характеристика вида профессиональной деятельности и обобщенных трудовых функций профессионального стандарта «Специалист по техническим средствам подготовки космонавтов»**

В профессиональном стандарте «Специалист по техническим средствам подготовки космонавтов» в качестве вида профессиональной деятельности определены создание, модернизация, испытания и эксплуатация технических средств подготовки космонавтов (ТСПК), при этом основной целью вида профессиональной деятельности является обеспечение подготовки космонавтов на ТСПК.

С учетом многолетнего опыта подготовки отечественных и международных экипажей ПКА было принято решение выделить в данном профессиональном стандарте три наиболее важные обобщенные трудовые функции, описание которых представлено в таблице 3.

Перечень трудовых функций, которые должны выполнять специалисты по ТСПК, составлен на основе подробного рассмотрения технологических процессов создания, модернизации, испытаний и эксплуатации ТСПК при подготовке экипажей. В стандарте в достаточно полном объеме сформулированы трудовые действия, а также необходимые знания и умения для выполнения указанных трудовых функций.

Таблица 3

Описание трудовых функций, входящих в профессиональный стандарт  
«Специалист по техническим средствам подготовки космонавтов»

Обобщенные трудовые функции	Уровень квалификации	Трудовые функции
<u>Код А</u> Создание и эксплуатация ТСПК	6	Проведение теоретических и экспериментальных исследований в целях изыскания путей создания новых образцов ТСПК и их составных частей
		Создание и модернизация ТСПК и их составных частей
		Подготовка и проведение испытаний ТСПК и их составных частей
		Эксплуатация и обеспечение работоспособности ТСПК и их составных частей при подготовке космонавтов
		Анализ и оценка работы ТСПК и их составных частей в процессе эксплуатации
<u>Код В</u> Координация процессов создания и эксплуатации ТСПК	7	Координация процессов создания и модернизации ТСПК и их составных частей
		Координация взаимодействия специалистов в процессе подготовки и проведения испытаний ТСПК и их составных частей
		Координация работ по эксплуатации и обеспечению работоспособности ТСПК и их составных частей при проведении подготовки космонавтов
<u>Код С</u> Организация проведения теоретических и экспериментальных исследований в целях улучшения качества и эффективности подготовки космонавтов на тренажерах пилотируемых космических аппаратов	8	Организация проведения теоретических и экспериментальных исследований по комплексному анализу и оценке качества функционирования ТСПК и их составных частей в процессе эксплуатации
		Организация проведения теоретических и экспериментальных исследований в целях изыскания новых принципов и путей создания ТСПК и их составных частей

### Основные этапы разработки проектов профессиональных стандартов

Распоряжением начальника Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина была создана рабочая группа по разработке профессиональных стандартов, в состав которой вошли руководители и высококвалифицированные специалисты, решающие разнообразные задачи подготовки космонавтов.

Проекты указанных профессиональных стандартов в 2014 году для ознакомления широкой аудитории были размещены на официальном сайте Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина. Информация о разработке проектов профессиональных стандартов также была размещена в периодическом научном журнале «Пилотируемые полеты в космос» [5]. Обсуждение профессиональных стандартов осуществлялось в широком профессиональном сообществе с привлечением заинтересованных организаций и вузов.

В декабре 2014 года в Роскосмосе состоялось заседание круглого стола по вопросу: «Обсуждение проектов профессиональных стандартов в ракетно-космической промышленности», на котором были заслушаны доклады представителей Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина о ходе работы по каждому профессиональному стандарту. По результатам обсуждения было принято решение об одобрении представленных проектов профессиональных стандартов и рекомендации их к представлению в Минтруда России, утвердившего в 2015 году данные профессиональные стандарты соответствующими приказами [6, 7, 8].

## Заключение

Разработанные профессиональные стандарты позволят сотрудникам предприятий космической отрасли увидеть резервы своего профессионального роста, совершенствовать профессиональное мастерство, соответствуя требованиям работодателя. С другой стороны, они позволят руководителям организаций правильно планировать обучение персонала и аттестовать работников. Это особенно важно, так как уровень квалификации специалистов является одним из основных факторов, непосредственно влияющих на качество подготовки экипажей ПКА.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Митрофанова В.В. Профессиональные стандарты в вопросах и ответах // Секретарь-референт. – № 4. – 2015.
- [2] Постановление Правительства Российской Федерации от 22 января 2013 г. № 23 «О Правилах разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов».
- [3] Приказ Минтруда России от 29.04.2013 г. № 170н «Методические рекомендации по разработке профессионального стандарта».
- [4] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 марта 2014 г. № 487-р «Об утверждении комплексного плана мероприятий по разработке профессиональных стандартов, их независимой профессионально-общественной экспертизе и применению на 2014–2016 годы».
- [5] О разработке профессиональных стандартов // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(13). – 2014. – С. 131.
- [6] Приказ Минтруда России от 08.09.2015 № 614н «Об утверждении профессионального стандарта «Космонавт-испытатель».
- [7] Приказ Минтруда России от 01.07.2015 № 420н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по подготовке космонавтов».
- [8] Приказ Минтруда России от 01.07.2015 № 419н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по техническим средствам подготовки космонавтов».

## 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 06.03.17.  
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.  
Усл. печ. л. 12,08. Тираж 120 экз. Зак. 855-16.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»