

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю.В. Лончаков

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

В.А. Сиволап –
заместитель
главного редактора,

А.В. Кальмин –
ответственный секретарь,

Ю.М. Батурич,

М.Н. Бурдаев,

Л.К. Васильева,

С.П. Власенков,

Н.В. Волкова,

О.С. Гордиенко,

П.П. Долгов,

В.М. Жуков,

С.А. Жуков,

С.В. Игнатъев,

Р.Р. Каспранский,

О.Д. Кононенко,

Б.И. Крючков,

А.А. Курицын,

Г.Д. Орешкин,

В.И. Почуев,

В.Н. Саев,

Ю.Б. Сосюрка,

И.Г. Сохин,

М.Л. Титова,

М.В. Тюрин,

В.М. Усов,

М.М. Харламов,

В.И. Ярополов.

СОДЕРЖАНИЕ

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....4

Основные результаты подготовки и деятельности командира транспортного корабля «Союз ТМА-18М», бортинженера МКС-45/46 и экипажа годовой экспедиции МКС-43/44/45/46 при выполнении программы космического полета.

С.А. Волков, М.Б. Корниенко4

Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-45/46 (экспресс-анализ).

В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова20

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС32

Определение основных управляющих параметров подготовки экипажей Международной космической станции на комплексных и специализированных тренажерах. *Ю.И. Онуфриенко,*

А.А. Курицын, В.А. Копнин, А.А. Ковинский.....32

Визуальное представление космонавту перемещений группы автономных мобильных роботов на поверхности Луны для предотвращения их коллизий.

А.А. Ворона, Л.Д. Сыркин, Б.И. Крючков, В.М. Усов.....41

Анализ материалов по вопросам моделирования космических экспериментов на тренажерах. *Ю.И. Онуфриенко,*

Е.В. Полунина, Л.Е. Шевченко, В.Н. Саев.....58

Миссии-аналоги НАСА, проводимые в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос: HMP, Desert RATS, ISRU, PLRP, FMARS. *П.П. Долгов,*

Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной68

Обзор перспективных шлюзовых отсеков для обеспечения выхода на поверхность Луны. <i>Е.С. Киреева</i>	80
Фотокаталитическая система обеззараживания и очистки атмосферы обитаемых модулей космических аппаратов от микропримесей. <i>Э.А. Курмазенко, Д.Г. Громов, А.Е. Коробков, А.А. Кочетков, А.С. Цыганков, Д.В. Козлов, П.А. Калинин, О.В. Кирюшин, О.Д. Пушкарь</i>	88
Некоторые аспекты информационной поддержки внутрикорабельной деятельности космонавтов с помощью антропоморфных робототехнических систем. <i>В.Г. Сорокин</i>	101
Многолетний опыт мониторинга функционального состояния сердечно-сосудистой системы космонавтов в кратковременных и длительных полетах. <i>В.Ф. Турчанинова, И.В. Алферова, В.В. Криволапов, Е.Г. Хорошева, Т.Г. Шушунова, М.В. Домрачева, И.А. Юрченко, С.А. Горбачева, С.Н. Мороз</i>	112
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ	126
Психологические проблемы космических полетов (к 95-летию Г.Т. Берегового). <i>Н.В. Крылова</i>	126
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ	132
Молодежная конференция «Новые материалы и технологии в ракетно-космической и авиационной технике»	132
Информация для авторов и читателей	134

CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS	4
The Main Results of Training and Activities of “Soyuz TMA-18M” Manned Transport Vehicle (MTV) Commander, ISS-45/46 Flight Engineer and ISS-43/44/45/46 One-Year-Expedition Crew While Carrying Out the Mission Plan. <i>S.A. Volkov, M.B. Kornienko</i>	4
Medical Support of the ISS-45/46 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i>	20
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS	32
Defining the Main Control Parameters of the ISS Crew Training on Integrated and Dedicated Simulators. <i>Yu.I. Onufrienko, A.A. Kuritsyn, V.A. Kopnin, A.A. Kovinsky</i>	32
Visual Displaying of a Group of Autonomous Mobile Robots Moving on the Moon’s Surface in Order a Cosmonaut Could Prevent Their Collisions. <i>A.A. Vorona, L.D. Syrkin, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov</i>	41
The Analysis of Domestic and Foreign Materials on the Problems of Modeling Space Experiments. <i>Yu.I. Onufrienko, E.V. Polynina, L.E. Shevchenko, V.N. Saev</i>	58
Missions – NASA Analogues, Implemented in the Interests of Manned Missions to Deep Space: HMP, Desert RATS, ISRU, PLRP, FMARS. <i>P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy</i>	68
The Review of Advanced Airlock Modules to Exit on Lunar Surface. <i>E.S. Kireeva</i>	80
Photocatalytic System for Decontamination and Purification of Atmosphere of Manned Spacecraft Modules. <i>E.A. Kurmazenko, D.G. Gromov, A.E. Korobkov, A.A. Kochetkov, A.S. Tsygankov, D.V. Kozlov, P.A. Kalinko, O.V. Kiruyshin, O.D. Pushkar</i>	88
Some Aspects of Information Support of Cosmonauts’ Intravehicular Activity by Using Anthropomorphic Robotic Systems. <i>V.G. Sorokin</i>	101
Long Experience of Monitoring the Functional State of Cosmonauts’ Cardiovascular System in Short and Long-Duration Space Missions. <i>V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva, T.G. Shushunova, M.V. Domracheva, I.A. Yurchenko, S.A. Gorbacheva, S.N. Moroz</i>	112
HISTORY. EVENTS. PEOPLE	126
Psychological Problems of Spaceflight (For the 95-year Anniversary of Georgy Beregovoy). <i>N.V. Krylova</i>	126
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION.....	132
Youth Conference “New Materials and Technologies in Rocket-and-Space and Aviation Industry”	132
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 КОМАНДИРА ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ «СОЮЗ ТМА-18М», БОРТИНЖЕНЕРА МКС-45/46 И ЭКИПАЖА ГОДОВОЙ ЭКСПЕДИЦИИ МКС-43/44/45/46 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА С.А. Волков, М.Б. Корниенко

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ С.А. Волков;
Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ М.Б. Корниенко
(Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности командира ТПК «Союз ТМА-18М», бортинженера МКС-45/46 С.А. Волкова и бортинженера ТПК «Союз ТМА-16М», бортинженера МКС-43/44/45/46, бортинженера «Союз ТМА-18М» М.Б. Корниенко. Дается сравнительный анализ и оценивается вклад экипажей в общую программу космических полетов на МКС. Особое внимание уделяется проведению научно-прикладных исследований и экспериментов на борту станции. Даются замечания и предложения по совершенствованию российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС).

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

The Main Results of Training and Activities of “Soyuz TMA-18M” Manned Transport Vehicle (MTV) Commander, ISS-45/46 Flight Engineer and ISS-43/44/45/46 One-Year-Expedition Crew While Carrying Out the Mission Plan. S.A. Volkov, M.B. Kornienko

The paper considers the results of activities of S.A. Volkov, the commander of “Soyuz TMA-18M” MTV and the flight engineer of ISS-45/46, and M.B. Kornienko, the flight engineer of “Soyuz TMA-16M” MTV, ISS-43/44/45/46, “Soyuz TMA-18M” MTV. The paper gives the comparative analysis and estimates the contribution of crews to the general ISS flight program. Particular attention is paid to the implementation of scientific applied research and experiments aboard the station. Comments and recommendations on the improvement of the ISS Russian Segment are also given.

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

Состав экипажа и основные результаты полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-16М» с экипажем основной длительной экспедиции МКС-43/44 был осуществлен 27 марта 2015 года с космодрома Байконур (Республика Казахстан). Состав экипажа:

Падалка Геннадий Иванович

командир ТПК «Союз ТМА-16М»
бортинженер экспедиции МКС-43
командир экспедиции МКС-44
(Роскосмос, Россия)

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

Продолжительность полета в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-16М», бортинженера МКС-43/44/45/46, бортинженера ТПК «Союз ТМА-18М» Корниенко Михаила Борисовича составила 340 суток с 27 марта 2015 года по 2 марта 2016 года.

Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-16М» – «Альтаир».



Экипаж экспедиции МКС-43/44

Опыт полетов членов экипажа экспедиции МКС-43/44

Корниенко Михаил Борисович в отряде космонавтов с 1998 года. До назначения в экипаж выполнил один космический полет. 1-й полет – со 2 апреля 2010 года по 25 сентября 2010 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-М»; выполнил 2 выхода в открытый космос. 2-й полет – с 27 марта 2015 года по 2 марта 2016 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМА-16М», бортинженера МКС-43/44/45/46. Длительность 2-го полета – 340 суток. Герой Российской Федерации, 511-й космонавт мира, 106-й космонавт Российской Федерации.

Скотт Келли – астронавт НАСА (США), в отряде НАСА с 1996 года. Выполнял 3 полета до назначения в экипаж. 1-й полет выполнил в качестве пилота шаттла «Дискавери». Продолжительность – 7 суток. STS-103. 2-й полета совершил на «Индеворе» – STS-118. Продолжительность – 12 суток. 3-й полет совершил в качестве бортинженера МКС-25. Продолжительность – 159 суток. 4-й полет выполнил с 27.03.2015 г. по 02.03.2016 г. С 5 сентября – командир МКС. Продолжительность полета – 340 дней. Суммарное время полетов – 520 суток. 393-й астронавт мира, 247-й астронавт НАСА.

Падалка Геннадий Иванович – российский космонавт, совершивший 5 полетов. В отряде космонавтов с 1989 года. 381-й космонавт мира, 89-й космонавт России. Время налета за 5 полетов – 878 суток.

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-18М» с экипажем длительной экспедиции МКС-45/46/ЭП-18 был осуществлен 2 сентября 2015 года с космодрома Байконур (Республика Казахстан). Состав экипажа:

Волков Сергей Александрович	командир ТПК «Союз ТМА-18М» бортинженер МКС-45/46/ЭП-18 (Роскосмос, Россия)
Могенсен Андреас	бортинженер ТПК «Союз ТМА-18М» бортинженер ЭП-18 (ЕКА, Дания)
Аимбетов Айдын Аканович	бортинженер-2 «Союз ТМА-18М» участник космического полета ЭП-18 (Казкосмос, Казахстан)



Экипаж экспедиции МКС-45/46/ЭП-18

Продолжительность полета С.А. Волкова в качестве командира корабля ТПК «Союз ТМА-18М», бортинженера МКС-45/46 составила 182 суток со 2 сентября 2015 года по 2 марта 2016 года.

Позывной экипажа «Союз ТМА-18М» – «Эридан».

$T_{КП} = 07:37:43$; $T_{КО} = 07:46:32$ декретного московского времени (ДМВ).

Параметры орбиты выведения: период $T = 88,69$ мин, наклонение $i = 51,67$ град, высота $h \times H = 200,34$ км \times 248,67 км.

Сближение транспортного пилотируемого корабля осуществлено по двухступенчатой схеме полета.

Опыт полетов членов экипажа экспедиции МКС-45/46/ЭП-18

Волков Сергей Александрович в отряде космонавтов с 1997 года. 1-й космический полет С.А. Волков выполнил с 8 апреля по 24 октября 2008 года в качестве командира ТПК «Союз ТМА-12» и командира экспедиции МКС-17. Продолжительность полета составила 199 суток. 2-й космический полет совершил с 7 июня по 22 ноября 2011 года в качестве командира ТПК «Союз ТМА-02М» и бортинжене-

ра экспедиций МКС-28/29. Продолжительность полета составила 167 суток. Суммарный космический налет – 366 суток, три раза выходил в открытый космос общей продолжительностью 18 часов 15 минут. 472-й космонавт мира, 101-й космонавт Российской Федерации.

Могенсен Андреас – астронавт ЕКА (Дания), до назначения в экипаж опыта космических полетов не имел.

Аимбетов Айдын Аканович – космонавт-испытатель Республики Казахстан, опыта космических полетов не имел.

Основные итоги деятельности экипажа

Основные итоги деятельности экипажа следующие:

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

- стыковка ТПК «Союз ТМА-18М» к стыковочному узлу модуля МИМ2 произведена 4 сентября 2015 года ($T_{М.З.} = 10:39:03$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по двухсуточной схеме полета. Корабль доставил на борт МКС членов экспедиции посещения ЭП-18;

- расстыковка и посадка ТПК «Союз ТМА-16М» выполнены 12 сентября 2015 года. Время расстыковки – 00:29:11 ДМВ, время посадки СА – 03:51:33 ДМВ.

Состав экипажа корабля «Союз ТМА-16М» при выполнении спуска:
Падалка Геннадий Иванович – командир корабля (Роскосмос, Россия)
Могенсен Андреас – бортинженер (ЕКА, Дания)
Аимбетов Айдын Аканович – бортинженер 2 (Казкосмос, Казахстан);

- расстыковка грузового корабля НТВ-5 от МКС произведена 28 сентября 2015 года. Время отделения от манипулятора станции – 19:53 ДМВ;

- стыковка ТГК «Прогресс М-29М» к АО СМ выполнена 2 октября 2015 года ($T_{М.З.} = 01:52$ ДМВ). Сближение грузового корабля проводилось по четырехвитковой схеме полета;

- сближение американского грузового корабля «Cygnus» Orb-4 с МКС, захват манипулятором станции, перемещение и установка корабля к надирной части модуля Node1 АС МКС выполнены 9 декабря 2015 года ($T_{Окончания\ затяжки\ болтов\ СВМ} = 18:25$ ДМВ);

- расстыковка ТПК «Союз ТМА-17М» от стыковочного узла МИМ1 и посадка осуществлены 11 декабря 2015 года. Время расстыковки – 12:49:37 ДМВ, время посадки СА – 16:12:14 ДМВ;

- сближение ТПК «Союз ТМА-19М» с МКС и стыковка к стыковочному узлу модуля МИМ1 выполнены 15 декабря 2015 года ($T_{М.З.} = 20:33:26$ ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по четырехвитковой схеме полета. Экипажем выполнено ручное причаливание и стыковка корабля со станцией;

- расстыковка ТГК «Прогресс М-28М» от стыковочного отсека СО1 РС МКС осуществлена 19 декабря 2015 года ($T_{Физической\ расстыковки} = 10:35:23$ ДМВ);

- стыковка ТГК новой серии «Прогресс МС» к стыковочному отсеку СО1 выполнена 23 декабря 2015 года ($T_{М.З.} = 13:27:03$ ДМВ). Сближение грузового корабля проводилось по двухсуточной схеме полета;

- выход в космос ВКД-42 осуществлен 3 февраля 2016 года из стыковочного отсека СО1, продолжительность выхода – 4 часа 44 минуты. Выход выполнили космонавты Ю.И. Маленченко и С.А. Волков;

- расстыковка грузового корабля «Cygnus» Orb-4 от надирного узла модуля Node1 выполнена 19 февраля 2016 года, время отделения от манипулятора станции SSRMS – 15:26 ДМВ;

- возвращение членов экипажа МКС-43/44/45/46 и бортинженера МКС-45/46 на Землю, расстыковка ТПК «Союз ТМА-18М» от стыковочного узла МИМ2 и посадка осуществлены 2 марта 2016 года. Время физической расстыковки – 04:02:40 ДМВ, время посадки СА – 07:25 ДМВ.

Состав экипажа корабля «Союз ТМА-18М» при выполнении спуска:
Волков Сергей Александрович – командир корабля (Роскосмос, Россия);
Корниенко Михаил Борисович – бортинженер (Роскосмос, Россия);
Келли Скотт Джозеф – бортинженер-2 (НАСА, США).

Подготовка к полету Корниенко Михаила Борисовича в составе основного экипажа МКС-43/44 проводилась с 1 октября 2013 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Подготовка к полету Волкова Сергея Александровича проводилась в составе основного экипажа МКС-45/46/ЭП-18 с 1 апреля 2014 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Полет на транспортном пилотируемом корабле «Союз ТМА-16М»

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

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

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

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

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

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

5 сентября 2015 года после стыковки ТПК «Союз ТМА-18М» с МКС проведена пересменка с заменой индивидуального снаряжения и взаимная переустановка ложементов БИ, БИ2 в ТПК «Союз ТМА-16М» и «Союз ТМА-18М».

После завершения программы полета на борту МКС 12 сентября 2015 года экипаж ТПК «Союз ТМА-16М» выполнил расстыковку от стыковочного узла МИМ2 и посадку спускаемого аппарата. Время расстыковки – 00:29:11 ДМВ, посадка – в 03:51:33 ДМВ. Состав экипажа:

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

Полет на борту транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-18М»

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-18М» с экипажем длительной экспедиции МКС-45/46/ЭП-18 был осуществлен 2 сентября 2015 года с космодрома Байконур (Республика Казахстан). Состав экипажа:

- Волков Сергей Александрович – командир ТПК «Союз ТМА-18М», бортинженер МКС-45/46/ЭП-18 (Роскосмос, Россия);

- Могенсен Андреас – бортиженер ТПК «Союз ТМА-18М», бортиженер ЭП-18 (ЕКА, Дания);

- Аимбетов Айдын Аканович – бортиженер-2 «Союз ТМА-18М», участник космического полета ЭП-18 (Казкосмос, Казахстан).

Позывной экипажа «Союз ТМА-18М» – «Эридан».

$T_{\text{КП}} = 07:37:43$; $T_{\text{КО}} = 07:46:32$ декретного московского времени (ДМВ).

Параметры орбиты выведения: период $T = 88,69$ мин, наклонение $i = 51,67$ град, высота $h \times H = 200,34$ км \times 248,67 км.

В процессе предстартовой подготовки замечаний к работе бортовых систем не выявлено. Сближение транспортного пилотируемого корабля осуществлено по двухсуточной схеме полета. На 32–34 витках выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ2 ($T_{\text{М.З.}} = 10:39:03$ ДМВ). Выполнив консервацию транспортного корабля, экипаж завершил первый этап программы автономного полета ТПК «Союз ТМА-18М».

Программа космического полета предусматривала:

- научные эксперименты по программе участника космического полета ЭП-18 А.А. Аимбетова, по программе бортиженера ЭП-18 А. Могенсена (проект IRISS);

- техническое обслуживание бортовых систем, ремонтно-восстановительные работы, дооснащение, проведение телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок, работы по программе символической деятельности;

- стыковки и расстыковки транспортных кораблей «Союз ТМА-16М», «Союз ТМА-17М», «Союз ТМА-19М»; ТГК «Прогресс-М-29М», ТГК «Прогресс М-28М», ТГК «Прогресс МС»; американских грузовых кораблей SpaceX-6 «Dragon», «Cygnus» Orb-4 и японского грузового корабля HTV-5;

- выполнение выхода в открытый космос по программе ВКД-42.

1 марта 2016 года, завершив программу длительного в течение 11 месяцев полета членов экипажа МКС-43/44/45/46 и шести месяцев бортиженера МКС-45/46 на борту станции, началась подготовка экипажа ТПК «Союз ТМА-18М» к возвращению на Землю. Состав экипажа:

Волков Сергей Александрович – командир корабля (Роскосмос, Россия);

Корниенко Михаил Борисович – бортиженер (Роскосмос, Россия);

Келли Скотт Джозеф – бортиженер-2 (НАСА, США).

Подготовка к расстыковке проводилась по штатной программе полета. Расстыковка выполнена 2 марта 2016 года в автоматическом режиме. Время фактической расстыковки – 04:02:40 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Разделение отсеков прошло в 05:59:56 ДМВ. Фактический вход в атмосферу в 07:04:21 ДМВ. Спуск в атмосферу выполнен в режиме АУС. Посадка спускаемого аппарата осуществлена 2 марта 2016 года в 07:25 ДМВ в расчетной точке с координатами 47°20' с.ш., 69°35' в.д. ДМП сработали штатно.

Работа по эвакуации экипажа началась в 07:32 ДМВ. Аппарат находился горизонтально, купол парашюта погашен.

Полет на борту МКС

В качестве члена экипажа экспедиции МКС-43/44/45/46 Корниенко Михаил Борисович работал на борту МКС 340 суток с 28 марта 2015 года по 2 марта 2016 года.

В качестве бортинженера экспедиции МКС-45/46 Волков Сергей Александрович работал на борту МКС 180 суток с 4 сентября 2015 года по 2 марта 2016 года.

В качестве бортинженера ЭП-18 Могенсен Андреас и участник космического полета ЭП-18 Аимбетов Айдын Аканович работали 7 суток на борту МКС с 4 сентября по 12 сентября 2015 года.

В процессе полета ЭП-18 бортинженер С.А. Волков выполнял эксперименты по программе участника космического полета ЭП-18 А.А. Аимбетова:

- «Релаксация-KZ»;
- дополнительная работа «Дегустация казахских продуктов питания».

По программе полета бортинженера ЭП-18 А. Могенсена (проект IRISS) С.А. Волков выполнял следующие эксперименты:

- «MARES»;
- «SKINSUIT»;
- «THOR».

На российском сегменте МКС проведен обширный объем работ по техническому обслуживанию бортовых систем МКС, выполнена программа научных исследований и экспериментов, проведены ремонтно-восстановительные работы, большое количество телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок.

Для продолжения дальнейшей эксплуатации МКС в пилотируемом режиме на российском сегменте М.Б. Корниенко выполнил большой объем работ по материально-техническому обслуживанию систем и ремонтно-восстановительным работам по замене блоков, оборудования и приборов на российском сегменте.

28 апреля 2015 года состоялся старт транспортного грузового корабля «Прогресс М-27М». Однако параметры орбиты корабля не соответствовали расчетным. Стыковка грузового корабля с МКС не выполнена.

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

С целью продолжения эксплуатации МКС в пилотируемом режиме на российском сегменте С.А. Волковым выполнены работы по материально-техническому обслуживанию систем, ремонтно-восстановительные работы и работы по дооснащению РС МКС доставленным оборудованием.

В ходе выполнения работ по программе символической деятельности проводились видеосъемки сюжетов о работе российских космонавтов на борту МКС, проведено множество сеансов связи с представителями различных научных и общественных организаций.

В ходе полета выполнялись следующие динамические режимы по стыковке, расстыковке и перестыковке: ТПК «Союз ТМА-16М», ТПК «Союз ТМА-15М», ТПК «Союз ТМА-17М», ТПК «Союз ТМА-18М», ТПК «Союз ТМА-19М», ТГК «Прогресс М-25М», ТГК «Прогресс М-26М», ТГК «Прогресс М-28М», ТГК «Прогресс М-29М», ТГК «Прогресс МС», американского грузового корабля SpaceX-6 «Dragon», американского корабля «Cygnus» Orb-4, японского грузового корабля HTV-5.

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

Совместный полет с другими экипажами МКС

Во время полета проводились совместные работы с экипажами МКС-42/43, МКС-44/45, МКС-45/46/ЭП-18, МКС-46/47.

С 28 марта 2015 года по 11 июня 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-42/43. Состав экипажа:

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

С 23 июля 2015 года по 11 декабря 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-44/45. Состав экипажа:

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

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

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

С 15 декабря 2015 года по 2 марта 2016 года – совместный полет с экипажем МКС-46/47. Состав экипажа:

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

В период полета с 4 сентября по 12 сентября 2015 года на борту МКС работали одновременно 9 космонавтов и астронавтов.

Внекорабельная деятельность

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

Целевые задачи выхода:

- установка двух мягких поручней на РО БД СМ (II и IV плоскость);
- чистка стекла иллюминатора № 2 по IV плоскости;
- установка крепежных элементов на антеннах WAL1-WAL5 антенно-фидерного устройства (АФУ) межбортовой радиолинии (МБРЛ) на РО МД СМ;
- замена антенны WAL6 АФУ МБРЛ по II плоскости РО МД СМ;
- фотографирование научной аппаратуры КЭ «Expose-R» (экспонирование образцов органических материалов в условиях открытого космоса), установленного на УРМ-Д II плоскости РО БД СМ;

– демонтаж датчика поверхностных свойств приборов (ДП-ПМ) плазменно-волнового комплекса ПВК-1 КЭ «Обстановка» (исследование в поверхностной зоне МКС плазменно-волновых процессов взаимодействия сверхбольших космических аппаратов с ионосферой) и возвращение в СО1;

– проведение КЭ «Тест» (экспериментальное исследование возможности развития микродеструкции термодетекторов РС МКС под действием осаждения агрессивных продуктов) – взятие проб-мазков с поверхности солнечной батареи по IV плоскости, панели радиатора на РО МД СМ по IV плоскости и в районе дренажных клапанов системы СОА «Воздух» в СКО «Электрон»;

– фотографирование и видеосъемка штуцера СКО «Электрон» на ПхО по IV плоскости;

– фотографирование и изменение ориентации блока контроля давления и осадений загрязнений (БКДО) на модуле МИМ2: поворот на 90 градусов – указательная стрелка на приборе направлена в сторону АС МКС перпендикулярно продольной оси МИМ2;

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

Особенности выхода:

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

– О.Д. Кононенко оказывал помощь экипажу ВКД на этапе прямого и обратного шлюзования, а также при сушке скафандра «Орлан МК» после проведения ВКД;

– в процессе полета экспедиции МКС-45/46 осуществлен один выход в открытый космос ВКД-42 из шлюзового отсека (СО1) «Пирс» 3 февраля 2016 года в скафандрах «Орлан-МК», резервный шлюзовой отсек – ПхО. Продолжительность выхода – 4 часа 44 минуты.

Выход совершили космонавты Ю.И. Маленченко и С.А. Волков из состава экспедиции МКС-46.

Время открытия выходного люка стыковочного отсека (СО1) «Пирс» – 15:54:51 ДМВ, закрытия – 20:39:08 ДМВ.

Целевые задачи выхода:

– запуск флеш-карты «СМС на МКС, 70 тысяч спасибо»;

– отбор проб мазков с внешней поверхности ВЛ1 СО1 и в зоне привода крышки иллюминатора № 8 СМ (КЭ «Тест»);

– демонтаж моноблока «Expose-R» (УРМ-Д II ПЛ РО БД СМ);

– демонтаж кассеты СКК № 2-М2 и установка кассеты СКК № 3-М2 на МИМ2;

– установка блока экспонирования образцов (БЭО) № 2 КЭ «Выносливость» на МИМ2;

– изменение ориентации прибора БКДО на МИМ2;

– установка мягких поручней на конической части ПГО-2 ФГБ;

– проведение КЭ «Реставрация» на ВУ СО1;

– проведение фотосъемок внешней поверхности РС МКС.

М.Б. Корниенко оказывал помощь в процессе шлюзования перед ВКД. Т. Пик оказывал помощь в процессе шлюзования после ВКД.

По программе АС МКС в процессе полета было выполнено четыре выхода в открытый космос:

– ВКД-32 осуществлен операторами С. Келли и Ч. Линдгреном 28 октября 2015 года из шлюзового отсека Airlock. Продолжительность выхода составила 7 часов 15 минут;

– ВКД-33 осуществлен операторами С. Келли и Ч. Линдгреном 6 ноября 2015 года из шлюзового отсека Airlock. Продолжительность выхода составила 7 часов 43 минуты. С.А. Волков оказывал помощь экипажу ВКД при подготовке скафандров к выходу;

– ВКД-34 осуществлен операторами С. Келли и Т. Копра 21 декабря 2015 года из шлюзового отсека Airlock. Продолжительность выхода составила 3 часа 12 минут;

– ВКД-35 осуществлен операторами Т. Копра и Т. Пик 15 января 2016 года из шлюзового отсека Airlock. Продолжительность выхода составила 4 часа 39 минут.

Работы были завершены досрочно в связи с появлением холодной воды на внутренней поверхности гермошлема Т. Копра.

Бортинженер экспедиций МКС-43/44, командир экспедиций МКС-45/46 американский астронавт Скотт Келли выполнил три выхода в космос общей продолжительностью 18 часов 10 минут.

Выполнение программы научно-прикладных исследований и экспериментов

В ходе полета выполнялись научные исследования, эксперименты и работы по российской программе научно-прикладных исследований и экспериментов, а также по программам участника космического полета ЭП-18 и бортинженера ЭП-18 (проект IRISS).

Выполнение исследований и экспериментов бортинженером МКС-43/44/45/46

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 третьей и сорок четвертой пилотируемых экспедиций МКС-43 и МКС-44» и «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируемых в период сорок пятой и сорок шестой пилотируемых экспедиций МКС-45 и МКС-46».

Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса:

– ТХН-9 «Кристаллизатор» (фото).

Исследование Земли и космоса:

– ИКЛ-2 «БТН-Нейтрон» (автомат*);

– ГФИ-1 «Релаксация»;

– ГФИ-8 «Ураган»;

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

– ГФИ-19 «Сейсмопрогноз»;

– ДЗЗ-17 «Напор-миниРСА» (очистка вентотверстий БЗУ-М);

– КППТ-22 «Экон-М».

* – эксперимент выполняется без участия космонавтов

Человек в космосе:

- МБИ-13 «Спланх»;
- МБИ-25 «Пародонт-2»;
- МБИ-26 «Мотокард»;
- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-30 «МОРЗЭ»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-33 «Биокард» (помощь);
- МБИ-34 «Космокард» (фото);
- МБИ-35 «Альгометрия»;
- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- МБИ-40 «Перемещение жидкостей» – «Fluid Shifts»;
- МБИ-41 «Нейроиммунитет»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- БИО-14 «Биосигнал» (помощь);
- РБО-3 «Матрешка-Р»;
- работы с дозиметром «Пилле-МКС».

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

- ГМП-1 «Cognition» – «Восприятие»;
- ГМП-2 «Fine Motor Skills» – «Сенсорно-моторная функция»;
- ГМП-3 «Ocular Health» – «Здоровье органов зрения»;
- ГМП-4 «Reaction Self-Test» – «Самопроверка реакций»;
- ГМП-5 «Sleep Monitoring» – «Мониторинг сна».

Космическая биология и биотехнология:

- БИО-1 «Полиген» (видео);
- БИО-2 «Биориск»;
- БИО-18 «Регенерация-1»;
- БИО-19 «Феникс» (пассивное экспонирование);
- БТХ-10 «Конъюгация» (фото);
- БТХ-14 «Биоэмульсия» (помощь);
- БТХ-26 «Каскад»;
- БТХ-39 «Асептик» (фото);
- БТХ-41 «Бактериофаг»;
- БТХ-42 «Структура»;
- БТХ-44 «Кальций»;
- БТХ-49 «Фаген» (фото);
- БТХ-50 «Константа-2» (фото);
- БТХ-51 «Продуцент».

Технологии освоения космического пространства:

- ТЕХ-10 «Эпсилон-НЭП» (пассивное экспонирование);
- ТЕХ-14 «Вектор-Т» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);

- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-44 «Среда МКС» (автомат);
- ТЕХ-51 «ВИРУ»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-53 «Биополимер»;
- ТЕХ-65 «Контур-2» (фото и видео);
- ТЕХ-62 «Альбедо» (автомат);
- ТЕХ-64 «Пробой»;
- КПП-2 «Бар»;
- КПП-24 «Тест» (ВКД-41).

Образование и популяризация космических исследований:

- ОБР-5 «Великое начало»;
- ОБР-7 «О Гагарине из космоса»;
- КПП-10 «Кулоновский кристалл» (фото).

Контрактные эксперименты:

- КНТ-36 «Expose-R» (включая ВКД-41).

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

- АСР-1 «SPHERES-ZeroRobotics»;
- АСР-2 «EarthКАМ»;
- АСР-5 «Микробиологический мониторинг».

Всего 67 экспериментов, из них 7 – без участия экипажа.

Также было принято участие в реализации программы полета УКП ЭП-18 космонавта Казахстана А.А. Аимбетова.

Новые эксперименты:

- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-35 «Альгометрия»;
- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Г»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- МБИ-40 «Перемещение жидкостей» – «Fluid Shifts»;
- МБИ-41 «Нейроиммунитет»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- БТХ-49 «Фаген»;
- БТХ-50 «Константа-2»;
- БТХ-51 «Продуцент».

**Выполнение исследований и экспериментов
бортинженером МКС-45/46**

В ходе полета выполнялись научные исследования, эксперименты и работы по российской программе научно-прикладных исследований и экспериментов на основании «Программы реализации научно-прикладных исследований, планируе-

мых в период сорок пятой и сорок шестой пилотируемых экспедиций МКС-45 и МКС-46».

Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса:

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

Исследование Земли и космоса:

- ИКЛ-2 «БТН-Нейтрон» (автомат*);
- ГФИ-1 «Релаксация»;
- ГФИ-8 «Ураган»;
- ГФИ-11 «Обстановка»;
- ГФИ-19 «Сейсмопрогноз»;
- ДЗЗ-17 «Напор-миниРСА»;
- КПТ-22 «Экон-М».

Человек в космосе:

- МБИ-13 «Спланх»;
- МБИ-26 «Мотокард»;
- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-29 «Иммуно»;
- 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» – «Fluid Shifts»;
- МБИ-41 «Нейроиммунитет»;
- МБИ-42 «Коррекция»;
- БИО-14 «Биосигнал» (помощь);
- РБО-3 «Матрешка-Р»;
- работы с дозиметром «Пилле-МКС».

Космическая биология и биотехнология:

- БИО-2 «Биориск» (пассивное экспонирование);
- БИО-19 «Феникс»;
- БТХ-10 «Конъюгация»;
- БТХ-14 «Биоэмульсия»;
- БТХ-41 «Бактериофаг»;
- БТХ-44 «Кальций»;
- БТХ-45 «Биопленка»;
- БТХ-51 «Продуцент»;

Технологии освоения космического пространства:

- ТЕХ-10 «Эпсилон-НЭП» (ВКД-42);

* – эксперимент выполняется без участия космонавтов

- ТЕХ-14 «Вектор-Т» (автомат);
- ТЕХ-15 «Изгиб» (автомат);
- ТЕХ-12 «Вибролаб»;
- ТЕХ-19 «Отклик»;
- ТЕХ-22 «Идентификация»;
- ТЕХ-33 «Контроль»;
- ТЕХ-34 «Реставрация» (ВКД-42);
- ТЕХ-44 «Среда МКС»;
- ТЕХ-51 «ВИРУ»;
- ТЕХ-52 «Визир»;
- ТЕХ-58 «Выносливость» (ВКД-42);
- ТЕХ-65 «Контур-2»;
- ТЕХ-62 «Альбедо» (автомат);
- ТЕХ-64 «Пробой»;
- КПП-2 «Бар»;
- КПП-24 «Тест» (ВКД-42).

Образование и популяризация космических исследований:

- ОБР-5 «Великое начало»;
- ОБР-7 «О Гагарине из космоса»;
- КПП-10 «Кулоновский кристалл».

Контрактные эксперименты:

- КНТ-36 «Ехрозе-R» (включая ВКД-42).

Всего 55 экспериментов, из них 5 – без участия экипажа.

Также было принято участие в реализации программы полета УКП ЭП-18 космонавта Казахстана А.А. Аимбетова и программы полета БИ ЭП-18 астронавта ЕКА, гражданина Дании А. Могенсена (проект IRISS).

Программа УКП ЭП-18 А.А. Аимбетова:

- «Релаксация-KZ»;
- выполнение дополнительной работы «Дегустация казахских продуктов питания» (обед и заполнение опросника).

Программа полета БИ ЭП-18 А. Могенсена (проект IRISS):

- «MARES»;
- «SKINSUIT»;
- «THOR».

Итого 58 экспериментов, из них 5 – без участия экипажа.

Новые эксперименты:

- ТЕХ-34 «Реставрация» (ВКД-42).

Заключение

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета бортиженера длительной экспедиции МКС-43/44/45/46 и ТПК «Союза ТМА-18М», бортиженера МКС-45/46 и командира ТПК «Союз ТМА-18М» можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Уровень подготовленности экипажей МКС-43/44/45/46 и МКС-45/46 по транспортному кораблю «Союз ТМА-М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.

2. Полет экипажа МКС-43/44/45/46 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами из шести человек.

3. 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.

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТА ЭКИПАЖА МКС-45/46
(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-45/46. 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-45/46 Crew Members (Express Analysis).**V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-45/46 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 в составе экспедиций:

ТПК «Союз ТМА-18М» № 718 (старт): КК ТПК – Волков Сергей Александрович; БИ ТПК – Могенсен Андреас; БИ-2 ТПК – Аимбетов Айдын Аканович.

ТПК «Союз ТМА-18М» № 716 (посадка): КК ТПК – Волков Сергей Александрович; БИ ТПК – Корниенко Михаил Борисович; БИ-2 ТПК – Келли Скотт Джозеф.

Этапы полета основной экспедиции:

02.09.15 г. – выведение ТПК «Союз ТМА-18М» № 718 – 04:38 GMT/07:38 ДМВ.

04.09.15 г. – стыковка ТПК «Союз ТМА-18М» № 718 к МИМ2 – 07:39 GMT/10:39 ДМВ.

02.03.15 г. – расстыковка ТПК № 718 от МИМ2 – 01:02:40 GMT/04:02:40 ДМВ. Время посадки – 07:26:15 ДМВ.

Старт экипажа ТПК «Союз ТМА-18М» № 718 в составе: КК С.А. Волкова, БИ А. Могенсена и БИ-2 А.А. Аимбетова состоялся 02.09.15 г. в 07:37 ДМВ.

Стыковка планировалась по 2-суточной схеме. Время работ экипажа ТПК № 718 в автономном полете не превышало 6,5 часа. 04.09.15 г. после выполнения маневров сближения была проведена стыковка ТПК № 718 с МКС в автоматическом режиме в 10:39:03 ДМВ. В сутки стыковки режим труда и отдыха был напряженным в связи с выполнением сложной и ответственной динамической опе-

рации, время работы у КК составило 11 часов, а зона бодрствования – 15 часов 35 минут.

После открытия переходного люка (ОПЛ) в 13:17 ДМВ/10:17 GMT экипаж перешел на станцию и приступил к выполнению служебных операций. По приходу на станцию функции БИ-1 были возложены на С.А. Волкова, БИ-ЭП на А. Могенсена, УКП-ЭП на А.А. Аимбетова. После стыковки ТПК и окончания работ на станции космонавтам было предоставлено время для сна с 18:00 до 06:00 GMT 05.09.15 г. продолжительностью 12 часов.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» с 05.09.15 г. рабочая зона у прибывшего экипажа (БИ-1) была сокращена на 1 час. Это время планировалось на адаптацию и ознакомление со станцией. С этой даты прибывший экипаж перешел на штатный режим сна-бодрствования, принятый для МКС.

В течение восьми дней российские космонавты работали вместе с экипажем ЭП-18 (БИ-ЭП и УКП-ЭП), которые выполняли научные эксперименты по своим национальным программам. После завершения укладки грузов 11.09.15 г. в 21:29 GMT была проведена расстыковка ТПК № 716 с последующей посадкой СА 12.09.15 г. в составе КК/БИ-7, БИ-ЭП и УКП-ЭП.

02.10.15 г. БИ-1 активно включился в работы по разгрузке ТГК № 429 и другим операциям на станции.

15.12.15 г. состоялась стыковка ТПК № 719 (Ю.И. Маленченко), которая была проведена в ручном режиме. После перехода на станцию прибывший экипаж приступил к выполнению своей программы полета. БИ-1 продолжил работы на станции в штатном режиме.

23.12.15 г. была проведена стыковка ТГК № 431. После стыковки космонавты приступили к разгрузке срочных грузов из ТГК и выполнению других работ на станции. В последующие недели полета большой объем времени космонавты затратили на установку накладных листов на панели интерьера СМ. На 19-й неделе полета (08.01.16 г.) по сообщению с борта произошел отказ тренажера БД-2. По согласованию с экипажем РВР БД-2 оперативно были внесены изменения в детальный план на субботу 09.01.16 г. в рамках программы Task List. На ремонт тренажера космонавты затратили по 3 часа каждый.

С 18.01.16 г. БИ-1 и БИ-4 приступили к подготовке к предстоящей ВКД-42. 03.02.16 г. после проведенной подготовки БИ-1 и БИ-4 выполнили операцию «Выход» (ВКД-42). Время ВКД планировалось 5 ч 26 мин, фактически оно составило 4 ч 45 мин. Космонавты работали с опережением графика. После ВКД экипажу было предоставлено время для отдыха с 00:30 до 10:00 GMT 04.02.16 г. продолжительностью 9,5 часа. Кроме того, 04, 06 и 07.02.16 г. были запланированы дни отдыха.

В ночь с 05 на 06.02.16 г. в связи с отказом АСУ (в 21:51 GMT) космонавты по рекомендации Земли выполнили ряд срочных ремонтных работ. По результатам РВР работа АСУ была восстановлена. На РВР космонавты затратили по 2 часа.

Особенностью деятельности БИ-1 на 23-й и 24-й неделях полета было то, что в связи с предстоящей расстыковкой ТГК № 429 и необходимостью завершения установки накладных листов на панели интерьера СМ, в детальные планы в дни отдыха 06 и 07.02.16 г., а также 13 и 14.02.16 г. были внесены эти работы в рамках программы Task List. На эти работы БИ-1 и БИ-4 затратили по 4 часа.

В последние две недели пребывания на станции БИ-1 в связи с возникновением нештатных ситуаций 20.02.16 г. отказ СОА «Воздух» пришлось срочно выполнять ремонтные работы, на что было затрачено 1 час. В субботу 27.02.16 г. в

связи с отказом тренажера БД-2 БИ-1 вместе с БИ-4 по рекомендации Земли в течение трех часов занимались РВР БД-2. Тренажер включен в штатный режим работы. Кроме того, БИ-1 продолжал работы на станции по укладке возвращаемых грузов в ТПК № 718.

Перед расстыковкой ТПК отдых планировался с 23:00 (29.03.16 г.) до 13:30 GMT (01.03.16 г.) продолжительностью 14,5 часа. После завершения укладки срочных грузов в ТПК № 718 02.03.16 г. в 01:03 GMT/04:03 ДМВ была проведена расстыковка ТПК № 718, посадка СА осуществлена в 07:26 ДМВ в заданном районе. Таким образом, 182-суточный полет был успешно завершён.

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

Общее полетное время у БИ-1 составило 182 суток, из которых планировалось 123 рабочих и 59 дней отдыха. Фактически, по сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, у БИ-1 было 43 дня отдыха, когда время работы не превышало двух часов, 6 неполных дней отдыха, когда фактическая продолжительность работ составляла от двух до четырех часов.

За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у БИ-1 составила 51,5 часа. Фактически в дни отдыха БИ-1 на выполнение рабочих операций затратил 61 час. На работы по программе Task List в дни отдыха БИ-1 планировалось 92 часа, фактически на эти работы БИ-1 затратил 54 часа.

Во время рабочей встречи с экипажем 21.03.16 г. в ЦПК имени Ю.А. Гагарина БИ-1 на вопрос, как оцениваете РТО во время полета, ответил, что РТО был, в целом, нормальным. «У нас был определенный распорядок дня, который мы пытались соблюдать. Космический полет – это тяжелая работа, и когда возникали переработки, то нам пытались компенсировать дополнительным отдыхом».

Также высказал пожелание планировать в субботу и воскресенье подъем не в 6 утра, а часов в семь. «Я могу подольше спать, но мне планируют работы, исходя из подъема в 6 часов. Семейные конференции, уборка станции, ФУ, все это привязано ко времени. Усталость накапливается за неделю и очень хочется в субботу и воскресенье отдохнуть, просто быть в свободном режиме».

Продолжительность сна в среднем во время полета у БИ-1 составляла 6–6,5 часа и, по мнению космонавта, была достаточной. В дневное время не отдыхал, старался быть готовым ко всяким ситуациям. Перед посадкой планировалось 14 часов сна.

Сдвиги сна при динамических операциях переносил нормально, без проблем. Высказал пожелание не делать плавные переходы (сдвиги) на другой режим. «Лучше сделать одноразовый сдвиг с возвратом на штатный режим сна-бодрствования».

РТО БИ-1 по своей структуре и рабочей нагрузке соответствовал требованиям нормативных документов и оценивался как нормальный, штатный.

В отдельные периоды и дни, в силу ряда объективных причин, РТО был напряженным. На начальном этапе полета в связи с выполнением сложной динамической операции по стыковке ТПК, которая проходила по 2-суточной схеме, рабочая нагрузка составила 11 часов.

На заключительной неделе полета БИ-1 и БИ-2 выполнили большой объем работ по подготовке и укладке возвращаемых грузов в ТПК № 718, а также операции по спуску в ночное время.

Успешному выполнению программы полета во многом способствовали опыт и профессионализм БИ-1, приобретенные в предыдущих полетах, разумное взаимодействие и взаимопомощь российских космонавтов, работающих на станции.

Состояние здоровья и медицинское обеспечение членов экипажа в полете

По ежедневным докладам БИ-1 самочувствие на всех этапах полета оставалось хорошим.

Во время сеанса связи 05.09.15 г. БИ-1 жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие и настроение были хорошие. Процесс адаптации к невесомости происходил без осложнений. БИ-1: «с каждым разом все легче и легче...». Визуально у БИ-1 отмечалась небольшая одутловатость лица, гиперемии не было.

Во время автономного полета при выведении перегрузки переносились мягко, по ощущениям не более 4 g. К концу первых суток появилась небольшая головная боль давящего характера, в связи с чем использовал изделие «Браслет-М». Головная боль сразу практически исчезла. Носил изделие «Браслет-М» в течение вторых суток на корабле, снял перед сном в первые сутки на станции. В дальнейшем показаний для использования изделия «Браслет-М» не было. Тошноты, рвоты, заложенности носа, одутловатости лица не отмечалось. В корабле аппетит был хороший, съели весь положенный рацион питания. Санитарно-гигиеническую обстановку во время автономного полета оценивал как нормальную.

В первые сутки на станции жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Сон был полноценный, приносил чувство достаточного отдыха.

В дальнейшем на протяжении всего полета самочувствие оставалось хорошим, жалоб на состояние здоровья не было, работоспособность была высокой.

Заключение врача экипажа от 03.11.15 г.: «Жалоб на состояние здоровья не предъявляет. Общее самочувствие хорошее; настроение ровное, спокойное и деловое. Внешне выглядит бодрым. Существующий РТО удовлетворяет. Сон не нарушен, по глубине по пятибалльной шкале глубокий на 5 баллов, длительностью 6–7 часов, скорость засыпания – засыпает мгновенно, скорость пробуждения – быстрая, удовлетворенность ночным сном – полная. Оценивает свое спальное место, как комфортное. Отмечает при засыпании единичные вспышки (5–6 штук) в глазах».

02.02.16 г. жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие хорошее. Сон полноценный, в коррекции не нуждался. БИ-1 и БИ-4 физически были готовы для выполнения ВКД-42. Скафандры и перчатки были подогнаны, медицинские укладки и дозиметры ИДЗ-МКС уложены в соответствии с радиограммой. Медицинских противопоказаний для выполнения работ по задачам ВКД-42 не было.



ВКД-42

04.02.16 г. после ВКД жалоб на состояние здоровья не предъявлял. Свое самочувствие во время выполнения работ по внекорабельной деятельности оценивал как хорошее. Температурный режим в скафандре был комфортный. БИ-1 и БИ-4 сообщили, что «теплоощущение было нормальным, в процессе «Выхода» температуру регулировали, ноги не мерзли». Ограничений в движении и дискомфорте при работе в скафандре не отмечали. Во время шлюзования использовали принадлежность «Вальсальва». После ВКД БИ-1 отмечал наличие небольших наминов в районе тыльной поверхности левой и правой кистей, без нарушения целостности кожного покрова. Явлений общей мышечной усталости не отмечал.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра колебалось в пределах 731–773 мм рт. ст.

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

29.09.15 г. экипаж высказал пожелание несколько повысить температуру в РС МКС: «...Вы нас заохлодили, надо чуть-чуть потеплее...прохладно спать». Для оптимизации температурного режима КОХ-2 отключен из параллельной работы с КОХ-1. В дальнейшем от экипажа каких-либо жалоб на температурный дискомфорт не поступало.

В этот же день во время приватной медицинской конференции космонавты сообщили врачу экипажа, что последние 2–3 дня отмечают пониженную температуру в СМ, в связи с чем попросили увеличить температуру в СМ.

21.10.15 г. экипаж попросил немного снизить температуру воздуха в модуле СМ (на 2 градуса). С этой целью в параллельную работу с КОХ-1 был включен КОХ-2. Повышение температуры в основном было связано с выполнением физических упражнений и наблюдалось в районе рабочего стола.

13.11.15 г. экипаж высказал пожелание по температурному режиму в РС МКС: «...Мы на днях просили понизить температуру на градус, сейчас температура понизилась больше чем на градус и прохладно, просьба дальше не понижать». Для оптимизации температурного режима в РС МКС был отключен КОХ-2 из параллельной работы с КОХ-1.

12.01.16 г. во время выполнения эксперимента «Fluid Shifts» БИ-1 сказал: «Температура поднялась и можно сделать на градус ниже, сейчас включить на «захолаживание» и сделать на некоторое время прохладнее, чтобы к завтрашней работе по «Fluid Shifts» температура стала комфортной». Был включен в параллельную работу КОХ-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 КОХ-1 и КОХ-2; РРЖ перенастраивались с 14 °С на 10 °С.

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

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента: БМП, СРВ-К2М, СКВ-1, СОА «Воздух», СКО «Электрон-ВМ».

УОВ «Поток 150 МК» в СМ и ФГБ включались ежедневно на 6 часов.

Периодически проводились наддувы станции кислородом и воздухом из ТГК.

Еженедельно экипаж проводил плановую уборку станции. При отборах проб воздуха 10.09.15 г., 08.12.15 г. пробоотборником ИПД-ННЗ в СМ аммиака не обнаружено.

01.10.15 г. российские члены экипажа просили прислать на борт влажные салфетки и полотенца, поскольку используют их достаточно много и с удовольствием.

07.10.15 г. в 05:00 GMT экипаж доложил о срабатывании датчика дыма в МИМ2. При осмотре МИМ2 дыма или каких-либо других признаков возгорания не обнаружено. Космонавты выполнили контроль состава атмосферы модуля газоанализатором CSA-CP.

30.12.15 г. БИ-1 сообщил, что велотренажер работает очень шумно, приходится использовать наушники.

По докладам экипажа санитарно-гигиенические условия на станции были адекватные, в норме. В рабочее время ощущалось наличие пяти человек в СМ. Возникали трудности с подогревом пищи, воды («выстраивается очередь»).

В докладе от 17.11.15 г. замечаний по среде обитания не было. Окружающая температура воздуха была комфортная. Космонавты одевали футболки, брюки или шорты, чаще носили брюки, чем шорты.

Питание и водопотребление

В сеансах радиосвязи замечаний от экипажа на всем протяжении полета не поступало.

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на всем протяжении полета у БИ-1 аппетит был хороший, водопотребление в норме.

Индивидуальные посылки для экипажа, доставленные на ТГК № 429, дошли в хорошем состоянии. Высоко оценили продукты (особенно сладости).

27.10.15 г. у БИ-1 замечаний по пище и питьевой воде не было. Аппетит был хороший, завтрак по объему пищи – легкий, обед – полноценный. БИ-1 употреблял в сутки в виде напитков и чистой воды около 1,5–2 литра жидкости. Вкус воды удовлетворял и, соответственно, по пятибалльной шкале – 4 балла.

БИ-1 и БИ-4 отмечали, что в контейнерах рационов питания недостаточно находится напитков в виде чая, соков и кофе.

Результаты акустических измерений

21.09.15 г. проводилось исследование акустической обстановки в модулях РС МКС (СМ, МИМ1). Акустические замеры проводились по общему уровню (LA, 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 и в местах сна членов экипажей.

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

В СМ на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню звука составили 1,3–7,4 дБА с максимальным значением в КТ2 (район СКВ).

В каютах имели место превышения уровня звука на 5,1 и 10,2 дБА с максимальным значением в левой каюте.

По сравнению с предыдущими замерами уровни шума на рабочих местах СМ понизились максимально в районе ПхО (на 1,7 дБА) и повысились на 0,6–3,3 дБА в малом и большом диаметре СМ.

В каютах СМ уровень шума повысился на 3,0 и 6,6 дБА в правой и левой каютах соответственно.

Экипажам давались рекомендации:

1. Использовать средства индивидуальной защиты от шума в период работы, особенно в местах расположения шумящего оборудования, в районе снятых панелей, а также при выполнении ФУ, когда отмечаются значительные превышения допустимых уровней шума.

2. На период сна закрывать дверь каюты, а также использовать средства индивидуальной защиты от шума (беруши и/или наушники с активным шумоподавлением).

12–14.10.15 г. проводились работы по определению индивидуальной шумовой нагрузки за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров (IAD, фирмы Noise Pro).

Место сна БИ-1 (С.А. Волков) – правая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что шумовая нагрузка у российских космонавтов превышала предельно-допустимый уровень (ПДУ) за дневной период на 2,9–19,5 дБА, а за ночной период – на 7,3–8,6 дБА.

Повторное измерение шумовой нагрузки от 9.12.15 г. показало ее снижение у БИ-1 за дневной период на 9,0 дБА и за ночной период – на 5,1 дБА.

Радиационная обстановка в РС МКС

За время полета радиационная обстановка внутри станции оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у БИ-1 не превысила допустимые значения доз, определенных согласно Flight Rules В 14.2.2-12 и Гост 25645.215-85.

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

Во время выполнения ВКД проводился контроль радиационной безопасности экипажа с использованием датчиков дозиметра «Пилле-МКС».

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

В работе использован комплект дозиметрических датчиков в количестве 11 единиц. Результаты обработки показаний датчиков в виде среднесуточной мощности поглощенной дозы:

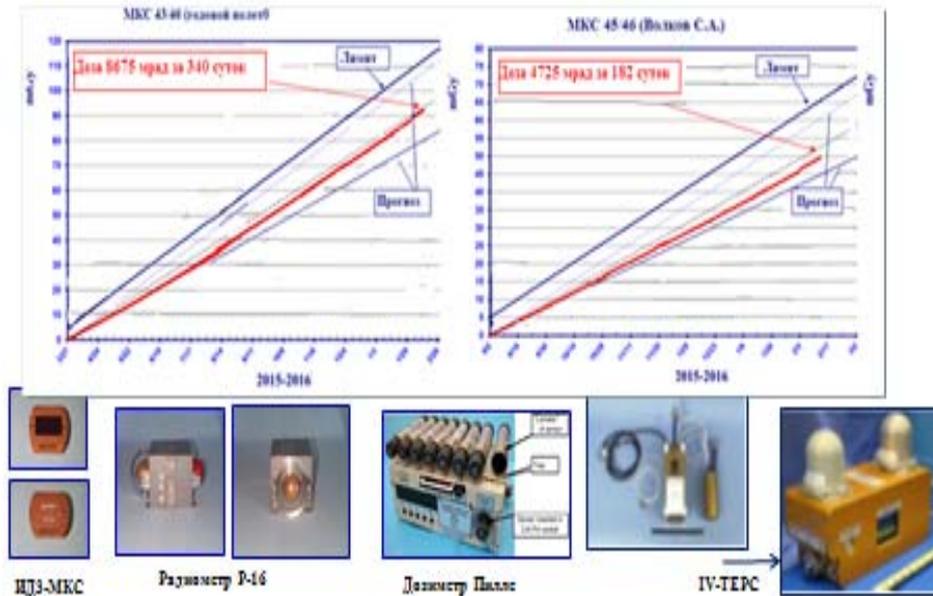
– пространственное поле распределения дозовых нагрузок в СМ сохранялось;

– наименьшая мощность поглощенной дозы зарегистрирована на панели 435 в районе рабочего стола.

– наибольшая мощность поглощенной дозы – в СМ, правая каюта, панель 447, рядом с прибором ДБ-8 № 3.

Все датчики находились в работоспособном состоянии. Значения измеренной мощности поглощенной дозы оставались в пределах, установленных полетными правилами (Flight Rules В 14.2.2-12).

03.02.16 г. во время ВКД-42 были использованы датчики: АО309 находился в скафандре БИ-1, АО310 находился в скафандре БИ-4, АО307 находился в СМ. Дополнительная поглощенная доза у членов экипажа за время ВКД не превысила нормативных значений.



Результаты радиационного мониторинга МКС

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

Система профилактики в полете

07–10.09.15 г. БИ-1 планировалось ознакомление с оборудованием для выполнения ФУ, процедурами выполнения ФУ на ARED, ознакомительная тренировка на ВБ-3М.

С 13.09.15 г. физические тренировки планировались по российской программе 2 раза в день общей продолжительностью 2,5 часа на БД-2/*Т2 и ВБ-3М/ARED.

(* 16.09–06.10.15 г. в связи с неисправностью БД-2).

В соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов с 04.02.16 г. планировались двухразовые тренировки на бегущей дорожке (БД-2/Т2) с заменой через день одного занятия тренировкой на ARED и ОДНТ-тренировки.

Профилактическое изделие «Браслет» надел в конце первых суток автономного полета, носил в течение вторых суток на корабле, снял перед сном в первые сутки на станции, в дальнейшем не использовал.

Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» у БИ-1 25.02.16 г. была проведена без замечаний.

По ежедневным докладом ФТ выполнял в основном в полном объеме.

16.09.15 г. экипаж доложил, что задняя правая тяга БД-2 «болтается, большой крен, уголок тяги как ножом срезан». До проведения РВР (после доставки необходимых частей на ТГК № 429 01.10.15 г.) физические тренировки для БИ-1 планировались на Т-2 (по 40 минут ежедневно), ВБ-3М и ARED.

28.09.15 г. во время беседы со специалистами по физическим тренировкам БИ-1 сообщил, что выполняет тренировки на бегущей дорожке Т-2, пассивный режим пока не использует, так как трудно выполнять переключение с активного режима на пассивный. Тренировки на силовом тренажере выполняет в полном объеме. БИ-1 указал, что подобрал оптимальный для себя вес на силовом тренажере.

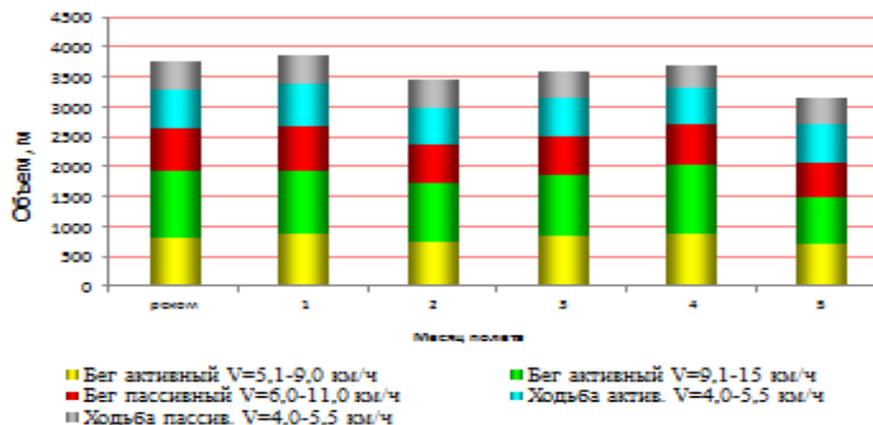
06.10.15 г. проведены РВР БД-2, специалистами дано разрешение на использование тренажера.

После восстановления работоспособности БД-2 физические упражнения на ней выполнил без замечаний.

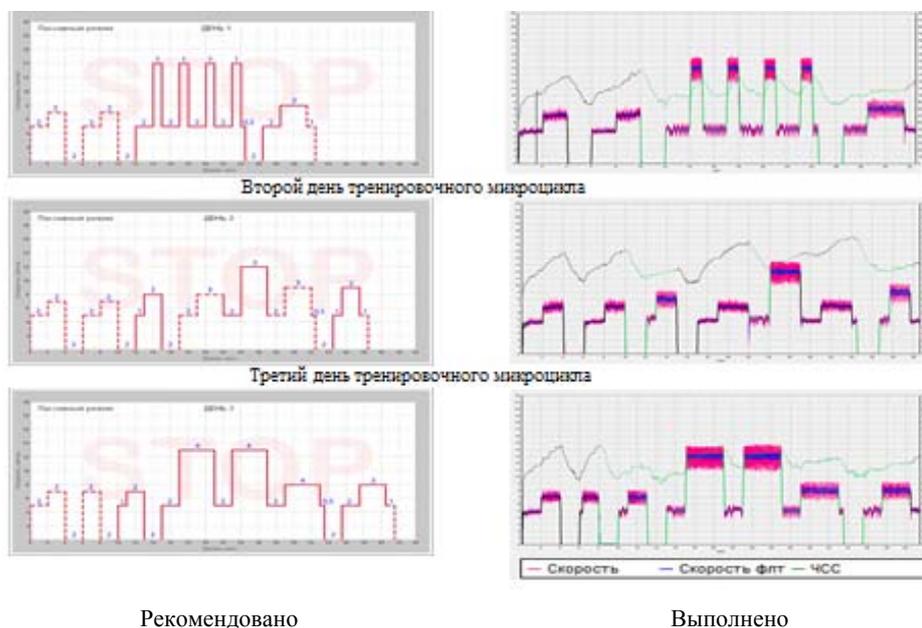
Небольшие проблемы отмечались со стороны ВБ-3М. На 28.12.15 г. были запланированы РВР ВБ-3М, но экипаж высказал мнение, что в запланированных работах по устранению люфта шатуна правой и левой педалей нет необходимости. БИ-1 доложил, что «ВБ-3М работает так же, как и в 2011 году во время предыдущего полета, ... люфт минимальный». По согласованию со специалистами-разработчиками ВБ-3М работы были отменены.

26.01.16 г. в докладе врача экипажа было отмечено, что БИ-1 физкультурой занимался согласно форме 24, активно проводил физические упражнения на ручном велоэргометре, направленные на тренировку мышц верхних конечностей. БИ-1 сообщил, что на заключительном этапе полета физические упражнения на БД-2 будет выполнять по российскому протоколу, а на Т-2 будет заниматься в активном режиме, по протоколу интервального бега. Также БИ-1 отметил, что не испытывает трудностей при поочередном использовании БД-2 и Т-2 «...не стоит много труда переходить с БД-2 на Т-2, каждая дорожка со своими особенностями, мы к ним приспособились, ТНК подгоняется быстро, без проблем...».

На протяжении всего полета специалисты еженедельно оценивали записи выполнения ФТ на бегущей дорожке БД-2 и выдавали экипажу заключения. Уровень физической тренированности БИ-1 оценивался как хороший.



Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку БИ-1 МКС-45/46



Схемы тренировок БИ-1 МКС-45/46

Результаты расшифровок файлов с данными по физическим тренировкам на ARED показывали, что выполненный объем нагрузки и структура тренировок в основном соответствовали рекомендованным значениям. Нагрузки выполнялись в полном объеме. Физическая форма БИ-1 по результатам тренировок на ARED оценивалась как хорошая.

В соответствии с программой полета БИ-1 выполнял локомоторную пробу МО-3 на бегущей дорожке БД-2. Временные характеристики и структура теста полностью соответствовали требованиям бортовой документации.

Перед посадкой на заключительном этапе полета БИ-1 проводился цикл ОДНТ-тренировок. Самочувствие БИ-1 до, во время и после воздействия ОДНТ оставалось хорошим. Жалоб на самочувствие не предъявлял. Во время тренировок цифры АД и ЧСС были в пределах нормы. Тренировки проведены в полном объеме по индивидуальной схеме. Переносимость воздействия всех проб ОДНТ хорошая.

Медико-биологические эксперименты

С использованием российского оборудования во время полета выполнены следующие медицинские эксперименты: МБИ-13 «Спланх», МБИ-26 «Мотокард», БИ-27 «УДОД», МБИ-29 «Иммуно», 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-41 «Нейроиммунитет», МБИ-42 «Коррекция».

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



«Альгометрия»



«УДОД»



«ДАН»



«Биокард»



«Мотокард»

Медико-биологические эксперименты в период МКС-45/46

Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей МКС-45/46 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа МКС-45/46 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 позитивный.

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

Уровень предполетной подготовки экипажа был достаточным и адекватный задачам полета.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

NODE 2 – модуль станции

TVIS – американская беговая дорожка (тредмил виброизолирующая система)

АСУ – ассенизационно-санитарное устройство

ВБ-3М – велоэргометр бортовой

ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера

ОДНТ – отрицательное давление на нижнюю часть тела

СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности

СОГС – средства обеспечения газовой среды

СТР – система теплорегуляции

ФГБ – функциональный грузовой блок

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78.072.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДГОТОВКИ ЭКИПАЖЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА КОМПЛЕКСНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТРЕНАЖЕРАХ

Ю.И. Онуфриенко, А.А. Курицын, В.А. Копнин, А.А. Ковинский

Летчик-космонавт РФ Ю.И. Онуфриенко; докт. техн. наук А.А. Курицын;
В.А. Копнин, А.А. Ковинский (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются вопросы управления процессом подготовки экипажей МКС на комплексных и специализированных тренажерах на основе системного адаптивного подхода, позволяющего формализовать процессы принятия управленческих решений с использованием современных автоматизированных систем при изменяющихся начальных условиях подготовки экипажей (различные состав экипажей и начальный уровень подготовки членов экипажа, изменяющаяся программа полета).

Ключевые слова: подготовка космонавтов, технические средства подготовки космонавтов, управляющие параметры, Международная космическая станция.

Defining the Main Control Parameters of the ISS Crew Training on Integrated and Dedicated Simulators. Yu.I. Onufrienko, A.A. Kuritsyn, V.A. Kopnin, A.A. Kovinsky

The paper discusses issues of controlling the training of the ISS crews on integrated and dedicated simulators on basis of the system approach allowing formalizing the processes of making management decisions using the present day computer-aided systems under variable initial conditions of crew training (different composition of a crew and the starting preparedness levels of crewmembers, variable flight programs).

Keywords: cosmonaut training, cosmonaut training technical facilities, control parameters, International Space Station.

Современная концепция развития пилотируемых космических средств в России предусматривает создание и развертывание на околоземной орбите орбитальных космических станций с развитой инфраструктурой, рассчитанных на длительный период эксплуатации и тем самым значительно расширяющих потенциал научных исследований и использования космоса в интересах социально-экономического развития страны. Средством доставки экипажей на орбитальные космические станции в настоящее время являются транспортные пилотируемые корабли «Союз».

Российская орбитальная пилотируемая космонавтика к настоящему времени прошла большой путь от первых орбитальных станций серии «Салют» до функционирующей в настоящее время Международной космической станции (см. таблицу) [15–16].

Отечественные орбитальные пилотируемые станции

Орбитальная станция	Дата запуска и прекращения существования	Полетные параметры орбиты			Число экспедиций на борту ОПК	Основные задачи экипажей в полете
		Высота в перигее, км	Высота в апогее, км	Наклонение, град.		
Салют	19.04–11.10.1971	200	222	51,6	1	Проверка работы аппаратуры. Комплексные научные исследования и эксперименты
Салют-2 (Алмаз)	03.04–29.04.1973	257	278	51,6	–	–
Космос-557 (Салют-3А)	11.05–22.05.1973	206	225	51,6	–	–
Салют-3 (Алмаз)	26.06.1974–25.01.1975	213	253	51,6	1	Эксплуатация бортовых систем, дооснащение станции. Комплексные научно-прикладные исследования и эксперименты. Работы в интересах обороны и безопасности страны
Салют-4	26.12.1974–03.02.1977	168	219	51,6	2	Эксплуатация бортовых систем, дооснащение станции. Комплексные научно-технические исследования и эксперименты. Фото-, видеосъемки объектов
Салют-5 (Алмаз)	22.06.1976–08.08.1977	219	260	51,6	2	Эксплуатация бортовых систем, дооснащение станции. Комплексные научно-прикладные исследования и эксперименты. Работы в интересах обороны и безопасности страны

Окончание таблицы

Орбитальная станция	Дата запуска и прекращения существования	Полетные параметры орбиты			Число экспедиций на борту ОПК	Основные задачи экипажей в полете
		Высота в перигее, км	Высота в апогее, км	Наклонение, град.		
Салют-6	29.09.1977–29.07.1982	219	275	51,6	5 основных, 11 краткосрочных	Эксплуатация бортовых систем, сборка и дооснащение станции. Комплексные научно-прикладные исследования и эксперименты. Фото-, видеосъемки объектов
Салют-7	19.04.1982–02.05.1987	219	278	51,6	6 основных, 2 краткосрочных	Эксплуатация бортовых систем, сборка и дооснащение станции. Комплексные научно-прикладные исследования и эксперименты. Фото-, видеосъемки объектов
Мир	20.02.1986–23.03.2001	354	374	51,6	28 основных, 24 краткосрочных	Эксплуатация бортовых систем, сборка и дооснащение станции. Комплексные научно-прикладные исследования и эксперименты. Фото-, видеосъемки объектов
МКС	20.11.1998–н.в.	413	418	51,6	46 основных, 18 краткосрочных	Эксплуатация бортовых систем, сборка и дооснащение станции. Комплексные научно-прикладные исследования и эксперименты. Фото-, видеосъемки объектов

Как видно из представленной таблицы, всего по состоянию на настоящее время было выполнено 91 длительных и 55 краткосрочных полетов. Весь этот огромный накопленный опыт полетов экипажей орбитальных пилотируемых комплексов в СССР и России показал, что основным и наиболее эффективным способом подготовки экипажей является подготовка на комплексных и специализиро-

ванных тренажерах. МКС в настоящее время представляет собой сложный много-сегментный и многомодульный комплекс, экипаж на борту МКС выполняет десятки тысяч различных полетных операций, что приводит к увеличению объемов и масштабов подготовки на Земле [1–2, 6–7]. Жесткие требования по срокам подготовки, ее большой объем, значительное число баз подготовки (Россия, США, Европа, Япония, Канада) не всегда позволяют на тренировках отработать весь перечень существующих полетных процедур и нештатных ситуаций (НшС), что требует оптимизации программ подготовки экипажей.

Способы действий, усваиваемые космонавтами в процессе тренировок на тренажерах, становятся их навыками и умениями. Навыком является способ выполнения операции, который доведен до автоматизма, почти не контролируется сознанием. Умение – способность выполнять ряд упорядоченных операций, имеющих общую цель. Умение может быть усвоено с разной степенью совершенства, но его выполнение всегда контролируется сознанием [4]. Целью тренировок с космонавтами экипажей МКС является привитие сенсомоторных и перцептивно-моторных навыков и умений [3]. Основными факторами, влияющими на становление и поддержание навыков в процессе обучения космонавтов на комплексных и специализированных тренажерах, является выбор оптимального количества повторений полетной операции $n(O_i)$ и нештатной ситуации $n(A_i)$ на тренировках в программе подготовки [9–10, 13].

На становление навыков и умений непосредственно влияют индивидуальные психофизиологические показатели космонавта.

Тренировка проводится на основании ее итогового плана U_k^T с заданным количеством НшС, удовлетворяющим инструктора. При этом инструктор должен иметь варианты последовательного изменения планов тренировки U_{kp}^T при введении запланированных НшС.

Кроме того, возможно отклонение хода тренировки от намеченного ранее плана в результате ошибочных действий членов экипажа, нарушений в работе тренажеров (отказов технических и программных средств имитации), нечетких действий инструкторов и операторов тренажера в рамках их взаимодействий.

В процессе каждой тренировки проверяется усвоение знаний, навыков и умений, прививаемых космонавтам. На основании текущих показателей качества деятельности космонавта X при выполнении программы тренировки на комплексных и специализированных тренажерах МКС инструктор может принимать решение об оперативном перепланировании тренировки либо изменении программы последующих тренировок.

Таким образом, факторами, влияющими на становление и поддержание навыков, являются:

1. Временные:
 - продолжительность общего времени подготовки – T_n ;
 - продолжительность непрерывной подготовки экипажа в России (длительность учебной сессии при проведении подготовки на базах международных партнеров) – T_c ;
 - рациональное значение величины промежутка времени между двумя соседними тренировками – τ_{np} ;
 - продолжительность времени тренировки – T_{TP} . (обычно принята трехвитковая продолжительность тренировки T_{TP} – 4 часа, длительность типовых полетных суток составляет T_{TP} – 8 часов).

2. Технические:

- состав тренажерной базы подготовки экипажей МКС – $N_{ТРЕН}$;
- возможность отработки i -й полетной операции на тренажерах – V_{O_i} ;
- возможность отработки i -й нештатной ситуации на тренажерах – V_{A_i} .

3. Методические:

- программа полета экипажа МКС – $Ц_n$;
- совокупность полетных операций – $\{O_i\}$;
- совокупность нештатных ситуаций (НшС) – $\{A_i\}$;
- совокупность комплексных режимов полета МКС – $\{R_i\}$;
- сложность полетной операции, нештатной ситуации – $C(O_i), C(A_i)$;
- важность (значимость) полетной операции, нештатной ситуации – $B(O_i),$

$B(A_i)$;

- количество повторений полетной операции $n(O_i)$ в программе подготовки;
- количество повторений нештатных ситуаций $n(A_i)$ в программе подготовки;
- уровень подготовленности экипажа – L .

4. Личностные:

- индивидуальные психофизиологические показатели космонавта.

Для определения основных управляющих параметров подготовки экипажей МКС на комплексных и специализированных тренажерах необходимо рассмотреть схему управления подготовкой экипажей на тренажерах, представляющую собой взаимодействие главных дидактических отношений космонавта, инструктора и содержания обучения.

Под комплексной автоматизированной обучающей системой (КАОС) в данном случае подразумевается система, включающая в себя техническое средство подготовки космонавтов (ТСПК), средства управления ТСПК, технические и программные средства, предназначенные для автоматизации подготовки экипажей на тренажере.

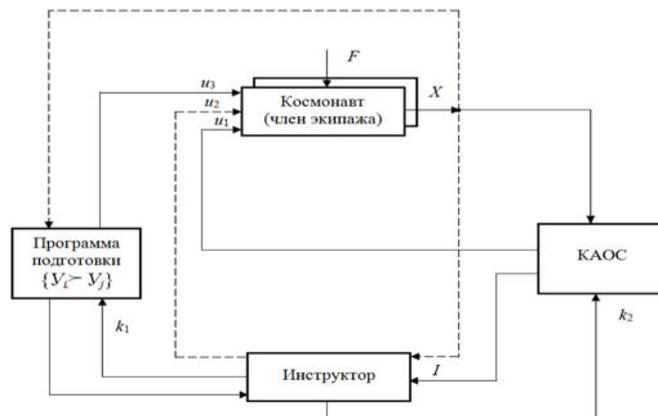


Схема управления подготовкой экипажей МКС на тренажерах

Основными параметрами схемы управления подготовкой экипажей на тренажерах являются [8–12]:

- текущие показатели космонавта в процессе данной тренировки X ;
- управляющие воздействия U ;
- воздействие среды F ;

- показатели процесса обучения I ;
- корректирующие воздействия K .

Данные параметры являются агрегированными и могут распадаться на совокупность показателей.

1. X – текущие показатели космонавта как объекта управления в процессе тренировки, к ним можно отнести [14]:

- x_1 – уровень усвоения знаний, навыков и умений в процессе обучения:

- x_{11} – уровень усвоения знаний;
- x_{12} – уровень усвоения навыков;
- x_{13} – уровень усвоения умений;

- x_2 – затраты времени на усвоение задания;

- x_3 – количество усваиваемой информации;

- x_4 – количественные показатели выполнения упражнения (точность стыковки, скорость касания, длительность и т.п.);

- x_5 – индивидуальные психофизиологические показатели (способности, темперамент, характер);

- x_6 – мотивационные показатели.

2. $U (u_1, u_2, u_3)$ – управляющие воздействия, вырабатываемые средствами КАОС, инструктором или самостоятельно космонавтом с целью управления процессом подготовки:

- u_1 – управляющие воздействия, вырабатываемые средствами КАОС для формирования с использованием тренажерных средств вектора состояния $S_{<\chi>} = [s_1, s_2, \dots, s_n]$ наблюдаемых параметров МКС;

- u_2 – управляющие воздействия, вырабатываемые инструктором, реализуются в процессе оперативного перепланирования путем изменения циклограммы тренировки U_k^T ;

- u_3 – управляющие воздействия, вырабатываемые на основании программы подготовки с учетом влияния самого космонавта на содержание подготовки.

3. I – показатели процесса обучения. К показателям обучения могут относиться: уровень подготовленности экипажа L , оценка за тренировку $K_{тр.}$, количественные характеристики выполнения конкретного режима (точность стыковки, скорость касания и т.п.).

4. $K (k_1, k_2)$ – корректирующие воздействия:

- k_1 – корректировка программы подготовки;

- k_2 – корректировка работы КАОС (изменение работы тренажерного комплекса, программных средств).

5. F – внешние возмущающие воздействия среды, к которым можно отнести:

- f_1 – эмоциональные возмущающие воздействия (уверенность космонавта в важности обучения, социальное влияние, моральная поддержка и т.п.);

- f_2 – количество и качество тренажерных средств обучения;

- f_3 – сбои ТСПК из-за ненадежности и неправильных действий космонавта;

- f_4 – необходимость доработки ТСПК из-за требований нового режима полета (выполняемого эксперимента и т.п.), не учитываемого ТСПК;

- f_5 – отсутствие (нечеткость) взаимодействия ТСПК с другим оборудованием;

- f_6 – степень подготовленности инструкторского состава.

Для определения зависимости эффективности выполнения программы полета от параметров управления подготовкой экипажей МКС на тренажерах введем критерий эффективности выполнения программы полета W .

В соответствии с программой полета на борту МКС космонавт выполняет M полетных операций O_i . При этом вероятность выполнения им i -й операции равна $P(O_i)$, а значимость полетной операции (ПО) равна $\alpha_{\text{зн}}(O_i)$. Значимость ПО $\alpha_{\text{зн}}(O_i)$ отражает в количественной форме степень ее влияния на результаты выполнения программы полета и может быть представлена в виде числа с интервалом значений от 0 до 1. Тогда эффективность подготовки к выполнению программы полета может быть оценена выражением:

$$W_{\text{подг}} = \sum_{i=1}^M P_i(O_i) \alpha_{\text{зн}}(O_i).$$

В соответствии с проектной документацией на МКС, требования к качеству подготовки экипажей (требуемое значение эффективности подготовки $W_{\text{тр}}$) задаются следующими правилами [6–7]:

- а) экипаж не должен допускать единичных ошибок, приводящих к невыполнению программы полета или/и катастрофическим последствиям ($P \geq 0,95$);
- б) при возникновении НшС, приводящих к невозможности выполнения программы полета, экипаж должен уметь обеспечить, как минимум, безопасность ($P \geq 0,99$).

Поэтому эффективность выполнения программы полета тем выше, чем выше вероятность выполнения наиболее значимых полетных операций. Таким образом, для подготовки необходимо отбирать операции с учетом их важности (значимости для выполнения программы полета).

Если показатель эффективности выполнения подготовки представить как зависимость от параметров управления подготовкой, получим:

$$W_{\text{подг}} = f[X, U, F, I, K].$$

При известной зависимости показателей экипажа в процессе подготовки, полученных на основании анализа деятельности космонавтов в процессе тренировок, и учета начального уровня подготовленности членов экипажа L_0 :

$$\frac{dX}{dt} = f[L_0, U, F, I, K],$$

может быть сформулирована задача управления процессом тренировки как нахождение оптимальных векторов параметров управления U^* и корректирующих воздействий K^* ,

$$\{U^*, K^*\} = \text{Arg max}_{\{U, K\}} W_{\text{подг}}(L_0, X, F, I, U, K),$$

доставляющих функции эффективности $W_{\text{подг}}(L_0, X, U, F, I, K)$ максимальное значение, но не ниже требуемого $W_{\text{подг}}(L_0, X, U, F, I, K) \geq W_{\text{тр}}$ при существующих ограничениях.

Наличие изменяющихся начальных условий подготовки (состав и количество опытных членов экипажа M_0 , длительность подготовки экипажа $T_п$, программа полета экипажа $\Pi_п$, начальный уровень подготовленности членов экипажа L_0) и необходимость учета внешних воздействий среды F в процессе подготовки тре-

буют при проведении исследований использования методов и средств теории адаптивного автоматизированного управления [5].

Анализ компонентов технологического процесса подготовки и проведения тренировки показывает, что реализация задачи подготовки экипажей МКС на тренажерах должна включать в себя следующие составляющие:

- планирование программы подготовки на тренажерах;
- формирование циклограммы тренировки;
- оценивание действий экипажа в процессе тренировки;
- ввод нештатных ситуаций в процессе тренировки;
- управление тренажерным комплексом;
- установка начальных условий на тренировку.

Основными элементами непосредственно тренировки экипажа МКС на комплексных и специализированных тренажерах являются:

- экипаж МКС;
- инструктор экипажа;
- бортовые системы тренажера;
- имитация внешних факторов;
- динамические характеристики МКС.

Модель управления процессом проведения тренировок на тренажерах МКС представляет собой взаимодействие составляющих реализации задачи управления процессом проведения тренировок и элементов тренировки [11].

Совершенствование подготовки космонавтов на различных тренажерах многомодульных орбитальных пилотируемых комплексов является актуальной проблемой, решение которой требует создания качественно новых автоматизированных обучающих систем, позволяющих объединить тренажерный комплекс подготовки космонавтов с автоматизированными системами обеспечения тренировки в единую комплексную автоматизированную обучающую систему. Такая постановка вызывает необходимость сочетания различных подходов, использования современных информационных технологий и инструментов моделирования для формирования и поддержки управленческих решений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Материалы проведения межведомственных совещаний по анализу результатов подготовки и выполнению полетов на ОК «Мир» экипажей ЭО1–ЭО29, Звездный городок Московской области: РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1986–1999.
- [2] Материалы проведения межведомственных совещаний по анализу результатов подготовки и выполнению полетов на МКС экипажей МКС1–МКС45/46, Звездный городок Московской области: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2000–2016.
- [3] Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Демин Л.С., Жуковский Ю.Г., Семенов А.П. и др. Под ред. В.Е. Шукшунова. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
- [4] Кубасов В.Н. и др. Профессиональная подготовка космонавтов – М.: Машиностроение, 1985. – 97 с.
- [5] Теоретические основы автоматизированного управления: Учебник для вузов / Советов Б.Я., Цехановский В.В., Чертовский В.Д. – М.: Высш. шк., 2006. – 463 с.
- [6] Разработка и практическое внедрение методов планирования полетных операций при оперативном управлении орбитальными комплексами / Соловьев В.А., Станиловская В.И. // Материалы XXXVII чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского; Секция «Проблемы ракетной и космической техники». – Казань, 2003. – С. 95–102.

- [7] Соловьев В.А. Организация управления полетами КА и дальнейшее развитие системы управления полетами. Материалы научно-технического совета РКК «Энергия», 14.10.2010. – Королев, 2010.
- [8] Использование информационных технологий в процессе подготовки космонавтов / Харламов М.М., Ковригин С.Н., Курицын А.А. // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 1 (6). – С. 35–43.
- [9] Особенности проведения и контроля подготовки экипажей МКС из шести человек / Харламов М.М., Курицын А.А., Темеров А.В. // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 2 (4). – С. 36–43.
- [10] Автоматизация управления технологическим процессом комплексной подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов / Курицын А.А., Харламов М.М. // Пилотируемые полеты в космос. – 2011. – № 1(1). – С. 87–94.
- [11] Особенности управления технологическим процессом подготовки экипажей современных орбитальных пилотируемых комплексов / Курицын А.А., Крючков Б.И. В сборнике: XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 9116–9125.
- [12] Нештатные ситуации космических полетов. Математическое моделирование. Прикладные аспекты / Алешин А.В., Дедков Д.К., Крючков Б.И., Рудченко А.Д., Сосюрка Ю.Б., Ярополов В.И. – Звездный городок Московской области: РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1998. – 244 с.
- [13] Онуфриенко Ю.И., Курицын А.А. Использование основных управляющих параметров подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов на комплексных и специализированных тренажерах // Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Звездный городок, 2009. – С. 42–44.
- [14] Авиационные тренажеры / Боднер В.А., Закиров Р.А., Смирнова И.И. – М.: Машиностроение, 1978. – 192 с.
- [15] Космонавтика: энциклопедия / Гл. ред. В.П. Глушко. – М., 1985.
- [16] <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

УДК 621.38 : 004.896 : 159.9.62 : 159.9 : 614.8

**ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КОСМОНАВТУ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ
НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ
ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИХ КОЛЛИЗИЙ**

А.А. Ворона, Л.Д. Сыркин, Б.И. Крючков, В.М. Усов

Докт. мед. наук, профессор А.А. Ворона (НИИЦ АКМиВЭ ЦНИИ ВВС МО РФ)
Докт. психол. наук, доцент Л.Д. Сыркин (Государственный социально-гуманитарный университет)
Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. мед. наук, профессор В.М. Усов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассмотрено человеко-машинное взаимодействие космонавта с группой автономных мобильных роботов (АМР). Представлено средство деятельности космонавта при контроле группы АМР на поверхности Луны. С учетом современного состояния разработок в области бортового оснащения АРМ для локального позиционирования выполнен поиск способов отображения человеку-оператору (ЧО) данных для принятия решений в режиме дистанционного контроля группы АМР. Предлагается применение режимов визуализации, облегчающих восприятие и перекодирование навигационной обстановки для оперативного «включения» ЧО в управление АМР в супервизорном режиме при выявлении в ходе визуального контроля коллизий АМР. Построение средств деятельности должно опираться на теоретические взгляды о системе регуляции деятельности ЧО с учетом известных профессий – «земных аналогов» (штурмана самолета, диспетчера УВД и др.). Отмечено, что на основе предлагаемых средств отображения информации возможно построение профессионально ориентированных «синтетических» тестов ЧО с цифровыми картами.

Ключевые слова: пилотируемые полеты на Луну, человеко-машинное взаимодействие, автономный мобильный робот, группа роботов, позиционирование на поверхности Луны, модель цифровой карты, индикация внешней обстановки.

**Visual Displaying of a Group of Autonomous Mobile Robots Moving
on the Moon's Surface in Order a Cosmonaut Could Prevent Their
Collisions. A.A. Vorona, L.D. Syrkin, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov**

The paper discusses the man-machine interaction between a cosmonaut and a group of autonomous mobile robots (AMRs) and describes the tools that cosmonauts use to control them on the Moon's surface. Taking into account the current state of the development of an AMR's equipment for local positioning, the authors performed a search for ways of displaying data in order a human operator could make a decision in a mode of remote controlling a group of AMRs. It is proposed to use the imaging modes that facilitate the perception and recoding of navigational situation to provide prompt "initiation" of cosmonauts in controlling robots in a supervisor mode when the risk of collision is detected. The creation of these tools should be based on the theoretical ideas about the control system of a human operator's activity considering known professions – Earth analogues (air navigators, air traffic controllers, etc.). It is noted that the suggested data display devices allow designing profession-oriented "synthetic" tests of human operators using digital maps.

Keywords: manned lunar missions, man-machine interaction, autonomous mobile robot (AMR), group of robots, positioning on the Moon's surface, model of a digital map, display of environment.

Введение

В настоящее время активно ведутся исследовательские и проектные работы в области космической робототехники, включая создание роботов-помощников космонавтов на поверхности планет (*англ.*: Space Surface-Mobile Robot – «мобильный робот, перемещающийся по поверхности»). Этот вид космических роботов может широко использоваться на начальных этапах освоения человеком Луны, так как в предлагаемых к реализации сценариях выполнения пилотируемых миссий к Луне развертывание напланетной инфраструктуры должно выполняться на основе точных навигационных данных о конкретной территориальной области, наличии удобных маршрутов для передвижения автоматических средств (роботов) и космонавтов в специальном снаряжении.

В то же время, в силу понятных причин для этих целей не представляется возможным на начальных этапах рассчитывать на построение для лунных миссий земного аналога системы глобального позиционирования на основе спутниковой группировки и/или (подвижных) ретрансляционных и коммуникационных сетей, хотя не исключено, что в дальнейшем такие масштабные решения для лунной инфраструктуры могут иметь место.

Необходимые данные для уточнения существующих спутниковых карт поверхности Луны могут быть получены на основе выполнения операций разведки и патрулирования территории группой автономных мобильных роботов, оснащенных бортовым оборудованием для локального позиционирования и навигации [41, 50, 31, 27].

В свете жестких требований к безопасности напланетной деятельности (НаПлД) экипажа принципиально важным положением является требование постоянного контроля человеком-оператором (ЧО) активности АМР. Этот контроль должен осуществляться преимущественно в дистанционном режиме, и при этом необходимо предусматривать средства обеспечения ЧО визуальной обратной связью на основе индикации телеметрических данных с борта АМР для своевременного обнаружения и разрешения возможных коллизий. Объективные трудности принятия ЧО решений в условиях информационных ограничений, задержек получения информации об активности группы АМР требуют специальных исследований в области человеко-машинного интерфейса (*англ.*: Human-Machine Interface – HMI) и взаимодействия человека с роботами (*англ.*: Human-Robot Interaction – HRI).

Сегодня у специалистов нет единого подхода к построению управления группой роботов, и в этом аспекте актуально изучение роли космонавта в данном процессе при решении достаточно специфичных и ответственных операций.

Проявление повышенного интереса к применению групп роботов различного назначения связано с тем, что группы роботов, как правило, обладают значительными преимуществами по сравнению с одиночными роботами (в смысле общей производительности и экономии времени). Именно с такой ситуацией будет сталкиваться космонавт в лунной миссии, перед которым ставится задача в кратчайшие сроки выполнить миссию, связанную с высокими требованиями к ресурсам обеспечения жизнедеятельности, при высоком уровне безопасности работ. При этом роль ЧО достаточно велика при всех планируемых уровнях кооперации АРМ в группе и существенно определяется степенью ситуационной осведомленности космонавта.

Появление такого вида космических роботов, как АРМ, порождает новые вопросы к общеметодологическим проблемам исследования эргатических систем,

поскольку очевидна необходимость совершенствовать НМІ при возрастающих интеллектуальных возможностях искусственных агентов [33, 42].

Стремление достичь максимально возможной автономности интеллектуальных агентов в тех областях, где они более эффективно, чем ЧО, выполняют специализированные трудовые операции, составляет один из трендов современной робототехники, систем искусственного интеллекта и информатики. Однако с позиций накопленного авиационной и космической эргономикой опыта необходимо проявлять разумную осмотрительность в новых областях применения АМР и детально прояснять принципиальный вопрос, каким образом и с помощью какого инструментария ЧО может проконтролировать активность АМР, какие средства необходимы для его информационного обеспечения.

Дальнейшее изложение подчинено цели получить психологическое описание средств деятельности космонавта, и на этой основе осуществить поиск средств информационной поддержки ЧО в дистанционном режиме контроля группы АМР с учетом земных аналогов при решении задач позиционирования и навигации.

АМР как звено эргатической системы «космонавт–средство труда–объект труда–внешняя среда» в начальной фазе освоения Луны

Согласно существующим взглядам на выполнение лунных миссий в составе экипажа лунного корабля и лунной базы будет несколько космонавтов, способных дистанционно (в том числе, с лунной орбиты и из расположения лунной базы) управлять АМР и контролировать активность АМР, когда они автономно самостоятельно выполняют задачи разведки, патрулирования и инспекции. Для этих задач применение группы АМР может рассматриваться как один из наиболее предпочтительных вариантов, поскольку наземная практика показывает рациональность такого подхода в аспектах применения АМР в незнакомой среде [18, 45, 49, 50].

В этой связи необходимо дать толкование используемых далее понятий, основываясь на литературных источниках. Здесь и далее мы будем следовать определению, приведенному в [51]: «Интеллектуальный (автономный) мобильный робот – это сложная мехатронная система, способная сенсорно воспринимать окружающую среду и анализировать ее состояние для осуществления автономной навигации и управляемого движения к месту назначения с целью выполнения конкретных задач (транспортировка грузов, изучение местности и т.п.)». В близкой и более конкретной формулировке там же приведено: «Автономный мобильный робот – это сложный мехатронный объект, состоящий из двигательной (исполнительной) системы (колесное или шагающее шасси, двигатели и т.д.), сенсорной системы (ультразвуковые или лазерные радары, телевизионные датчики и т.д.), телекоммуникационной системы и интегрированной системы навигации и управления движением с элементами искусственного интеллекта».

Не менее важные особенности АМР отмечены в публикациях [11, 12], в которых введено понятие автономности роботов, а также дана классификация автономности роботов по форме проявления и обеспечения автономности. Согласно этим источникам: «Автономность – это способность робота существовать и выполнять свое функциональное назначение в протяженных времени, пространстве, а также при изменяющихся условиях окружающей среды без необходимости взаимодействия с другими дружественными субъектами или субъектами высшего уровня иерархии».

В соответствии с этим подходом автором разработана классификация проявлений автономности, в частности, «автономность во времени, автономность в пространстве, автономность в условиях изменяющихся задач и автономность в условиях недетерминированности окружающей среды».

С эргономической точки зрения эти определения необходимо дополнять признаками, главным из которых является наличие у АМР средств поддержания человеко-машинного взаимодействия на единой концептуальной основе построения «модели внешнего мира» робота, особенно в той части, которая дает возможность ЧО в оперативном режиме воспринять передаваемую по системе связи телеметрическую информацию о техническом состоянии бортовых систем АМР и данные от бортовых сенсорных и навигационных систем о текущем позиционировании и идентифицированных объектах в рабочем окружении.

Примечательно, что на сегодняшнем уровне развития технологий даже самые современные образцы АМР не рассчитаны на выполнение всего комплекса работ, которые могут возникнуть в экстремальной среде и при нештатных ситуациях, самостоятельно, без участия ЧО как звена управления, способного принять решение на выполнение непредусмотренных заранее алгоритмов деятельности, то есть обладающего выраженными способностями к антиципации и продуктивного (творческого) подхода к нестандартным ситуациям. Это проистекает из особой сложности решения задач автономного управления роботом в недетерминированной среде и при разнообразии вариантов реагирования на ее изменения, что приводит к такой концепции распределения функций в человеко-машинных системах, принятие которой означает, что значительная часть мобильных робототехнических систем должна работать под контролем ЧО. Такой позиции придерживаются многие авторитетные исследователи в области экстремальной робототехники, поскольку применительно к сложным условиям на местности (что, кстати, будет характерно для условий на поверхности Луны), при высоких требованиях к безопасности, когда невозможно исключить человека из принятия решений, вопрос выбора режима управления роботами далеко не прост и не однозначен [2, 3]. Можно в полной мере согласиться с утверждением, сформулированным в работе [33], в которой прямо констатируется: «В последнее время среди разработчиков мобильных роботов сформировалось понимание того, что, оставаясь в рамках приемлемой стоимости мобильных роботов, создание полностью автономных систем теряет целесообразность». Поэтому большое внимание уделяется супервизорному управлению мобильными роботами, при котором часть функций выполняется автономно с помощью бортовых систем, а «конечный анализ обстановки, принятие решений и выдача отдельных команд на включении тех или иных программ управления возлагается на оператора». Заметим, что в цитируемой публикации речь идет о применении АМР в меняющихся условиях экстремальной обстановки, что можно перенести на ситуацию применения АМР на поверхности Луны.

Приведенные антропоцентрические взгляды на построение НМИ требуют дополнения цитированных выше определений автономного робота, функционирующего в составе эргатической системы «ЧО–мобильный робот–объекты взаимодействия–рабочая среда», требованиями реализации возможности безусловного перехода из режима автономной активности в режим дистанционного супервизорного управления по экстремному предписанию (команды) со стороны ЧО как «субъектом высшего уровня иерархии» управления в рассматриваемой эргатической системе. Поводом для такого вмешательства могут быть резко изменившиеся условия внешней среды, нештатные ситуации, нарушения работы бортовых сис-

тем АРМ и возросшие риски коллизий, не предусмотренные при планировании работ.

Для визуализации для ЧО текущей обстановки также необходимо иметь средства моделирования такой активности АРМ и построения виртуального окружения на основе оперативно получаемой телеметрии о позиционировании АРМ и выявленных изменениях в модели цифровой карты местности.

Состав данных о позиционировании АРМ, определяющих выбор инженерно-психологических решений по отображению внешней визуальной обстановки

Закономерен вопрос, что является «продуктом» применения группы АРМ в режимах разведки и патрулирования лунной территории с точки зрения средств операторской деятельности?

Прежде всего, необходимо подчеркнуть, что значительное число задач НаПлД требуют наличия цифровых карт местности. В этом ключе могут быть сформулированы подходы к решению задач навигации и управления движением АРМ в сложной для навигации среде: принципиально важным представляется необходимость использовать «мониторинг среды на основе карты местности и локальное планирование маршрута на основе сенсорных сигналов от датчиков, поступающих в реальном масштабе времени» [51].

Поэтому одна из первоочередных задач психологического изучения средств деятельности ЧО, позволяющих осуществлять взаимодействия ЧО с группой роботов, – определить состав тех данных, которые должны быть доступны ЧО при дистанционном контроле активности АРМ.

В данной работе как основной результат целенаправленной активности группы АРМ, осуществляемой под контролем ЧО, рассматривается построение постоянно обновляемой модели цифровой карты (МЦК), на основе которой в дальнейшем может создаваться и развиваться инфраструктура лунной базы и формироваться транспортная инфраструктура (безопасные маршруты, управление движением, построение логистики и пр.). МЦК играет важную роль при рассмотрении средств деятельности космонавта при взаимодействии с АРМ ввиду следующих ее особенностей:

1) МЦК – это **цифровой образ**, который в процессе своей активности постоянно уточняется бортовыми сенсорными средствами АРМ, а с другой стороны, получаемая цифровая карта становится **инструментом**, пользуясь которым ЧО способен вести ориентировку и контролировать изменения состояния внешней среды, в том числе, активность роботов.

2) МЦК – это **информационный продукт**, который представляет **новые знания**, тот информационный контент, которым должны обмениваться космонавт и АРМ в процессе изучения территориальной зоны на поверхности Луны. Фактически речь идет об одном из аспектов построения НМИ, а именно, «как осуществить эффективное взаимодействие естественного и искусственного интеллекта» и «как создать механизм передачи информации для получения новых сведений путем телекоммуникационного обмена знаниями» [51].

3) МЦК – как компьютерная модель определенного вида или, в другой терминологии, цифровая картографическая модель (ЦКМ) может служить целям визуализации – непосредственно восприниматься ЧО при **визуализации электронных карт**, например, на видеозэкранах, а также на электронных индикаторах (ЭИ)

при приведении к определенному формату, выбираемому, исходя из операторских задач.

Картографирование территории с использованием АМР исходит из возможностей современных технологий локального позиционирования, применяемых для определения собственных координат АМР на карте и уточнения параметров его движения. В частности, в работе [36] задача картографирования (*англ.*: Robotic Mapping Problem) подразделяется на три взаимосвязанные задачи: построение роботом карты (*англ.*: Map Exploration), определение положения робота по карте (*англ.*: Robot Self Location) и проверка роботом соответствия среды и карты или контроль карты (*англ.*: Map Validation).

Основными методами решения этих задач являются так называемые СЛАМ – алгоритмы. Согласно приводимому в словарях определению, СЛАМ (от *англ.* SLAM – Simultaneous Localization and Mapping) – метод, используемый роботами и автономными транспортными средствами для «построения карты в неизвестном пространстве или для обновления карты в заранее известном пространстве с одновременным контролем текущего местоположения и пройденного пути».

Задачу инженерно-психологического описания средств деятельности космонавта при контроле активности АМР необходимо рассматривать в свете существующих вариантов визуализации ЦКМ на ЭИ и других видах приборов. Основой для использования ЦКМ при контроле ЧО активности АМР являются преобразования к должному виду на ЭИ телеметрических данных с борта АМР.

Понимание состава передаваемых для индикации ЧО данных позиционирования дает изучение типового оснащения АМР на основе ряда современных технических средств. При дальнейшем изложении предполагается, что позиционирование способны осуществлять сами интеллектуальные АМР, используя бортовые сенсоры, системы компьютерного зрения, дальнометрические приборы и прочее «бортовое оборудование», а производную, интегрированную от полученного состава данных картину получает ЧО через каналы телеметрии на рабочем месте, осуществляя при необходимости обратную связь на АРМ через диспетчерский пункт посредством выдачи команд в наиболее естественной форме командных предписаний [17, 19, 23, 35, 46, 47].

Полученное предварительное описание того информационного контента, который служит предметом коммуникации ЧО и группы АМР для информирования ЧО о текущем позиционировании АМР и одновременно является основой инструментария подготовки принятия решений ЧО, дает основание подвести промежуточные итоги. В дистанционном режиме ЧО получает от группы АМР динамически меняющуюся картину передвижения мобильных активных агентов в сложной внешней среде, в которой помимо естественных препятствий движению находятся созданные человеком смонтированные искусственные конструкции лунной инфраструктуры, и все эти данные формируются на основе телеметрической информации, передаваемой от АМР. Эта оперативная информация в конечном итоге кумулируется и обобщается в МЦК, обновляемой по мере поступления новых данных. Для того чтобы на основе этой информации ЧО мог вести ориентирование в пространстве, он должен быть способен определенным образом мысленно позиционировать себя либо в координатах «внешнего наблюдателя» («вид со стороны» на динамическую картину с мобильными объектами, например на навигационном ЭИ), либо позиционировать себя в систему координат, связанной с одним из мобильных объектов, наблюдать непосредственное окружение на обзорном ЭИ и вести контроль возможных коллизий с объектами, находящимися на

разном удалении от наблюдателя. Можно констатировать, что в каждом из этих вариантов речь идет об образных представлениях ЧО, которые базируются на визуальном восприятии и перекодировании информации МЦК при том или ином способе ее отображения на ЭИ. Однако в том случае, когда ЧО занимает позицию «вид со стороны», его деятельность, на наш взгляд, в большей степени напоминает работу диспетчера УВД, а при наблюдении рабочего окружения, визуализируемого в «эгоцентрической» системе координат, связанной с подвижным объектом, можно найти сходство с работой штурмана летательного аппарата (ЛА). Таким образом, можно принять рабочую гипотезу о том, что в качестве аналогов для психологического описания новых средств деятельности космонавта при разведке и патрулировании лунной территории с помощью группы АМР можно рассматривать профессии штурмана ЛА, диспетчера УВД, а в отношении контроля работоспособности бортовых систем АМР – бортинженера.

В данной работе не предполагается детально рассмотреть особенности перехода в супервизорный режим управления АМР и функции космонавта как оператора, дистанционно управляющего мобильным роботом, так как это другой аспект изучаемой проблемы, который требует самостоятельного изучения [2].

Кратко перечислим варианты индикации навигационных данных, опираясь на известные литературные публикации. Для проводимого исследования существенно, что цифровые карты могут непосредственно восприниматься человеком при визуализации МЦК, например, на видеозэкранах, а также на ЭИ при приведении к определенному формату 2D, 2.5D, 3D, выбираемому, исходя из смысла операторских задач [1, 8, 14, 15, 20, 21].

Во многих практических ситуациях необходимо предусматривать индикацию для ЧО на основе нескольких разных «слоев», отражающих разные варианты построения ЦКМ, а также в соответствии с оперативными информационными потребностями ЧО в отношении актуализации его пространственных представлений о естественных ориентирах и карте высот рельефа поверхности, о сети искусственных объектов и маршрутах движения к ним, о координатной сетке, размещенной в соответствии с метрикой удаленности объектов друг от друга, о расчетном времени достижения мобильным объектом контрольных точек при той или иной начальной удаленности и прочее.

К настоящему времени в авиации накоплен огромный опыт построения бортовых систем отображения информации (СОИ), а в ходе инженерно-психологических экспериментов определены и сформулированы основные принципы, которые принимаются во внимание при разработке ЭИ [8].

В свою очередь, эти подходы базируются на достижениях теоретической мысли отечественных авиационных психологов, которые сформулировали концепцию «образа полета» как разновидности концептуальной модели, конкретизированной к особенностям летного труда, подтвердили ее в ряде натурных экспериментов и предложили конструктивные решения в области повышения безопасности полета на основе учета ограничений человеческого фактора [16].

В цитируемых публикациях отмечается, что, несмотря на многообразие подходов к проблеме отображения информации на бортовых ЭИ, можно выделить два основных варианта предъявления информации. Первый «находит выражение в попытках сформировать картинный вид окружающего пространства, подобный тем визуальным картинкам, которые мог бы наблюдать человек при прямом визуальном контакте». Второй ориентирован на «преимущественное представление полетной инструментальной информации в символической форме в виде шкал и индексов».

Сегодня, по-видимому, можно говорить только о предварительном рассмотрении вопроса выбора способа индикации, так как на этапе априорного описания средств деятельности многие детали просто невозможно предусмотреть и учесть. Тем не менее, есть основания полагать, что на практике будут использованы разработки многофункциональных цифровых индикаторов (МФЦИ), применяемые в современной авионике [8, 20, 14, 15, 21, 25, 26, 44, 48].

Наиболее значимые для организации человеко-машинного взаимодействия события в случае контроля активности группы АМР происходят на психологическом уровне восприятия ЧО обстановки и построения обобщенного «навигационного образа» как составной части «образа полета», который обеспечивает принятие решений [39, 16].

Эти вопросы составляют существо дальнейшего изложения, поскольку до настоящего времени указанные вопросы в достаточной степени не исследованы. При анализе состояния вопросов необходимо обращаться к опыту решения подобных проблем в смежных областях операторской деятельности, наиболее близкие из которых по составу и содержанию операторских задач и средств операторской деятельности были отмечены выше.

Психологическая характеристика средств деятельности ЧО в режиме контроля позиционирования АМР в сравнении с земными профессиями

В связи с тем, что сегодня можно только в гипотетическом плане судить о предстоящих задачах НаПлД космонавта в отношении тех перцептивных и мыслительных действий, которые он будет осуществлять, взаимодействуя с группой АМР, возможным способом аналитического исследования является сопоставление с существующими профессиями. В числе наилучших кандидатов на эту роль, на наш взгляд, могут рассматриваться профессии штурмана высокоскоростного самолета (вертолета), особенно при движении в группе, и диспетчера различных транспортных систем, в первую очередь, системы управления воздушным движением (УВД). На этой основе могут быть проанализированы те средства деятельности, которые служат целям формирования навигационного образа и ведению навигации в сложной среде.

Психологическая сущность профессий диспетчера и штурмана исследовалась рядом отечественных ученых, хотя наибольшая активность таких работ пришла на период развития реактивной авиации в 70–90 гг. [9, 37–39], затем существенно снизилась в силу известных исторических и социально-экономических причин деградации многих отечественных высокотехнологичных областей и, соответственно, снижения активности ведения связанных с ними инженерно-психологических разработок.

Социальный заказ на эти работы был в свое время сформирован возрастающими требованиями по обеспечению безопасности полетов, в частности, в отношении предотвращения ошибок ориентирования ЧО [37–39]. Эти работы выполнены применительно к анализу психологического содержания штурманского труда.

Выбор в качестве аналогов профессий штурмана и диспетчера УВД связан, в первую очередь, с тем, что эти специалисты в своей работе при принятии решений опираются на три главных источника данных: карты местности, оперативно поступающие сведения о перемещениях мобильных средств, ментальные и образные представления самого ЧО о ситуации на основе ранее усвоенного опыта (обу-

чения). В каждой конкретной специальности имеются значимые особенности, особенно в части пространственно-временных ограничений деятельности, срочности выполнения действий, постоянства состава контролируемых мобильных агентов, взаимодействия с другими членами рабочего коллектива (дежурной смены, экипажа и пр.), но в главном – в психологическом содержании образной регуляции деятельности и выраженном аналитически-расчетном компоненте умственных действий с опорой на работу с картографическими данными, на наш взгляд, они имеют большую общность, что позволяет использовать результаты изучения этих профессий для анализа средств деятельности ЧО, решающего задачи дистанционного контроля АМР.

Данный подраздел посвящен краткому рассмотрению понятия навигационного образа полета, следуя материалам публикации [37].

Принципиально важной характеристикой труда штурмана ЛА является положение о том, что «решение навигационных задач включает в себя психологические процессы построения образа, выполнение умственных преобразований, переходы от одной системы отсчета к другой, согласно принятым системам отсчета и пр.» [37]. Как указывает автор, до начала работ штурман должен тщательно «изучить все детали маршрута: расположение, координаты и визуальную форму (радиолокационных) ориентиров, характер местности в районе (аэродромов), конфигурацию путей подхода (и схем захода на посадку)». Штурман ЛА хорошо подготовлен, если он «помнит все изгибы в линии пути и может легко их воспроизвести, что и свидетельствует об образном характере его памяти, а, следовательно, и мышления, поскольку именно образы становятся предметами умственных преобразований» [37]. Собственно эти же этапы работы с МЦК будут, по всей видимости, иметь место и для НаПлД космонавта при анализе маршрутов перемещений АМР и использования ориентиров на местности.

«На представление о географическом пространстве у штурмана должно быть наложено пространство воздушных путей и схемы подходов. Проработка совмещенного пространства в терминах движения, которая характерна для опытных штурманов, означает, что образ полета у штурмана – это уже не (только) представление о карте или даже системе карт, а представление о группе воздушных судов, движущихся вместе с самолетом, в котором находится штурман» [37]. Заметим, что принцип такого «послойного» совмещения разнородной картографической информации сегодня реализуется в МФЦИ на борту ЛА [14, 15, 20, 21].

Как важнейший тезис автор работы [37] рассматривает следующий: «психологическое содержание операторского труда представляет собой совместное функционирование устоявшихся, заранее сформированных структур профессионального опыта и текущих, наличных, «свежих» восприятий, мыслей, переживаний и действий». По его мнению, профессиональный опыт позволяет легко актуализировать из памяти те представления, которые были связаны с неоднократным прохождением того или иного маршрута.

В представлении о ситуации, складывающейся в полете, автор различает «несколько (психологических) слоев [37]:

- 1) структуры пространства и времени, сложившиеся в ходе предыдущей деятельности;
- 2) система перцептивных миров (актуальное восприятие);
- 3) мысленный образ самой ситуации и ее развития».

Для понимания психологического содержания стоящей перед ЧО задачи контроля прохождения АМР предписанного маршрута полезны также сведения из

топографии, в частности, по разделу ведения ориентирования [10, 38]. «Задача ориентирования заключается в опознании отдельных предметов, совокупности их как целостной структуры и в определении своего места внутри совокупности. Она решается различением внутри совокупности направлений и определением расстояний до ближайших, основных или граничных объектов» [37].

Фактически в этом определении задачи ориентирования раскрывается психологический смысл деятельности ЧО, когда он решает задачу навигации, позиционирует себя в систему координат подвижного объекта и, тем самым, совмещая эгоцентрическую систему координат со схемой своего тела.

Важнейшая задача ориентирования – нахождение и выдерживание заданного направления движения, а также восстановление движения по заданному маршруту, если возникли помехи движению и были внесены коррекции для того, чтобы предотвратить коллизии [10].

Профессия диспетчера УВД дает другой пример того, какие сложные психологические механизмы и структуры актуализируются у ЧО, когда необходимо с высокой точностью и надежностью осуществлять контроль навигационной обстановки с использованием картографических данных и данных текущей обстановки о множестве мобильных объектов. Есть и некоторые отличия, в частности, в этом случае речь идет:

- 1) о переменной структуре совокупности контролируемых подвижных средств;
- 2) контролируемые объекты являются пилотируемыми, то есть в этом случае большой вес приобретает коммуникативный компонент совместной деятельности диспетчерам УВД и экипажей ЛА, а сфера принятия решений разделена между несколькими участниками со строгой системой разделения полномочий.

В работе [9] (приложение 3) представлены в подробном виде описание профессии диспетчера УВД и психограмма этой профессии, которые затем воспроизводятся во многих более поздних публикациях, когда речь идет о психологическом описании этой профессии.

В этой связи дальнейшее цитирование опирается именно на этот первоисточник. Как и в случае с профессией штурмана, важнейшей структурой, ответственной за принятие решения и обеспечение безопасности воздушного движения, является пространственно-временной «навигационный образ» («образ воздушной ситуации»), который формируется «на основе поступающей по различным каналам информации о положении и движении воздушных судов». «Образ этот трехмерный, динамический, включающий не только сиюминутное положение управляемых объектов, но и экстраполяцию их относительного пространственного положения через короткий отрезок времени» [9]. При этом выполняются «такие умственные операции, как экстраполяция маршрута и времени движения самолета». «Зрительная информация поступает к диспетчеру УВД в образно-схематической и цифровой форме. Изображения на экране обзорного локатора и на табло метеоданных требуют декодирования».

В данном контексте становится понятным, какие средства деятельности должен использовать оператор УВД, чтобы своевременно осуществить прогноз развития ситуации и своевременно вмешаться в управление воздушным движением.

В деятельности диспетчера применительно к железнодорожному транспорту заметная роль отводится оперативному мышлению, которое выполняет согласно [9, 36] следующие функции:

- 1) планирование – мыслительная деятельность по созданию плана функционирования управляемого объекта на определенный отрезок времени;

2) контроль и регулирование – специальная деятельность по выполнению выработанного плана, требующая отражения динамических характеристик управляемого объекта и соотнесения их с программой;

3) решение задач по поиску и устранению «резких отклонений» от нормы в управляемых процессах, когда сказывается большое влияние эмоционального состояния диспетчера и высокого темпа;

4) диагностика – при возникновении неисправностей и аварийных ситуаций.

Выполненный анализ литературных источников позволяет констатировать, что в плане психологической характеристики средств деятельности необходимо акцентировать внимание на информационной поддержке функционирования тех регуляторных механизмов, которые позволяют ЧО воссоздать «целостный и динамичный образ внешней обстановки»; распределить внимание между различными источниками информации; выполнить прогнозирование изменения ситуации (ее пространственно-временного образа); оперативно включиться в процесс управления при возникновении аварийной или непредвиденной ситуации.

Практические следствия развиваемого подхода к построению НМИ для взаимодействия космонавта с группой АМР

Полученные аналитические результаты при принятии рабочей гипотезы о близости проектируемой деятельности космонавта некоторым наземным аналогам имеют практические следствия в отношении подходов к разработке методик компьютерного обучения и выбора профессионально-ориентированных тестов.

Эти вопросы ранее поднимались в литературе применительно к наземным мобильным роботам. В статье [11] обсуждаются вопросы построения тренажера, способного к адаптации с учетом реальных образцов мобильных роботов.

Нам представляется правильным на сегодняшнем уровне разработки АМР для применения при НаПлД экипажа ставить вопрос о разработке компьютеризированного инструментария в составе методик обучения космонавтов. В этой связи получили широкое распространение модели, построенные с применением технологий виртуальной и дополненной реальности и современных систем 3D визуализации. Как известно, на основе этих информационных технологий существуют пакеты программно-моделирующих средств для реалистичного воспроизводства в реальном масштабе времени поведения объектов в виртуальном мире таким же образом, как они взаимодействуют в реальном мире, подчиняясь физическим законам и законам механики. Эти инструменты нашли применение в области создания моделей для вычислительных научных экспериментов, моделирования и визуализации поведения сложных эргатических систем, в частности, с включением в коммуникацию роботов, и в тренажеростроении [22, 28–30, 4, 40].

Применительно к рассматриваемому случаю можно предполагать, что на основе МЦК и обзорного индикатора обстановки можно построить так называемый «синтетический» тест, выявляющий способности к перекодированию символично заданной информации на ЭИ в целостный навигационный образ, позволяющий принимать решения о риске коллизий мобильных объектов при разном их количестве, скорости и направлениях движения и прочее.

Современные компьютерные технологии могут обеспечивать внедрение в методику оценки достижений и результативности выполнения стандартизированных по уровню сложности задач с позиции так называемого «синтетического» подхода [5, 43].

Как отмечено в обзоре [32], уже на самых ранних этапах становления профессионально-психологического отбора (ППО) исследователи, которые выбрали путь построения «синтетических тестов», пытались создать модельные условия на установках, имитирующих летную деятельность: «Установки различной сложности были разработаны Штерном и Кронфельдом в Германии, Бартлетом в Англии («Кембриджская кабина»), Мешберном и Линком в Канаде».

Это направление в большей мере «привело к созданию тренажеров для обучения и подготовки летчиков, но меньше использовалось для первоначального отбора в авиацию, поскольку при обследовании большую роль играли навыки и умения кандидатов, а не их способности» [32].

Это означает необходимость построения в рамках синтетического подхода специальных методик для компьютеризированного обучения и для тестирования результативности принятия решений по ведению пространственной ориентировки в сложных условиях, в которых акцент делается именно на восприятии и перекодировании информации для актуализации образных представлений [6, 7].

Согласно разработанному методическому подходу для обучения и последующего тестирования успешности обучения должны быть предложены стандартизированные ситуации для отработки (тренировки) выполнения набора профессионально-ориентированных операций. В этом отношении наиболее перспективны психологические профессионально-ориентированные конструкты, направленные на усложнение содержания задания и актуализацию у обучаемых необходимых для его выполнения психологических механизмов подготовки и принятия решений.

В качестве базовых принципов психологического моделирования деятельности, позволяющих по результатам обучения выполнить прогноз успешности профессиональной самореализации, в цитируемой работе указаны:

- развитие у обучаемых профессионального мышления, формирование пространственных представлений, соединение знаний с образными представлениями пространственных перемещений ЛА и сенсорно-перцептивными эталонами восприятия информации для типовых полетных ситуаций;
- приоритет актуализации умственных действий над автоматизированными операционально-исполнительными, особенно при нестандартных заданиях.

Вопросы психологической адаптации человека к роботизированному окружению в свете восприятия безопасности рабочей среды

Возникает вопрос, почему надо акцентировать внимание к этим аспектам?

Не секрет, что у операторов многих опасных профессий существует известная (вполне разумная) осмотрительность в обращении с автоматическими системами, если от их функционирования зависит безопасность, здоровье и жизнь. Многие десятилетия пилотируемые полеты отличала новизна решений и испытательный характер работ, что отложило известный отпечаток на восприятие космонавтом тех опасностей, которые связаны с тотальной автоматизацией рабочей среды. В этих аспектах важно сформировать у космонавта верные представления о НМІ в аспектах взаимодействия с роботами. Точное знание ситуаций, в которых космонавт получает безусловное право вмешательства в управление АМР, должно сочетаться с пониманием и того факта, что в значительной части планируемых режимов применения интеллектуальные и сенсорные ресур-

сы АМР достаточны велики для работы в экстремальной среде, в которой изначально присутствует множество ограничений человеческого фактора.

Заметим, что в данном контексте, на наш взгляд, правомерно употребление термина «совместная деятельность» космонавта и группы АМР, хотя в общем случае он не является общеупотребительным. Традиционный подход состоит в том, что роботы рассматриваются как высокотехнологичный инструментарий для значительной части потенциальных областей применения, особенно в промышленности. Однако в рассматриваемом контексте интеллектуальные активные агенты имеют отдельные признаки адаптивного поведения в новой среде, свойственному естественному интеллекту, поскольку конструкция их «модели внешнего мира» допускает высокую степень автономности, адаптивности и изменения активности в зависимости от складывающейся динамической обстановки. Таким образом, терминология психологии труда, с одной стороны, традиционно предполагает носителем «субъектности» исключительно естественный интеллект, но с другой – расширение представлений об искусственном интеллекте как носителе адаптивного поведения мобильных агентов в незнакомой среде привносит новые оттенки в понимание «совместной деятельности», в которой вариативность действий, инициируемых роботом, далеко выходит за рамки детерминированного поведения автомата. В данном случае, возможно, более уместно представление о «вассальном» типе отношений (первоначально слово *vassus* обозначало «несвободного слугу» феодального мира, выполняющего предписания вышестоящего ближайшего по рангу подчиненности «хозяина»), так как в пределах какого-то начального предписания активный агент способен находить рациональный путь достижения цели, соотносясь с заложенными в его модели внешнего мира возможностями и заданными командными предписаниями. Отражением такого взгляда является широкое использование в литературе по робототехнике терминов «робот-помощник» (экипажа), «сервисный робот» и др. Надо отметить, что в данном случае обсуждение терминологических нюансов имеет не только академический интерес. Бурное развитие робототехники привело к реальным опасениям специалистов о недостаточности контроля активности искусственных интеллектуальных агентов вследствие «непрозрачности» для внешнего наблюдателя тех побудительных причин, которые приводят к той или иной форме поведения, к выполнению той или иной последовательности действий и прочее. Прогнозируемость активности АМР является достаточно серьезной эксплуатационной проблемой, и в этом отношении чрезвычайно важна психологическая уверенность ЧО, что в любой критической ситуации в его распоряжении окажется достаточно средств контроля активности АМР и перехода в супервизорный режим управления для блокирования активности или ее коррекции. Огромное значение, на наш взгляд, будут иметь правильно организованные тренировки на базе всестороннего обучения космонавта вопросам эксплуатации роботов, и именно это обстоятельство должно стимулировать опережающее создание исследовательских испытательных компьютеризированных стендов для отработки различных видов HRI.

Совершенно очевидно, что приведенные положения являются сугубо предварительными и рассчитанными на внимание к ряду дискуссионных вопросов. В то же время, представленный случай управления группой АМР и ведения ориентировки для контроля возможных коллизий не является чем-то экзотическим. На наш взгляд, многие аналогичные вопросы уже возникали при обсуждении вопросов применения беспилотных летательных аппаратов (летающих роботов), роботов подводного базирования и пр. в экстремальной среде.

Заключение

Множество возможных сценариев освоения человеком Луны требует постановки новых исследовательских задач для изучения человеко-машинного взаимодействия при использовании роботов различного назначения в пилотируемых полетах [23, 24].

В данной работе показано, что, как один из первых шагов по пути освоения человеком незнакомой территориальной зоны на поверхности Луны, необходимо рассматривать применение АМР в режимах разведки и патрулирования. Для этого в данной работе рассмотрены средства деятельности космонавтов в процессе динамического наблюдения перемещений мобильных роботов в зоне контроля с учетом имеющихся разработок для близких аналогов – «земных профессий».

Показано, что даже для этого небольшого перечня задач, входящих в НаПлД, необходима тщательная проработка НРИ и инженерно-психологические изыскания в области систем визуализации и построения коммуникации с АМР.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Основные концепции развития электронных систем индикации и многофункциональных органов управления летательных аппаратов / А.Л. Аваев, С.Ф. Морин, П.А. Коваленко // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2003. – № 1. – С. 43–48.
- [2] Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике: Учеб. пособие / Алферов Г.В., Кулаков Ф.М., Нечаев А.И., Чернакова С.Э. – СПб.: «СО-ЛО», 2006. – 146 с.
- [3] Баранов К.Ю. Управление движением мобильного информационного робота по заданной территории в условиях возможного возникновения динамических препятствий // *Труды региональной предметной олимпиады по робототехнике для студентов вузов Санкт-Петербурга*. – 2011. – С. 55–60.
- [4] Белоусов И.Р. Виртуальная среда для телеуправления роботами через сеть Интернет // *Изв. РАН, Теория и системы управления*. – № 4. – 2002. – С. 135–141.
- [5] Бодров В.А. Основные принципы разработки систем ППО военнослужащих и его проведение // *Воен.-мед. журн.* – 1984. – № 9. – С. 41–44.
- [6] Использование технологий компьютерного обучения для формирования у летчика интеллектуальных компонент профессиональной надежности / А.А. Ворона, Д.В. Гандер и др. // Т. 1. Глава V: Проблемы летных кадров: состояние и перспективы. Хрестоматия человеческого фактора в авиации через призму безопасности полетов (круг чтения): В 2-х тт. / Под общ. ред. С.Д. Байнетова; сост. В.А. Пономаренко, Р.Н. Макаров. – М., 2010. – С. 101–108.
- [7] Психологическое моделирование сложной деятельности и квалиметрические конструкты оценки готовности к ней профессионалов / А.А. Ворона, Л.Д. Сыркин, А.Л. Тулупьев, Т.В. Тулупьева, В.М. Усов // *Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики*. Вып. 6 / Под ред. А.А. Обознова и А.Л. Журавлева. – М.: ИИПРАН. Труды Института психологии. – С. 322–335.
- [8] Проблема использования электронных пилотажных дисплеев в системе отображения информации вертолетов / В.В. Давыдов, А.И. Иванов, В.В. Лапа, Н.А. Лемещенко, В.А. Рябинин, А.В. Чунтул // *Сб. МАЧАК*. – 2007. – № 3(26). – С. 40–50.
- [9] Психология труда и инженерная психология / Дмитриева М.А., Крылов А.А., Нафтельев А.И. – Изд-во: ЛГУ, 1979. – 220 с.
- [10] Евдокимов А.А. Военная топография. Пособие для практических занятий. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2008. – 152 с.
- [11] Интерактивный тренажер для операторов мобильных роботов с элементами актуальной адаптации / Ермолов И.Л., Никитин В.Н., Собольников С.А. // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2010. – № 9. – С. 45–51.
- [12] Ермолов И.Л. Автономность мобильных роботов, ее меры и пути ее повышения // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2008. – № 6. – С. 23–28.

- [13] Ермолов И.Л. О системе определения показателя локальной автономности для мобильных роботов // Международный научный интернет-журнал «Конструкторско-технологическая информатика», № 2, 2012. // [Электронный ресурс] URL: <http://journal.ikti.ru/index.php/online-magazine/number-2/item/70-o-sisteme-opredeleniya-pokazatelya-lokalnoj-avtonomnosti-dlya-mobilnykh-robotov/70-o-sisteme-opredeleniya-pokazatelya-lokalnoj-avtonomnosti-dlya-mobilnykh-robotov> доступ свободный, дата 22.02.2016 г.
- [14] Жаринов И.О., Жаринов О.О. Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учебн. пособие // Информационно-управляющие системы. – СПб: ГУАП, 2005. – 144 с.
- [15] Жаринов И.О., Емец Р.Б. Индикационное оборудование в авиации XXI века // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики (технического университета). – 2003. – № 5 (11). – С. 193–195.
- [16] Образ в системе психической регуляции деятельности / Н.Д. Завалова, Б.Ф. Ломов, В.А. Пономаренко. – М.: «Наука», 1986. – 176 с.
- [17] Звенигородский А.С. Анализ и моделирование команд движения интеллектуального мобильного робота // Искусственный интеллект. – 2000. – № 1. – С. 109–114.
- [18] Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. – М.: Физматлит, 2009. – 280 с.
- [19] Проектирование речевых интерфейсов для информационно-управляющих систем: учебное пособие / А.А. Карпов, И.С. Кипяткова, А.Л. Ронжин. – СПб: ГУАП, 2012. – 76 с.
- [20] Бортовые средства отображения информации современных пилотируемых летательных аппаратов / Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. // Современные технологии / Под ред. С.А. Козлова, В.Л. Ткалич. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – С. 154–165.
- [21] Костишин М.О. Исследование влияния пиксельной структуры экрана на точность визуализации местоположения объекта в геоинформационных системах пилотируемых летательных аппаратов // Навигация и управление движением. Материалы XVI конференции молодых ученых, 2014. – С. 291–296.
- [22] Крючков Б.И., Усов В.М. Создание моделей виртуальной реальности как способ обучения космонавтов взаимодействию с роботом-помощником экипажа и как условие определения потенциальных областей его полезного применения // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб: Политехника-сервис, 2013. – С. 230–244.
- [23] Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики / Б.И. Крючков, А.А. Карпов, В.М. Усов // Тр. СПИИРАН. – 32 (2014). – С. 125–151.
- [24] Легостаев В.П., Лопота В.А. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы. – РКК «Энергия», 2011. – 586 с.
- [25] Принципы индикации маршрутных траекторий полета летательного аппарата на экране бортовых средств отображения информации / В.В. Маркелов, М.О. Костишин, И.О. Жаринов, В.А. Нечаев, Д.А. Заколдаев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16. – № 1 (101). – С. 96–107.
- [26] Реализация построения маршрутных траекторий для отображения на бортовых многофункциональных индикаторах / В.В. Маркелов, М.О. Костишин, И.О. Жаринов, В.А. Нечаев // Информационно-управляющие системы. – 2016. – № 1. – С. 40–49.
- [27] Миронов С.В., Юдин А.В. Система технического зрения в задачах навигации мобильных объектов // Программные продукты и системы. – 2011. – № 1. – С. 3.
- [28] Михайлюк М.В. Виртуальные панели управления в космических тренажерах // Наука и технологии в промышленности. – № 3–4. – 2014. – С. 36–39.
- [29] Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система «GLVIEW» визуализации для моделирующих комплексов и систем виртуальной реальности // Вестник российской академии естественных наук. – 2011. – № 2. – С. 20–29.

- [30] Михайлюк М.В., Брагин В.И. Технологии виртуальной реальности в имитационно-тренажерных комплексах подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 2 (7). – С. 82–93.
- [31] Петухов С.В. Применение стереотелевизионных систем технического зрения для навигации мобильных роботов // Машиностроение и инженерное образование. – М.: Изд-во: Московский государственный индустриальный университет. – № 4. – 2008. – С. 2–10.
- [32] Покровский Б.Л. Психологический отбор в авиации // Тезисы докладов VI-й Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию авиационной медицины в России и 70-летию кафедры авиационной и космической медицины РМАПО Росздрава «Актуальные вопросы медицинского обеспечения полетов». – М., 2009. – 178 с. [Электронный ресурс] URL: <http://do.gendocs.ru/docs/index-17268.html?page=4> доступ свободный дата 09.03.2016.
- [33] Технологии модернизации и оучствления мобильных роботов специального назначения / В.Е. Пряничников, В.П. Андреев, К.Б. Кирсанов, С.В. Кувшинов, Ю.С. Марзанов, Т.А. Никитина, В.Ю. Пронкин, Е.А. Прысев // Известия Южного федерального университета. – 2011. – Т. 116. – № 3. – С. 166–171.
- [34] Пушкин В.Н., Нерсесян Л.С. Железнодорожная психология. – М.: Транспорт, 1972. – 240 с.
- [35] Ронжин А.Л., Леонтьева А.Б. Применение методики «Гудвин» для моделирования человеко-машинного взаимодействия // Известия вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – № 11. – С. 70–74.
- [36] Сапунов С.В. Проверка соответствия карты при навигации мобильных роботов // Искусственный интеллект. – 2006. – № 6. – С. 77–685.
- [37] Стрелков Ю.К. Инженерная и профессиональная психология: материалы к курсу. МГУ. Психологический факультет. 1998. [Электронный ресурс] URL: <http://www.psy.msu.ru/science/public/strelkov/index.html>, доступ свободный дата 28.01.2016 г.
- [38] Стрелков Ю.К. Инженерная и профессиональная психология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 360 с.
- [39] Стрелков Ю.К. Психологическое содержание штурманского труда в авиации: дисс. д-ра психол. наук: 19.00.03 / Стрелков Юрий Константинович. – М., 1991. – 458 с.
- [40] Тимофеев А.В. Анализ, обработка и передача динамических изображений в моделях виртуальной реальности / А.В. Тимофеев, И.Е. Гуленко, М.В. Литвинов // [Электронный ресурс] – Электронные данные – Режим доступа: URL: www.deria.ru/docs/analysis_processing_PRIА_7. _свободный.
- [41] Тимофеев А.В. Интеллектуальное и мультиагентное управление робототехническими системами с использованием моделей виртуальной реальности // Мехатроника. – 2000. – № 3. – С. 26–31.
- [42] Тимофеев А.В. Юсупов Р.М. Интеллектуализация процессов управления и навигации робототехнических систем // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 2 (3). – С. 19–22.
- [43] Холодная М.А. Психология интеллекта: парадоксы исследования. – Томск: Изд-во Томск. ун-та., М.: Изд. «Барс», 1997. – 392 с.
- [44] Эргономические аспекты разработки перспективных и модернизируемых вертолетов / А.В. Чунтул, В.В. Поляков, А.Н. Яценко // В сб.: Проблемы фундаментальной и прикладной психологии профессиональной деятельности (Труды института психологии РАН) / Под ред. В.А. Бодрова и А.Л. Журавлева. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – С. 570–576.
- [45] Шаповалов И.О. Применение групп мобильных роботов в сложных транспортных задачах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2. – С. 141–146.
- [46] Возможности применения многомодальных интерфейсов на пилотируемом космическом комплексе для поддержания коммуникации космонавтов с мобильным роботом – помощником экипажа. / Р.М. Юсупов, Б.И. Крючков, А.А. Карпов, А.Л. Ронжин, В.М. Усов // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 3. – С. 23–34.

- [47] Ющенко А.С. Диалоговое управление роботами с использованием нечетких моделей // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сб. тр. V Междунар. науч.-практич. конф. (Коломна, 28–30 мая 2009 г.). – М.: Физматлит, 2009. – Т. 1. – С. 97–108.
- [48] Яценко А.Н. Разработка эргономических предложений к электронной индикации пилотажно-навигационных параметров на перспективных и модернизируемых вертолетах // Электронный журнал «Труды МАИ», 2010. Вып.38. [Электронный ресурс] URL: http://www.mai.ru/upload/iblock/dc8/razrabotka-ergonomicheskikh-predlozheniy-k-elektronnoy-indikatsii-pilotazhno_navigatsionnykh-parametrov-na-perspektivnykh-i-moderniziruemykh-vertolyetakh.pdf доступ свободный дата 12.02.2016
- [49] Hangen He, Timofeev A.V., Xin Xu. On-line Local Monitoring and Adaptive Navigation of Mobile Robots on Environment with Unknown Obstacles // Proceedings of ACAT'2002. – Moscow, 2002. – PP. 54–56.
- [50] Zixing C. & Zhihong P. Cooperative Co-Evolutionary Adaptive Genetic Algorithm in Path Planning of Cooperative Multi-mobile Robot System // Intelligent & Robotic System. – 2002. – 33 (1). – PP. 61–67.
- [51] Zixing C., Тимофеев А.В. Интеллектуальное навигационное управление и диагностика адаптивных мобильных роботов в незнакомой среде // Труды Международной научно-технической мультikonференции «Актуальные проблемы информационно-компьютерных технологий, мехатроники и робототехники» (ИКТМР-2009), с. Дивноморское, 28 сентября–3 октября 2009. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 118 с. [Электронный ресурс] URL: <http://www.mr.rtc.ru/doc/report/doc03.pdf> доступ свободный дата 21.01.2016.

УДК 629.78.072

**АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ПО ВОПРОСАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ТРЕНАЖЕРАХ**

Ю.И. Онуфриенко, Е.В. Полунина, Л.Е. Шевченко, В.Н. Саев

Летчик-космонавт РФ Ю.И. Онуфриенко; докт. техн. наук Е.В. Полунина;
канд. техн. наук Л.Е. Шевченко; докт. техн. наук В.Н. Саев (ФГБУ «НИИ ЦПК
имени Ю.А. Гагарина»)

Проведен анализ отечественных и зарубежных информационных материалов по вопросам моделирования научно-прикладных исследований и космических экспериментов на тренажерах для подготовки космонавтов. Показано, что система подготовки космонавтов к проведению научно-прикладных исследований и космических экспериментов имеет сложную организационную структуру. Это определяет специфику построения организационно-методического обеспечения подготовки космонавтов и создание программно-технических средств (моделей) для реализации моделирования космических экспериментов на тренажерах.

Ключевые слова: моделирование, космические эксперименты, тренажеры для подготовки космонавтов.

**The Analysis of Domestic and Foreign Materials on the Problems of
Modeling Space Experiments. Yu.I. Onufrienko, E.V. Polynina,
L.E. Shevchenko, V.N. Saev**

The paper analyzes domestic and foreign information materials on the modeling issues of scientific-applied research and space experiments on simulators for cosmonaut training. It is shown that the system of training cosmonauts to conduct scientific-applied research and space experiments has a complex organizational structure, which determines the specificity of organizational-methodical support of the training process, and also the creation of software and hardware tools (models) to implement the modeling of space experiments on simulators.

Keywords: simulation, space experiments, simulators for training cosmonauts.

Введение

Подготовка космонавтов к выполнению научно-прикладных исследований (НПИ) и космических экспериментов (КЭ) обладает признаками самостоятельной системы, имеющей сложную организационную структуру, специфический состав и схему размещения технических средств подготовки космонавтов (ТСПК). Подготовка и выполнение НПИ и КЭ обеспечивается кооперацией и взаимодействием заинтересованных организаций. Эти и другие факторы определяют специфику построения организационно-методического обеспечения подготовки космонавтов, а также создание программно-технических средств (моделей) для реализации моделирования КЭ на тренажерах. Результаты анализа современного уровня и тенденций развития программных и технических средств подготовки космонавтов для выполнения НПИ и КЭ позволят получить исходные данные для разработки научно-обоснованных методических указаний по формированию требований к моделям космических экспериментов для тренажеров российского сегмента Международной космической станции (РС МКС).

Регламент поиска

Поиск проводился по фондам ВПТБ, технической библиотеки ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (далее по тексту ЦПК имени Ю.А. Гагарина) и материалам сайта www.fips.ru.

Предмет поиска: «Технические средства подготовки космонавтов, методы и средства создания моделей космических экспериментов на их базе» был сформулирован нами, исходя из конкретных задач патентных исследований, категории предмета и объекта исследования, а также из того, какие элементы, параметры, свойства предполагается исследовать.

При проведении поиска по источникам патентной и научно-технической информации применялся тематический поиск. Критерием отбора релевантной информации служило сходство технической сущности и достигаемого при использовании результата.

При проведении тематического поиска были использованы:

- национальные патентные бюллетени, реферативные и библиографические издания, такие, как: «Изобретения стран мира», официальный бюллетень «Открытия, изобретения», описания изобретений и патентов с 1998 года по настоящее время (выборочно);
- научно-техническая информация: РЖ ВИНТИ «Ракетостроение и космическая техника», ЦНТИ «Поиск» «Ракетостроение и космическая техника», ЦИВТИ картотека «Тренажеры», бюллетень новых поступлений в НТБ ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», отчеты по НИР, отраслевая научно-техническая литература, отраслевые сборники докладов научных конференций и семинаров, материалы сайта www.fips.ru.

Результаты анализа отечественных и зарубежных материалов по вопросам моделирования космических экспериментов

Проблема подготовки космонавтов к проведению КЭ возникла с началом освоения космического пространства и остается актуальной уже потому, что каждый полет является уникальным, а его программа насыщена различными исследованиями и испытаниями экспериментального характера. Космические исследования и эксперименты направлены на развитие практически всех сфер деятельности человека. Долгосрочная российская научная программа на РС МКС [15] предусматривает проведение более 200 КЭ по 6 направлениям научно-прикладных исследований. Приблизительное процентное соотношение планируемых экспериментов показано на рис. 1. Анализ перспективной долгосрочной программы НИИ, планируемых для реализации на РС МКС, свидетельствует о том, что с вводом в эксплуатацию исследовательских модулей (МИМ1, МИМ2 и МЛМ) общее количество научных экспериментов, технологическая оснащенность и методическая сложность выполнения КЭ будут возрастать (рис. 2).

Деятельность космонавтов на этапе эксплуатации станции характеризуется:

- необходимостью решения разнородных по характеру задач и объектов исследования (людей, биологических, биотехнологических, природных, технических и техногенных и т.п.);
- различной степенью участия членов экипажа в подготовке и проведении КЭ;
- специфическими условиями подготовки и проведения разнотипных КЭ, в том числе в условиях ВКД;



Рис. 1. Процентное соотношение планируемых космических экспериментов по направлениям научных исследований

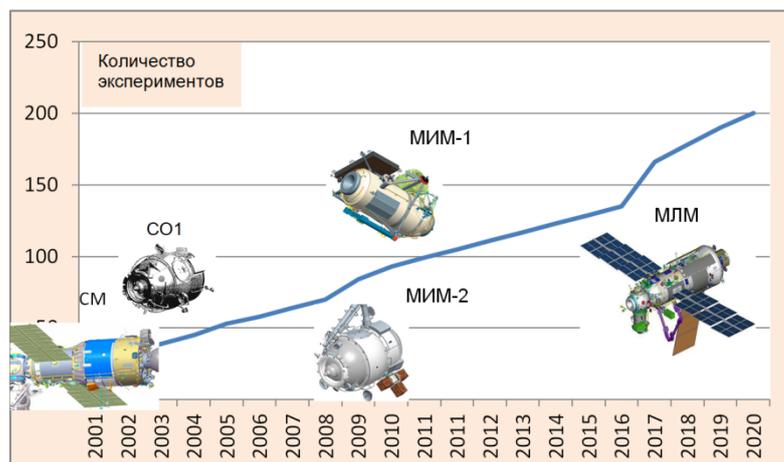


Рис. 2. Тенденция выполнения программы научных исследований

- необходимостью контроля и управления многочисленным составом научной аппаратуры (НА) для проведения КЭ;
- последовательным возрастанием объема КЭ;
- разнообразием по составу и трудоемкостью выполняемых операций при подготовке и реализации КЭ;
- использованием значительного объема справочной бортовой документации, необходимой для проведения КЭ, и в ряде случаев затруднениями при работе с недостаточно отработанной бортовой документацией, регламентирующей проведение отдельных КЭ;
- ответственностью и крайне ограниченным временем на выполнение отдельных операций;

- необходимостью умелого обращения как со сложной и разнообразной технической аппаратурой, так и с живыми медико-биологическими и биотехнологическими объектами исследования;
- потребностью в оперативной (или непрерывной) обработке информации по КЭ на борту РС МКС и выборочной передаче данных по радиоканалу на Землю;
- возросшим уровнем «интеллектуальной» деятельности космонавтов при проведении КЭ, а также потребностью использования бортовых персональных компьютеров для расчетных и информационных задач и др.

На основе многолетнего опыта подготовки космонавтов в ЦПК имени Ю.А. Гагарина сформировался системный подход к разработке и использованию организационно-методического обеспечения подготовки космонавтов по разделам НПИ. Особенности перспективной научной программы и операторской деятельности экипажей определяют общие требования к содержанию подготовки космонавтов по НПИ в целом и требования к организационно-методическому обеспечению на этапах [14, 28]: теоретической подготовки; практических занятий по частным задачам; тренировок экипажей на специализированных и комплексных тренажерах. Подготовка космонавтов к выполнению НПИ выполняется комплексно, последовательно и непрерывно с использованием различных ТСПК. При этом важными требованиями к информационно-методическому обеспечению являются наличие «сквозного» интерфейса данных о ходе и параметрах подготовки на разных этапах обучения и унификация состава данных.

При подготовке по большинству экспериментов космонавты должны овладеть навыками, которые можно разделить на три группы:

- навыки работы с НА;
- навыки работы с объектами исследования;
- навыки проведения исследований и экспериментов.

Первая группа навыков формируется в процессе теоретических и практических занятий. На теоретических занятиях, проводимых в учебных классах с использованием учебно-методических пособий и тренажных образцов (макетов) НА, изучаются принципы устройства и управления НА. При этом используются различные учебно-методические средства [4, 10, 19, 21]: описания и тренажные образцы (макеты) НА, слайды, схемы, видеофильмы, функционально-моделирующие стенды. Также и более современные средства – компьютерные программы на основе виртуальной реальности и 3D-графики [12, 13, 26, 31]. Эти учебные и методические пособия по разделам НПИ (АФЭ, ГФЭ и др.) должны отражать специфику деятельности космонавтов по проводимым КЭ. На этапе подготовки в группе для отработки у космонавтов навыков проведения АФЭ, ГФЭ, ИПРЗ, ЭМ, ВИН и др., в условиях, приближенных к реальному космическому полету, большое внимание уделяется полетам по специально выделенным маршрутам на самолете-летающей лаборатории [2, 5], в ходе которых также используются учебно-методические материалы.

Вторая группа навыков занимает особое место при подготовке космонавтов, так как объекты всех КЭ разнообразны. Моделирование большинства типовых операций на тренажерах при подготовке космонавтов-исследователей к выполнению КЭ не вызывает трудности в методическом и практическом плане. Однако группы типовых работ не могут охватить все многообразие деятельности космонавтов применительно ко всем направлениям исследований. Так, в пособиях по разделу БИОЭ (БТХЭ и др.) особое внимание должно быть уделено живым биологическим (биотехнологическим) объектам исследования, с которыми космонав-

ту приходится контактировать в процессе выполнения КЭ, а также протекающим в ходе КЭ процессам [19, 25, 28]. Поскольку представляемая информация имеет большой элемент новизны и сложна для восприятия, необходимо, чтобы учебные пособия содержали как можно больше иллюстративного материала, выполненного в виде схем, рисунков, элементов компьютерной графики или цифровых изображений. Многофакторность медицинских, биологических, биотехнологических КЭ [16, 20, 28] требует особого подхода к их моделированию [11, 18]. Здесь наряду с аналитическими моделями необходимо использовать методы имитационного моделирования процессов, исследуемых в КЭ [12, 18], и экспериментально-статистические подходы для получения научной информации.

Специфические особенности характерны для наземной отработки роботизированных операций на тренажерах или стендах. Это обусловлено трудностью корректного обезвешивания полезных грузов как механической системы нескольких тел [1, 24, 32]. Экспериментальные стенды позволяют обеспечить или только кинематическое подобие на фазе переноса груза без воспроизведения динамики, или реализацию только плоского движения с искажением упругих свойств манипулятора. Математическое же моделирование сборочных операций связано с необходимостью решения задач контактной динамики [6, 21–23].

Для частных задач по НПИ на всех этапах подготовки космонавтов используются функционально-моделирующие стенды и компьютерные тренажеры как средства обучения, предшествующие тренировкам на специализированных и комплексных тренажерах. Использование интерактивной графики в компьютерных тренажерах дает возможность реализовать практически любые по сложности действия с оборудованием и воспроизвести отработки любых нештатных ситуаций [4, 11, 19, 21, 28].

Применение компьютерных тренажеров для частных задач НПИ позволяет сформировать у обучаемых первоначальные знания и навыки работы в ходе выполнения КЭ до начала тренировок на тренажерном комплексе (ТК) РС МКС и экономить дорогостоящее время подготовки на ТК РС МКС.

Перспективное использование компьютерных систем обучения связывают с тенденциями их развития в трех основных направлениях:

- разработка интеллектуальных компьютерных тренажеров (Intelligent Computer Aided Trainers), способных адаптироваться к уровню знаний и навыков обучаемых. Эти системы включают в себя экспертную модель предметной области, модель обучаемого (оценивающую текущий уровень его обученности) и модель электронного учителя. Эти компоненты объединены в единую оболочку, которую можно использовать в разных тренировочных моделях;
- разработка программного обеспечения поддержки деятельности инструктора (Instructor Assistant Software), которое будет включено в рабочую станцию инструктора для помощи в оптимизации тренировок каждого конкретного обучаемого. Эти интеллектуальные программы будут сопровождать процесс тренировок посредством измерения и оценивания обучаемых;
- технология виртуальных сред (Virtual Environment), которая сможет обеспечить реализм визуальных, слуховых, тактильных и моторных чувств.

Третья группа навыков характеризуется необходимостью учета специфических условий и разнообразием методик проведения КЭ как по одному, так и по различным направлениям НПИ. Для отработки этих навыков могут использоваться различные учебно-методические и тренажерные средства. Практические занятия, необходимые для более полного ознакомления с НА, проводятся на УТМ, натуральных

макетах [патенты RU2328418, RU 2329184], специализированных и комплексных тренажерах ЦПК имени Ю.А. Гагарина [патенты RU 2325706, RU 2524503, RU 2518478, RU 2506647], а также на комплексном стенде в КИС РКК «Энергия» и на базах российских и международных организаций-постановщиков экспериментов. Информация об указанных патентах представлена в таблице.

Таблица

Патенты на технические средства подготовки космонавтов

№ п/п	Предмет поиска (объект, его составные части)	Страна выдачи, номер охранного документа, классификационный индекс	Заявитель с указанием страны, номер заявки	Сущность заявленного технического решения и цели его создания
1	2	3	4	5
1	Система визуализации	Россия Патент RU 2325706	Анисимов Л.А. и др. НИИ АО 27.05.2008	Изобретение направлено на приближение качества имитируемой визуальной обстановки к действительной и обеспечение имитации режима работы обучаемого экипажа по выполнению операций фокусировки наблюдаемого изображения на экране имитатора визира ВСК на этапах сближения и стыковки с орбитальной станцией на самом ответственном и опасном участке с расстояний до нее от 25 м и ближе
2	Жилой отсек наземного экспериментального комплекса для моделирования длительных космических полетов	Россия Патент RU 2328418 C1 B64 G7/00 G09 B9/08	Григорьев А.И. и др. ГНЦ РФ–ИМБП РАН 10.07.2008	Изобретение относится к области наземного моделирования действующих факторов космического полета и может быть использовано для подготовки экипажей к длительным космическим полетам, а также для медико-биологических исследований влияния условий этих полетов на космонавтов
3	Наземный экспериментальный комплекс для моделирования длительных космических полетов, в том числе на Марс	Россия Патент RU 2329184 C1 B64 G7/00 G09 B9/08	Григорьев А.И. и др. ГНЦ РФ–ИМБП РАН 29.05.2007	Предлагаемый комплекс включает в себя обитаемые автономные герметичные модули: медико-технический, хозяйственный и взлетно-посадочный Зарубежные аналоги СН 304751 А (31.01.1955), GB 2075570 А (18.11.1981), US 4631872 А (30.12.1986)

Окончание таблицы

№ п/п	Предмет поиска (объект, его составные части)	Страна выдачи, номер охранного документа, классификационный индекс	Заявитель с указанием страны, номер заявки	Сущность заявленного технического решения и цели его создания
1	2	3	4	5
4	Многофункциональный учебно-тренировочный комплекс для подготовки космонавтов (астронавтов) к внекорабельной деятельности	Россия Патент RU 2524503 G09B 9/52	Шукшунов В.Е. и др. ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» 27.07.2014	Изобретение относится к разделу пилотируемой космонавтики и предназначено для подготовки космонавтов (астронавтов) экипажей МКС к внекорабельной деятельности. Многофункциональный учебно-тренировочный комплекс состоит из двух основных частей: функционально-моделирующего стенда предтренижерной подготовки и комплексного тренажера внекорабельной деятельности
5	Функционально-моделирующий стенд для создания условий интерактивного безопасного пространства и пониженной гравитации	Россия Патент RU 2518478 G09B 9/52	Варченко В.В. и др. ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» 10.06.2014	Стенд включает в себя различные элементы, необходимые для ВКД и последующей подготовки космонавтов экипажей МКС к выполнению перемещений и различных технологических операций в условиях полной невесомости открытого космического пространства, а также в условиях пониженной гравитации на спутнике Земли Луне и на других космических объектах Солнечной системы. В результате расширяются функциональные возможности стенда, условия тренировки максимально приближены к реальным условиям невесомости открытого космического пространства
6	Тренажерный комплекс орбитального узлового модуля российского сегмента МКС	Россия Патент RU 2506647 G09B 9/52	Васильев В.А. и др. ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» 10.02.2014	Тренажерный комплекс включает интегрирующую систему, специализированный тренажер «МБВС РС МКС», специализированный тренажер «Телеоператор-2», специализированный тренажер «Выход-2», «Гидролабораторию», «Космоцентр», функционально-моделирующий стенд предтренижерной подготовки, тренажер орбитального узлового модуля

Анализ организации подготовки экипажей к проведению НПИ на МКС [9] позволил выделить ряд технических и методических проблем. Так, планирование использования в процессе подготовки космонавтов по НПИ в качестве основного средства подготовки ТК РС МКС, как показывает практика, имеет некоторые ограничения и недостатки, отражающиеся в конечном счете на эффективности подготовки экипажей [27]:

- длительный период разработки, создания и отладки тренажеров в составе тренажерного комплекса, в течение которого космонавты лишены возможности формировать навыки выполнения КЭ;
- большая нагрузка тренажерного комплекса тренировками экипажей по технической и комплексной подготовке;
- сложность, в ряде случаев, интеграции реальной НА с тренажерными моделями бортовых систем, что требует дополнительного времени и уникальных технических доработок [17];
- при постоянном использовании тренажерного комплекса чрезвычайно сложно найти время для его доработки в соответствии с появлением новой НА на реальном модуле.

Основные организационные проблемы заключаются в следующем [28, 31]:

- несвоевременное согласование со стороны разработчиков и партнеров проведения экспериментов проектной (конструкторской, эксплуатационной и полетной) и нормативной документации по реализации КЭ;
- несвоевременное получение исходных данных на подготовку экипажей конкретной экспедиции на МКС, и при этом неполное содержание исходных данных, что не позволяет составить программу подготовки экипажей;
- недостаточная обеспеченность тренажеров тренажерными комплектами.

Заключение

Проведенный анализ материалов по вопросам моделирования космических экспериментов позволил определить современный уровень и тенденции развития программных и технических средств подготовки космонавтов для выполнения научно-прикладных исследований и космических экспериментов и показал следующее:

- программа выполнения научно-прикладных исследований и космических экспериментов РС МКС является логическим продолжением научных программ, выполненных на ОК «Мир»;
- сложившаяся методология подготовки космонавтов к выполнению научно-прикладных исследований и космических экспериментов является основой для реализации перспективной программы на борту РС МКС, в которую входит более 200 космических экспериментов по 6 направлениям научно-прикладных исследований;
- навыки проведения космических экспериментов и работы с научной аппаратурой формируются с использованием различных учебно-методических и технических средств, таких как слайды, схемы, видеофильмы, компьютерные программы, а также специализированные стенды, учебно-тренировочные макеты, натурные макеты, компьютерные тренажеры, специализированные и комплексные тренажеры, расположенные в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, в КИС РКК «Энергия» и на базах российских и международных организаций-постановщиков экспериментов;
- получены исходные данные для разработки методических указаний по формированию требований к моделям космических экспериментов для тренажеров РС МКС.

Рассмотренные технические, организационные и методические аспекты подготовки космонавтов к выполнению НПИ на борту МКС, базирующиеся на уникальном многолетнем опыте подготовки космонавтов, будут учтены при разработке методических указаний по формированию требований к моделям космических экспериментов для тренажеров РС МКС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tabarah E, Patten L, Evans L Манипуляторы на МКС – проблемы подготовки экипажей и эксплуатации // Сб. тезисов 5-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2003. – С. 21–23.
- [2] Андрющенко О.А. и др. Применение самолета-лаборатории в подготовке космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений // Сб. тезисов 11-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2015. – С. 217–218.
- [3] Модельный эксперимент с длительной изоляцией: проблемы и достижения / Баранов В.М., Гончаров И.Б., Попова И.И., Анохина Л.Д. – М.: фирма «Слово», 2001. – 531 с.
- [4] Васильев В.И. и др. Применение технических средств подготовки космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений // Сб. тезисов 11-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2015. – С. 218–219.
- [5] Визуально-инструментальные наблюдения с борта Международной космической станции экипажами российского сегмента и основные принципы подготовки к их выполнению / Васильев В.И., Сохин И.Г., Бронников С.В., Гордиенко О.С. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(7). – 2013. – С. 23–29.
- [6] Особенности разработки и функционирования тренажера европейского манипулятора / Виноградов Ю.А., Полунина Е.В, Саев В.Н. // Труды IX Международной конференции «Психология и эргономика: единство теории и практики» 17–19 сентября 2015 года, Тверь. – С. 41–46.
- [7] Совершенствование подготовки российских членов экипажей МКС по космическим манипуляционным роботам / Воронец И.В., Маликов А.Е., Элиссон Мак Интайер // Сб. тезисов 5-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2003. – С. 33–34.
- [8] Горгиладзе Г.И. и др. Особенности планирования биологических КЭ как многофакторных // Сборник тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 147–150.
- [9] Анализ подготовки экипажей МКС к выполнению космических экспериментов / Грушин А.А., Орешкин Г.Д., Сабуров П.А. // Сборник тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 130–132.
- [10] Подготовка космонавтов по аэровизуальным инструментальным наблюдениям с использованием ФМС «Глобарий» / Грушин А.А., Орешкин Г.Д., Романтеев Н.Ф. // Сб. тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 129–130.
- [11] Анализ систем информационной поддержки деятельности космонавта при проработке, проведении и обработке результатов научно-прикладных исследований и экспериментов с борта ПКА / Грушин А.А., Орешкин Г.Д., Романтеев Н.Ф. // Сб. тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 124–125.
- [12] Гуторов А.М. и др. Виртуальные руководства – новый взгляд на средства подготовки и техническую документацию // Сб. тезисов 7-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 14–15 ноября 2007. – С. 70–72.
- [13] Гуторов А.М. и др. Виртуальные 3D-руководства по научным экспериментам и их использования на борту РС МКС // Материалы XLIII научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга, 2008. – С. 289–290.
- [14] Совершенствование организационно-методического обеспечения подготовки космонавтов / Дмитриев В.Н., Крючков Б.И., Курицын А.А. // Сб. тезисов 11-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2015. – С. 27–28.
- [15] Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС. Версия 2012 г. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

- [16] Жуков В.М. К вопросу о методологии научно-прикладных исследований, включающих космический эксперимент // Сб. тезисов 7-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2007. – С. 57–58.
- [17] К вопросу интеграции научной аппаратуры с тренажером информационно-управляющей системы МКС на примере космического эксперимента «Контур-2» / Захарченко Я.С., Курбатов Д.В., Лункин К.С. // Сб. тезисов 11-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2015. – С. 261–262.
- [18] Исследование путей совершенствования подготовки космонавтов к выполнению многофакторных биологических экспериментов на борту МКС // Отчет о НИР «Алгоритм-1». – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2010. – 67 с.
- [19] Кутепова О.А. и др. Опыт подготовки космонавтов и деятельности экипажей по выполнению биологических экспериментов на борту РС МКС // Сб. тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 145–146.
- [20] Кутепова О.А., Жуков В.М. Оценка возможности постановки космических экспериментов на МКС как многофакторных // Сб. тезисов 11-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2015. – С. 220–223.
- [21] Лесков А.Г. и др. Опыт создания и применения функционально-моделирующих стендов манипуляционных роботов // Сб. тезисов 11-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2015. – С. 91–93.
- [22] Лесков А.Г. Программно-методическое обеспечение начальной подготовки операторов космических манипуляционных роботов // Сб. тезисов 11-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2015. – С. 90–91.
- [23] Лесков А.Г., Илларионов В.В. Математическое и полунатурное моделирование операций космических манипуляционных роботов // Сб. тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 70–71.
- [24] Тренажерные системы экстремальной робототехники / Лопота В.А., Половко С.А., Юдин В.И. // НТК «Экстремальная робототехника» – С.-Петербург, ЦНИИ РТК, 2006. – С. 26–31.
- [25] Маликов А.Е. и др. Совершенствование подготовки экипажей МКС по научной программе биологических экспериментов // Сб. тезисов 5-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2003. – С. 124–125.
- [26] Обухова В.В. и др. Интерактивная графика в компьютерной системе подготовки наземного персонала управления автоматическими космическими аппаратами // Сб. тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 170–173.
- [27] Полунина Е.В., Шевченко Л.Е. К вопросу моделирования научно-технических экспериментов на тренажерах российского сегмента МКС // Материалы XL общественно-научных чтений, посвященных памяти Ю.А. Гагарина. – Гагарин, 2014. – С. 265–273.
- [28] Попова Е.В. Проблемы обучения космонавтов по биологическим экспериментам и пути их решения // Сб. тезисов 8-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2009. – С. 147–150.
- [29] Радченко С.Г. Повышение эффективности экспериментальных исследований сложных систем и процессов // Сб. тезисов 7-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2007. – С. 59–60.
- [30] Шуров А.И., Орешкин Г.Д., Сабуров П.А. Проблемы подготовки космонавтов по программе научно-прикладных исследований РС МКС // Сб. тезисов 7-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2007. – С. 63–64.
- [31] Щербинин Д.Ю. Использование компьютерной обучающей системы виртуального окружения при подготовке экипажей МКС // Сб. тезисов 7-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2007. – С. 46–47.
- [32] Возможные варианты создания комплексного тренажера для тренировки операторов при выполнении космических роботизированных сборочных операций / Яскевич А.В., Остроухов Л.Н., Лесков А.Г. // Сб. тезисов 6-й МНПК «Пилотируемые полеты в космос», Звездный городок, 2005. – С. 181–182.

УДК 629.785:629.78.06.629.785

**МИССИИ-АНАЛОГИ НАСА, ПРОВОДИМЫЕ В ИНТЕРЕСАХ
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ
В ДАЛЬНИЙ КОСМОС: HMP, Desert RATS, ISRU, PLRP, FMARS**
П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной

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

Проведен обзор миссий-аналогов, проводимых НАСА в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос для освоения космических объектов Солнечной системы, а также выполненных при этом научных исследований. В данной статье рассмотрены следующие миссии-аналоги: проект «Хотон–Марс», программа исследования и отработка технологий в пустыне, программа демонстрации использования местных ресурсов, проект «Озеро Павилион», проект «Марсианская арктическая научно-исследовательская станция». Определены цели, задачи и направления исследований в рамках каждого проекта.

Ключевые слова: миссия-аналог, астронавт, внекорабельная деятельность, экстремальные условия, скафандр.

**Missions – NASA Analogues, Implemented in the Interests of Manned
Missions to Deep Space: HMP, Desert RATS, ISRU, PLRP, FMARS.**
P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy

The paper reviews analogue missions, performed by NASA to prepare manned missions to deep space on purpose of exploring space objects in the solar system and conducting scientific studies. The following analogues are considered here: “Haughton-Mars” project, Desert RATS, In Situ Resources Utilization demonstration program, Pavilion Lake Research Project, Flashline Mars Arctic Research Station. Goals, objectives and lines of research in accordance with each said projects are given.

Keywords: mission-analog, astronaut, EVA, extreme conditions, space suit.

НАСА активно планирует расширить пилотируемые космические полеты и полеты автоматических космических аппаратов за пределы низкой околоземной орбиты. Эти задачи будут решаться в своих уникальных космических условиях. Будущие направления могут включать в себя Луну, околоземные астероиды, Марс и его спутники. Для гарантированного достижения целей в этих новых миссиях НАСА активно ведет разработку программ, направленных на выявление новых опасностей, и разработку технологий, обеспечивающих снижение соответствующих рисков. Одной из основных таких программ является Human Research Program (HRP) – Программа исследований человека. Важной частью экспериментальных исследований в рамках HRP является проведение миссий-аналогов на Земле. Миссии-аналоги, как правило, проводятся в виде полевых испытаний в местах, которые определены на основе сходства физических условий в этих местах с условиями на космических объектах, на которые планируются целевые миссии. Инженеры НАСА и ученые работают совместно с представителями других государственных органов, научных кругов и промышленности для разработки требований и новых технологий, необходимых для обеспечения эффективного, действенного и устойчивого освоения человеком космического пространства в будущем [1].

Основными миссиями-аналогами, в рамках которых проводятся исследования для подготовки полетов на Марс и Луну, являются:

1. Haughton – Mars Project (HMP) – Проект «Хотон-Марс».
2. Desert Research and Technology Studies (Desert RATS) – Исследования и технологии в пустыне.
3. In-Situ Resource Utilization (ISRU) – Использование местных ресурсов.
4. Pavilion Lake Research Project (PLRP) – Исследовательский проект «Озеро Павилион».
5. Flashline Mars Arctic Research Station (FMARS) – Марсианская арктическая исследовательская станция Флэш-лайн.
6. NASA Extreme Environment Mission Operation (NEEMO) – Миссии НАСА по операциям в экстремальной окружающей среде.
7. International Space Station Test Bed for Analog Research (ISTAR) – Международная космическая станция – стенд-аналог для исследований.
8. Mars Yard (MY) – Проект «Марсианский двор».
9. Inflatable Lunar Habitat Analog Study in Antarctica – Исследование аналога надувного обитаемого лунного модуля в Антарктиде.
10. Проект Hi-SEAS (Hawai'i Space Exploration Analog and Simulation).

НАСА продолжает увеличивать места проведения миссий, чтобы удовлетворить новым требованиям, и увеличивает количество экспериментов для обеспечения НАСА новыми данными о качестве выполнения плановых операций. В настоящее время места проведения исследований включают пустыню, вулканы, Арктику, озеро, океан и низкую околоземную орбиту.

Проект «Хотон–Марс» (Haughton-Mars Project – HMP) Окружающая среда: Арктика

Кратер Хотон находится на острове Девон в Канаде [2].

Скалистый рельеф арктической пустыни кратера, геологические особенности и биологические свойства обеспечивают оптимальные условия и удовлетворяют требованиям для будущих пилотируемых и автоматических миссий на Марс. Внешний вид станции представлен на рисунке 1.

В проекте «Хотон–Марс» научные исследования проводятся по следующим направлениям: напланетная деятельность в реальных условиях, взаимодействие с роботами, управление роверами, испытания защитного снаряжения.



Рис. 1. Научно-исследовательская станция проекта HMP в кратере вулкана

В проекте был принят следующий подход: автоматический аппарат осуществляет первоначальную разведку местности, далее человек уточняет результаты автоматической разведки, в последующем автомат завершает работу, которую человек не смог выполнить по разным причинам, например, нехватка времени, большие объемы. Если робот входит в состав исследовательских экспедиций, то взаимодействие человека и робота может увеличить количество и качество сбора данных и оказывает большое влияние на стоимость выполнения миссии.

При выполнении данного проекта проводились испытания скафандра-шлюза Hamilton Sundstrand's на ровере Humvee Rover. В ровере шлюз расположен на задней части транспортного средства, скафандр подключается к шлюзу снаружи, члены экипажа входят в скафандр изнутри ровера. Вид скафандра-шлюза представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Вид скафандра-шлюза по проекту Hamilton Sundstrand's на ровере Humvee

Проведенные исследования показали, что участник эксперимента мог легко управлять скафандром-шлюзом.

Испытания скафандра с улучшенной конструкцией показали, что большинство испытателей могли легко войти и выйти из скафандра при минимальном обучении. Данная конструкция позволяет более безопасно и эффективно выполнять операции входа в скафандр и выхода из него.

В ходе осуществления проекта «Хотон–Марс» были сформулированы следующие рекомендации:

- в длительных экспедициях должно быть несколько транспортных средств;
- любой дальний или длительный переход с экипажем необходимо совершать несколькими транспортными средствами (если с транспортным средством экипажа возникают проблемы, то другое может вернуться к базе за помощью или транспортировать экипаж);
- экипаж необходимо готовить к ситуациям по освобождению застрявшего транспортного средства (ровер может застревать на пересеченной местности или на мягком и сыпучем грунте на Марсе или Луне).

Эти рекомендации позволят повысить безопасность будущих планетарных миссий.

Анализ деятельности космонавтов по сбору образцов грунта показал, что 80 % пород, собранных в ходе экспедиции, являются сыпучими породами или камнями в виде щебня. Сбор образцов от скалистых отложений осуществляется очень редко.

Определено, что сбор образцов может быть проще, быстрее и безопаснее, если свободные породы собирать роботизированной рукой, прикрепленной к боковым поверхностям ровера.

Сбор образцов горных пород роботизированной рукой даст возможность уменьшить время внекорабельной деятельности (ВКД) примерно на 50–80 %. Это позволит сократить количество необходимых выходов в открытый космос, который экономит время от надевания и снятия скафандров, выхода на поверхность и сбор образцов. Кроме того, применение манипуляторов повышает безопасность астронавтов, так как пребывание внутри корпуса ровера безопаснее и проще для членов экипажа.

Одним из достижений проекта является успешная демонстрация технологии автоматизированного бурения. Бурильная установка CRUX проверена на способность к обнаружению потенциальных отказов и выполнению действий по восстановлению работоспособности без какого-либо физического участия человека. Это важно для исследования планет, так как автономная установка может подготовить место до прибытия человека, организовать добычу ресурсов, необходимых для строительства базы. Кроме того, данная бурильная установка оборудована системой получения изображений, вмонтированной в бур.

В дополнение к основным геологоразведочным работам проведены успешные исследования в области телемедицины. Реализованы девять сценариев, в которых врачи и участники эксперимента с небольшим объемом медицинских знаний были проинструктированы дистанционно (другим врачом с помощью веб-камеры) о том, как выполнить необходимые процедуры по спасению жизни. Участники, не имеющие медицинского образования, были в состоянии успешно проводить такие экстремальные процедуры, как ампутация ноги на модели робота-пациента.

Научным результатом проекта исследователи считают подтверждение гипотезы о формировании геологии Марса и истории его климата, основанной на геологическом сходстве поверхности острова и поверхности Марса и сходстве климата – оба являются холодными и сухими и содержат долины и каньоны. Считается, что климат в кратере Хотон всегда был холодный и сухой, и его сети долин и каньонов были сформированы из-за движения ледников. Вполне возможно, что подобные процессы происходили на Марсе, это означает, что Марс, возможно, был всегда холодным, как теперь, если не холоднее.

Программа исследования и отработка технологий в пустыне (Desert Research and Technology Studies – Desert RATS)

Окружающая среда: пустыня

Исследования в пустыне проводятся по программе RATS. Программа Desert RATS направлена на оценку и тестирование систем и операций ВКД в пустынной среде с сильно пересеченной местностью, такой как метеоритные кратеры, крутые склоны, вулканические поля, равнины с различным составом почвы, в условиях пыльных бурь, при экстремальных температурах [2].

В высокогорной пустыне в штате Аризона возле города Флагстафф оцениваются технологии, человеко-машинные системы, роботизированные системы и оборудование для выхода в открытый космос.

Пустыня в Аризоне имеет шероховатую поверхность, пыльный ландшафт и экстремальные перепады температуры, что имитирует условия, которые могут возникнуть на других планетах. Изолированное расположение позволяет реализовать сценарии автономной деятельности и взаимодействия с пунктами управления.

Примеры отработываемых технологий: прототипы высокоточного оборудования, оборудование скафандров, роботы, марсоходы, жилые модули, исследовательские транспортные средства с герметичной и негерметичной кабиной, технологии навигации и картирования поверхности, энерго- и коммуникационные системы.



Рис. 3. Два марсохода подключены к демонстрационной обитаемой установке в ходе полевых испытаний в штате Аризона



Рис. 4. Негерметичное транспортное средство для передвижения по планетам

На рисунках 3 и 4 представлены некоторые варианты транспортных средств, которые испытывались по программе Desert RATS.

Программа Desert RATS направлена на решение основных вопросов о том, как лучше организовать и выполнить разведывательные миссии на других планетах.

По программе Desert RATS исследовались следующие вопросы:

- определение оптимального количества членов экипажа;
- эргономические решения среды обитания;

- исследование телеоператорных систем;
- исследование взаимодействия человека и робототехнических систем;
- распределение функций в человеко-машинных системах.

Результаты исследований являются основой для планирования задач последующих миссий.

После тестирования различных сценариев определено, что роботы целесообразно применять для работ с тяжелыми грузами при решении таких задач как развертывание коммуникационного оборудования и сооружение зарядных станций, в то время как люди лучше подходят для задач, которые требуют больше ловкости, таких как сбор образцов породы, исследования, управление роботами.

Определено, что роботизированные системы являются полезными для развертывания многомодульных систем и проведения рутинных операций проверки и технического обслуживания.

Разработан сценарий деятельности экипажа на поверхности других планет, заключающийся в использовании вездеходов, который расширяет спектр задач ВКД, увеличивает радиус действия экипажей и снижает трудоемкость работ экипажа. В отличие от программы «Аполлон», где экипажу надо было возвращаться к посадочному модулю в конце каждого дня, оценена возможность использования пространства транспортного средства в качестве временной среды обитания при исследовании мест проведения разведки.

Были исследованы два сценария связи – непрерывная связь и связь два раза в день во время 14-дневного похода.

В случае непрерывной связи обеспечивался постоянный контакт команды миссии и базовой станции, в режиме реального времени осуществлялся обмен данными и результатами анализа.

В ходе эксперимента было показано, что наличие команды поддержки исследований может значительно повысить и увеличить отдачу научных исследований. В ходе экспериментов использовались две команды: команда стратегических операций и команда тактических операций. Стратегическая оперативная группа анализировала результаты выполненных за день мероприятий и научных исследований и определяла необходимые изменения в планы миссии. Эта группа работала по двум сценариям связи.

Тактическая группа поддержки операций работала в реальном времени в течение дня. В режиме непрерывной связи эта команда работала непосредственно с экипажем. В режиме замедленной связи тактическая группа постоянно наблюдала за деятельностью экипажа, но сеанс связи был организован в конце дня.

Добавление тактической группы для анализа данных в реальном времени и связи с экипажем повысило качество деятельности экипажа и выполнения критически важных операций в целом.

В ходе экспериментов существенно доработана и улучшена конструкция транспортных средств, увеличена их надежность, увеличен запас хода и автономного функционирования. Результаты испытаний показали, что за счет улучшения конструкции роверов члены экипажа могут комфортно отдохнуть между выходами. Проводились работы по оценке возможности выполнения одиночных выходов одного человека в космос, возможности выполнения ночных выходов, использования вариантов транспортных средств с герметичной и негерметичной кабиной.

В течение недельных походов экипажи провели половину времени вне ровера, а ВКД была на 57 % более производительной.

**Программа использования местных ресурсов
(In-Situ Resource Utilization – ISRU)
Окружающая среда: вулкан**

Ландшафт местности, распределение камней, материал почвы и вечная мерзлота в Мауна-Кеа на Гавайях похожи на лунный полярный регион и обеспечивают идеальные условия для тестирования аппаратных средств и операций, недоступных в лабораториях НАСА. Сухой климат на вершинах вулкана позволяет тестировать системы генерации электро- и тепловой энергии [3].

НАСА проводит миссии в Мауна-Кеа совместно с Международным космическим центром исследования систем и Канадским космическим агентством.

Эти организации исследуют технологии использования местных ресурсов, технологии, которые могут быть использованы для поиска водяного льда в лунных или планетарных средах, выделение кислорода из вулканического материала, его разделение и хранения. Молодой вулканический материал в Мауна-Кеа имеет высокое содержание кислорода, аналогичное содержанию в материале, найденном на поверхности Луны.

Исследуемыми ресурсами, которые могут быть использованы, являются: реголит (или поверхностный материал), минералы, металлы, вода, лед, солнечные лучи, вакуум и температурные градиенты.

В ходе проведения миссий наблюдались сильные ветры, которые поднимали вулканическую пыль на месте испытаний. Лунная пыль представляет собой серьезную проблему при исследовании Луны. Любые аппаратные средства, используемые на Луне, необходимо защищать от пыли. Были разработаны новые способы защиты аппаратуры от пыли, которые показали свою эффективность.

Использование местных ресурсов имеет большое значение для обеспечения устойчивой жизни на поверхности планет. Проведенные миссии-аналоги продемонстрировали возможность извлечения кислорода из вулканических материалов в ходе экспериментов RESOLVE, ROxygen, и PILOT, а также продемонстрирована возможность обнаружения воды или льда в почве в постоянно затененных кратерах.

В ходе испытаний было протестировано следующее оборудование: три установки для производства кислорода, средства передвижения и перемещения установок, бурильные установки, спектрометры для изучения почвы. На рисунках 5, 6, 7 представлены типы роверов, используемых в ходе экспериментов.

В процессе исследований отработан производственный цикл, который включает в себя:

- выявление ресурсов;
- исследование ресурсов;
- подготовку данных;
- добычу исходных материалов;
- дробление и калибровку материала;
- обработку материала;
- выделение кислорода;
- хранение, распределение и использование кислорода по назначению.



Рис. 5. Бурильная установка на ровере Scarab



Рис. 6. Ровер для создания дорог и площадок



Рис. 7. Экспериментальная установка во время полевых испытаний на Гавайях

Исследовательский проект «Озеро Павилион» (Pavilion Lake Research Project – PLRP) Окружающая среда: озеро

Исследовательский проект направлен на объяснение происхождения пресноводных организмов (microbialites), которые растут в озерах Павилион и Келли в Британской Колумбии, Канада. Ископаемые microbialites являются одними из самых древних организмов на Земле [2].

Результаты исследований можно применить при поиске жизни в Солнечной системе и за ее пределами. Ученые используют подводные аппараты и методы изучения, аналогичные автоматическим миссиям исследования астероидов.

Для проведения исследований использовался подводный аппарат DeepWorkers, внешний вид которого представлен на рисунке 8.

DeepWorkers является подводным одноместным аппаратом, который в своем составе имеет: систему жизнеобеспечения, снаряжение для выживания, различные технологические системы. Аппарат имеет небольшой гидравлический манипулятор, сходный с манипуляторами Space Shuttle и МКС.



Рис. 8. Подводный аппарат DeepWorkers во время испытаний

Длительность работы под водой около двух часов.

Осуществлялись рейсы продолжительностью около пяти часов, а также две ночные экспедиции. Команда из 6 пилотов, которая включала 2 астронавтов, выполнила 34 погружения на DeepWorker в течение 10 дней.

В ходе исследований отрабатывались два различных способа координации деятельности роботов для научных экспедиций.

1. Последовательное применение автоматических подводных аппаратов (АПА) и DeepWorker. Аппараты на одной и той же трассе, но в разное время, провели сбор данных. Показано, что для сравнения собранных данных необходимо использовать одинаковые высокоточные приборы, а времена выполнения двух миссий должны быть идеально синхронизированы.

2. Одновременное применение АПА и DeepWorker. Показано, что наибольшую трудность в координации работ нескольких аппаратов представляет обеспечение безопасного расстояния между двумя аппаратами. Для используемых типов АПА безопасное расстояние составляет 7 м.

В ходе экспериментов исследовались вопросы связи и передачи данных. Показано, что устные доклады пилота аппарата DeepWorker и его комментарии об окружающей обстановке позволяли улучшить планирование последующих рейсов, даже изменяя планы рейсов на тот же день.

Рекомендовано обеспечить двустороннюю аудио- и видеосвязь.

В ходе экспериментов применялась система отслеживания положения подводного аппарата. Навигационные компьютеры отслеживали положение DeepWorkers с дискретностью пять секунд и строили в реальном масштабе времени траекторию движения. На эту траекторию накладывались результаты дешифрирования комментариев пилота и видеозаписей с приборов наблюдения. Это существенно повысило оперативность планирования задач на сезон и на текущий день.

Для сбора данных применялась следующая аппаратура: гидролокатор бокового обзора, цветная видеокамера, система измерений качества воды, система геоакустического картирования.

Результаты данной миссии-аналога могут быть использованы для разработки методов подготовки астронавтов в следующих направлениях:

- эффективного осуществления ВКД;

- распределения и планирования времени и количества научных экспериментов;
- определения правильного баланса в использовании автономных роботов, дистанционно управляемых роботов и пилотируемых аппаратов в будущих космических миссиях.

Важным результатом миссии 2011 года является разработка способов и средств оперативной обработки и анализа полученных научных данных. Если ранее процесс обработки данных занимал несколько месяцев после завершения исследований, то в данной миссии добились обработки данных, экспресс-анализа и получения оценок в режиме реального времени.

Проект «Марсианская арктическая научно-исследовательская станция» (Flashline Mars Arctic Research Station – FMARS)

Окружающая среда: Арктика

В 2000 году на канадском острове Девон была построена Марсианская арктическая исследовательская станция (Flashline Mars Arctic Research Station – FMARS) (рис. 9) [3].



Рис. 9. Марсианская арктическая исследовательская станция FMARS

Девон – остров в составе Канадского Арктического архипелага, по размеру занимает 27-е место в мире и 6-е место в Канаде. Крупнейший необитаемый остров на земном шаре, площадь – 55 247 км². Сложен из докембрийского гнейса и палеозойских алеврита и сланца. Из-за сравнительно больших высот над уровнем моря и расположения на высоких широтах на острове обитает лишь небольшая популяция овцебыков, мелкие птицы и млекопитающие. Животный мир острова сконцентрирован на равнинах, где более благоприятный микроклимат и имеется арктическая растительность. Температура в короткое лето (от 40 до 55 дней) редко поднимается выше 10 °С, а зимой может опускаться ниже –50 °С. В условиях полярной тундры на острове Девон выпадает мало осадков. Из-за арктической погоды на станции FMARS работать можно только в летний сезон.

В остров Девон 39 миллионов лет назад врезался метеорит около 2 км в диаметре, образовав кратер. Из-за эрозии это место похоже на поверхность Марса. Именно на этом острове специалисты НАСА проводят испытания марсианской и

лунной техники. С 2001 года на этой станции начали работать экипажи экспедиций. Люди живут и трудятся в условиях, максимально приближенных к марсианским: «марсианские сутки», задержка связи с внешним миром, инструменты и оборудование только те, что есть. В настоящее время на исследовательской станции побывало уже более 130 экипажей.

Проект FMARS является негосударственным, база построена на средства Марсианского общества, которое, в свою очередь, существует за счет пожертвований. Станция является первым из двух проектов, имитирующих марсианскую поверхность и работу на ней. Вторая подобная станция была построена в 2002 году в южной части штата Юта.

Основной целью работ и исследований на станции FMARS является задача по получению ключевых знаний, необходимых для подготовки человека к исследованию Марса. На станции осуществляется проведение геологических, биологических, геофизических, медицинских, физиологических и других экспериментов в условиях, аналогичных тем, которые могут быть на Марсе, проверяется среда обитания, конструктивные особенности жилого модуля, инструменты и технологии (рис. 10).



Рис. 10. Взятие геологических проб

Важнейшей составляющей исследовательской деятельности на FMARS является внекорабельная деятельность. Для этих целей на станции имеются специальные скафандры (рис. 11). При этом используются различные технические средства: квадроциклы, беспилотные летательные аппараты и др.

Основным элементом станции является модуль среды обитания. Это цилиндрический трехэтажный модуль приблизительно 8.4 метра в диаметре. Предназначен для проживания 6 человек одновременно. В модуле имеются: жилой блок, рабочие комнаты и лаборатории со стерильными комнатами, спортзал, камбуз и лазарет. Три палубы модуля связаны центральным ходом и многозвенной схемой, которая также соединяется с главным тамбуром на нижней палубе. Нижняя палуба модуля служит для хранения оборудования.

Задача построения замкнутой системы жизнеобеспечения на FMARS пока не ставится, но порой отрабатываются некоторые ее элементы.

Марсианское общество посылает исследователей для проживания и работы на станции обычно в течение одного летнего арктического месяца. Каждая из этих экспедиций обычно состоит из экипажа 6–7 человек.



Рис. 11. Внекорабельная деятельность

В феврале 2014 года Марсианское общество заявило о подготовке новой программы на арктической станции. Программа получила название Mars Arctic 365, поскольку по замыслам организаторов Марсианского общества эксперимент для одного экипажа на исследовательской станции будет длиться не несколько недель или месяцев, а целый год. В течение 365 дней экипаж из шести человек будет работать в суровых арктических условиях, оторванный от цивилизации.

Во время экспедиций проводятся различные эксперименты, используется медицинская, научная, горная техника. Обычно команду формируют из шести человек: командир, геолог, биолог, врач, бортиженер, астроном. Но, как правило, каждый член экипажа совмещает две специальности. Кто-то может быть еще и журналистом — его дополнительной обязанностью станет освещение двухнедельной экспедиции на различных электронных площадках, ведение фото- и видеорепортажей.

В каждый экипаж обязательно входят люди с необходимым опытом работы в условиях чрезвычайной ситуации, а также врач. При крайней необходимости, например, в случае угрозы жизни, может вмешаться служба поддержки и эвакуировать пострадавшего.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Analog Missions and Field Tests. 541196main_AnalogFactSheet. Сайт НАСА. (дата обращения 15.07.2015)
- [2] NASA's Analog Missions: Paving the Way for Space Exploration. 563511main_NASA-Analog-Missions-06-2011_508. Сайт НАСА. (дата обращения 15.07.2015)
- [3] Desert Research and Technology Studies (DRATS) 2008: Evaluation of Small Pressurized Rover and Unpressurized Rover Prototype Vehicles in a Lunar Analog Environment NASA/TP-2010- 216136. Сайт НАСА. (дата обращения 13. 05.08.2015).

УДК 629.785:629.78.06

ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШЛЮЗОВЫХ ОТСЕКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫХОДА НА ПОВЕРХНОСТЬ ЛУНЫ

Е.С. Киреева

Е.С. Киреева (ФБГУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Рассмотрены основные требования, которые могут быть предъявлены к шлюзовому отсеку для лунных космических аппаратов и выполнен обзор некоторых современных концепций построения шлюзовых отсеков.

Ключевые слова: шлюзование, шлюзовой отсек, скафандр, луноход, система жизнеобеспечения.

The Review of Advanced Airlock Modules to Exit on Lunar Surface.

E.S. Kireeva

The paper contains main requirements for an airlock module of lunar vehicles and an overview of some modern concepts of designing the airlocks.

Keywords: airlocking, airlock, space suit, lunar rover, life support system.

Введение

Основное назначение шлюзового отсека – обеспечить безопасный выход экипажа в космическое пространство или на поверхность другой планеты для выполнения заранее запланированных или аварийных работ. Габариты и свободный объем отсека должны быть такими, чтобы в нем могли разместиться и работать с оборудованием не менее двух космонавтов в наддутых скафандрах [1]. В состав шлюзового отсека входит специальная аппаратура, обеспечивающая шлюзование, а также оборудование для обеспечения работ в открытом космосе (скафандры, приспособления для дозарядки автономной системы обеспечения жизнедеятельности скафандров и сушки скафандров, аварийные средства и т. д.).

Действия, выполняемые внутри шлюзового отсека, объединяются в понятие «шлюзование». Процесс шлюзования представляет собой совокупность последовательно проводимых операций по созданию условий для выхода космонавтов в скафандрах из шлюзового отсека в открытый космос и их возвращения. Условно шлюзование можно разделить на два этапа:

- шлюзование до открытия выходного люка;
- шлюзование после закрытия выходного люка.

Операции, включаемые в шлюзование, имеют либо медицинское, либо техническое назначение. Медицинские процедуры, такие как продувка и десатурация, связанные с переходом к работе при пониженном давлении в кислородной среде скафандра, являются обязательными. Технические процедуры включают проверки герметичности скафандров и люков.

Анализ вариантов конструкций

В состав оборудования, необходимого для выполнения шлюзования, вне зависимости от конструкции шлюзового отсека должны входить:

1. Модуль, выполняющий роль шлюзового отсека, или специализированный шлюзовой отсек.

2. Средства разгерметизации шлюзового отсека, позволяющие с безопасной скоростью сбросить давление из него. Так как в условиях лунной экспедиции, скорее всего, будет стоять задача экономии ресурсов, в т.ч. кислорода, помимо средств сброса давления в шлюзовом отсеке должны быть системы перекачки атмосферы в баллоны либо в смежные отсеки.

3. Средства наддува шлюзового отсека и средства выравнивания давления со смежными модулями (если они есть).

4. Оборудование для обеспечения жизнедеятельности человека в скафандре во время выполнения шлюзования.

5. Оборудование для управления процессом шлюзования.

6. Средства контроля герметичности закрытия люков.

7. Средства защиты от пыли.

Возможны следующие варианты конструкции шлюзового отсека:

1. Шлюзовой отсек, совмещенный с кабиной лунного корабля.

2. Шлюзовой отсек в составе взлетно-посадочного модуля.

3. Стационарный шлюзовой отсек, являющийся частью лунной базы.

4. Мобильный шлюзовой отсек как конструктивное решение на базе лунохода.

Первый вариант – шлюзовой отсек взлетно-посадочного модуля, совмещенный с кабиной экипажа, как в корабле «Аполлон» и в корабле советского проекта Н1-Л3. В качестве примера рассмотрим конструкцию взлетной ступени лунного модуля корабля «Аполлон», представленную на рис. 1 [2].

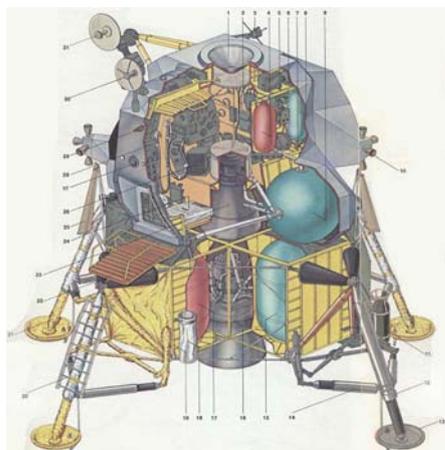


Рис. 1. Схема взлетной ступени лунного модуля корабля «Аполлон»

Объем гермокабины $6,7 \text{ м}^3$.

Рабочее давление $0,337 \text{ кг/см}^2$.

Состав атмосферы – кислород.

Экипаж – 2 человека.

Время работы – 3 суток.

Система жизнеобеспечения (СЖО)

включает:

- блок очистки и регенерации атмосферы;
- средства регулирования давления;
- систему терморегулирования;
- клапаны для заправки кислородом и водой автономной ранцевой системы жизнеобеспечения скафандров [2].

Преимуществом шлюзового отсека, совмещенного с кабиной лунного корабля, является минимизация размеров модуля, экономия массы, которую необходимо доставить на Луну. Но он имеет ряд недостатков. В частности, во время осуществления выхода воздействию глубокого вакуума подвергается вся аппаратура, расположенная в основном отсеке. Остающиеся в корабле члены экипажа должны работать при этом в наддутых скафандрах, что снижает эффективность их деятельности. Если люк после возвращения космонавтов закрыть невозможно, последующие действия осуществляются в негерметичном отсеке.

Второй вариант – шлюзовой отсек в составе взлетно-посадочного модуля, отделенный от кабины экипажа герметичным люком. Это позволило бы миними-

зировать недостатки первого варианта и повысить безопасность экипажа. Поэтому для будущих экспедиций на Луну целесообразно оснастить взлетно-посадочный лунный модуль шлюзовым отсеком. Примером такой конструкции выступает лунный посадочный модуль «Альтаир» из закрытой в 2010 году программы НАСА «Созвездие» [3].

Как и лунный посадочный модуль «Apollo», модуль «Альтаир» – двухступенчатый (рис. 2). В посадочной ступени планировалось расположить большую часть топлива, модули энергоснабжения, а также кислород для астронавтов. Взлетная ступень несла бы модуль для размещения астронавтов, модуль поддержки жизнеобеспечения и топливо, необходимое для взлета и управления.

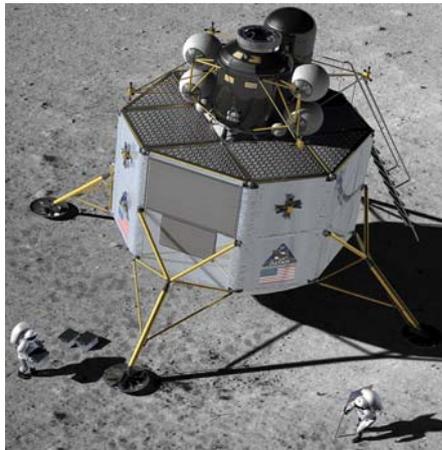


Рис. 2. Взлетно-посадочный модуль «Альтаир» со шлюзовым отсеком

Герметичный объем – $17,5 \text{ м}^3$ (отсек экипажа и шлюзовой отсек).

Экипаж – 4 человека.

Время работы – 7 суток.

Шлюзовой отсек имеет конструкцию, похожую на шлюз «Шаттла» и американского сегмента Международной космической станции (АС МКС).

Герметичный объем модуля «Альтаир» был рассчитан на размещение четырех астронавтов. «Альтаир» также планировали оснастить шлюзовым отсеком, похожим на шлюзы «Спейс Шаттл» и АС МКС. Он позволил бы астронавтам надевать и снимать скафандры без опасений пронести потенциально опасные лунные породы в главную кабину и сохранить внутреннее давление. Кроме

того, шлюз служил бы частью посадочного модуля «Альтаир», позволяя использовать его как компонент лунной базы [3].

Третий вариант – применение шлюзовой камеры, которая представляет собой специализированный стационарный отсек перспективной лунной базы. Этот вариант может быть востребован при необходимости регулярных выходов на поверхность Луны. Как пример подобного шлюзового отсека можно рассматривать гермоотсеки орбитальных станций, используемые как шлюзовые: переходной отсек станций «Салют-6», «Салют-7», шлюзовой специальный отсек модуля «Квант-2» станции «Мир», стыковочный отсек «Пирс» и переходной отсек модуля «Звезда» российского сегмента Международной космической станции (РС МКС), объединенный шлюзовой отсек «Квест» АС МКС. За счет уменьшения ограничений по габаритам и массе шлюзовой отсек лунной базы можно оборудовать отдельным местом для очистки от пыли, технической зоной для выполнения ремонтных и профилактических работ со скафандрами и резервным шлюзовым отсеком. Резервный шлюзовой отсек должен иметь все необходимые средства шлюзования и обеспечивать выполнение обратного шлюзования, если основной шлюз негерметичен. Так как основной шлюзовой отсек и резервный шлюзовой отсек вместе составляют логически и функционально связанную систему, назовем ее шлюзовым модулем и рассмотрим далее.

Расположение шлюзового модуля в конфигурации перспективной лунной базы должно исключать возможность прохода через него в другие жилые отсеки.

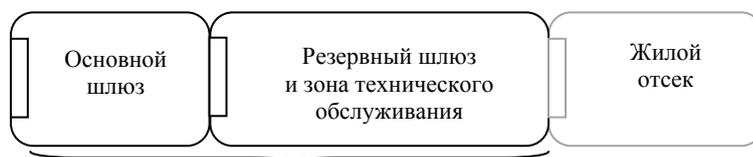


Рис. 3. Шлюзовой модуль

Между шлюзовым модулем и жилым отсеком должен быть герметичный люк, открываемый в сторону жилого отсека (рис. 3).

Основной шлюзовой отсек должен быть отделен от резервного герметичным люком, позволяющим пройти человеку в скафандре, направление открытия люка – в сторону резервного шлюза. По конструкции и составу оборудования основной шлюзовой отсек можно сделать похожим на шлюзовой отсек взлетно-посадочного модуля.

Рассмотрим вторую часть шлюзового модуля – резервный шлюзовой отсек с зоной технического обслуживания. Конструктивно – это отсек, больший по размеру, чем основной шлюз, так как в нем необходимо выделить место для постоянного хранения скафандров (не менее 3), их запасных и сменных элементов, инструментов для ремонта и обслуживания, инструментов внекорабельной деятельности (ВКД) и многое другое. Следовательно, его объем должен быть не менее $12,5\text{--}15\text{ м}^3$. Кроме зоны технического обслуживания в отсеке должны быть все необходимые средства шлюзования.

Четвертый вариант возможной организации шлюзового отсека – мобильный шлюзовой отсек на базе герметичной кабины лунохода.

Время автономной работы в скафандре ограничено, для продления времени работы за пределами лунной базы необходимо выполнять замену сменных (расходуемых) элементов, что можно сделать только после выхода из скафандра. Кроме того, после продолжительной работы в скафандре на поверхности Луны при существенном удалении от базы человеку требуется место и время для отдыха. В случае непредвиденных ситуаций, когда требуется срочно извлечь пострадавшего человека из скафандра и нет возможности быстро вернуться на базу, герметичная кабина лунохода должна служить для оказания неотложной помощи. Таким образом, можно сформулировать задачи, для которых необходим мобильный шлюзовой отсек на базе лунохода:

- расширение исследуемых территорий;
- проведение нескольких ВКД на удалении от базы;
- оказание помощи в аварийных ситуациях.

Примерами шлюзового отсека на базе лунохода можно считать проект пилотируемого лунохода (РКК «Энергия», 2005 г.) (рис. 4) [4] и многоцелевое исследовательское транспортное средство (The Space Exploration Vehicle – сокращенно SEV) [5], разрабатываемое НАСА для исследования околоземных объектов (астероидов) и поверхности планет, включая Марс и Луну.

Герметичный модуль лунохода обеспечивает размещение систем обеспечения жизнедеятельности экипажа, систем управления бортовой аппаратурой, навигационного комплекса, комплексов радиосвязи и телеметрии, элементов систем жизнеобеспечения, обеспечения теплового режима, противопожарного, ремонтно-восстановительного и другого оборудования. В состав модуля входят: пост управления, места отдыха и приема пищи, рабочие места, внешний манипулятор,

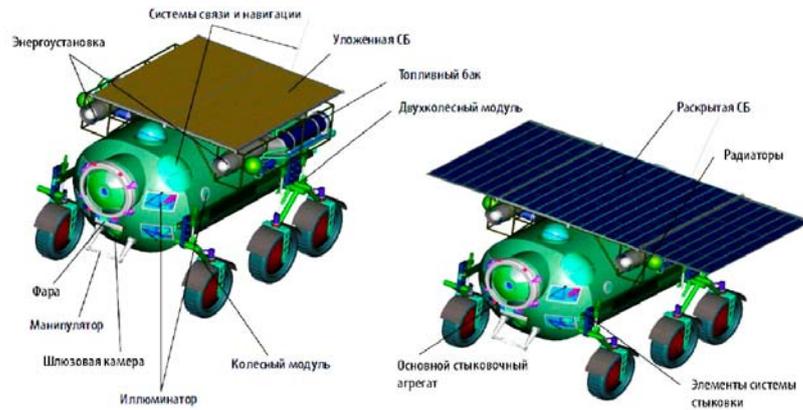


Рис. 4. Внешняя компоновка пилотируемого лунохода

стыковочный агрегат и автоматика системы стыковки, а также шлюзовой отсек, предназначенный для размещения скафандров, оборудования для шлюзования, оборудования и запасов расходных материалов для внекорабельной деятельности, научного и исследовательского оборудования.

Комплекс средств жизнеобеспечения лунохода должен обеспечивать жизнедеятельность экипажа из трех человек в течение 5 суток автономной работы [4].

Многоцелевое исследовательское транспортное средство (The Space Exploration Vehicle) проектируется специалистами НАСА, предполагается, что радиус действия нового лунохода будет достигать 200 км (рис. 5). Надежность автономного использования лунохода будет достигнута за счет парной эксплуатации транспортных средств: в случае нештатной ситуации или выхода из строя одного из них, его экипаж будет эвакуирован исправным луноходом.



Рис. 5. Внешний вид многоцелевого исследовательского транспортного средства (The Space Exploration Vehicle)

Система жизнеобеспечения позволяет транспортному средству автономность до 14 дней с экипажем из двух человек [5].

В проекте многоцелевого исследовательского транспортного средства была реализована схема герметичного присоединения скафандра к обитаемому отсеку (рис. 6) [5].

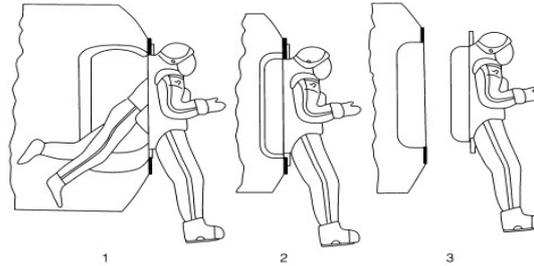


Рис. 6. Схема присоединения скафандра к обитаемому отсеку

Эта мера избавит герметичный отсек от загрязнений лунной пылью, а также позволит избежать потерь воздуха на шлюзование. Кроме того, среди достоинств подобной схемы немаловажным является экономия полезного объема герметичного отсека из-за отсутствия шлюзового отсека. Специальный экран обеспечивает скафандрам защиту от вредного воздействия условий лунной поверхности.

Недостатком схемы герметичного присоединения скафандра к обитаемому отсеку является сложность сервисного обслуживания систем скафандра.

Многоцелевое исследовательское транспортное средство оснащено универсальным стыковочным узлом, который позволяет ему стыковаться с герметичными отсеками лунной базы, а также с другими подобными устройствами [5].

Альтернативным вариантом мобильного шлюзового отсека может быть автономный надувной модуль с системой жизнеобеспечения, разворачиваемый в любом месте для устройства временного лагеря на поверхности Луны. Такой модуль в сложенном состоянии занимает немного места и может входить в комплект лунохода, и при необходимости экипаж сможет переночевать на удалении от основной базы, что увеличивает радиус перемещения до 20 км. Такая система предложена коллективом ученых из Массачусетского технологического института и Университета Брауна [6].

В общем виде система включает (рис. 7): надувной модуль (1), систему жизнеобеспечения, расположенную на луноходе (2), солнцезащитный экран (3) и блок солнечных батарей (4).

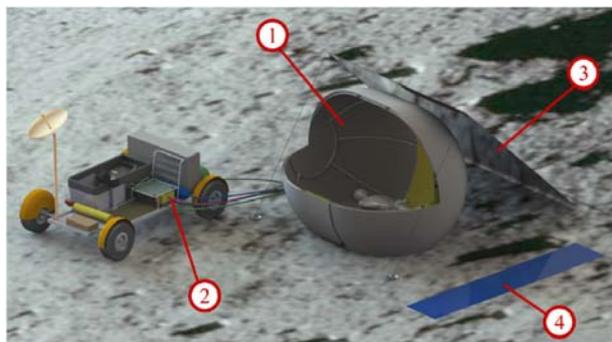


Рис. 7. Общий вид автономного надувного модуля

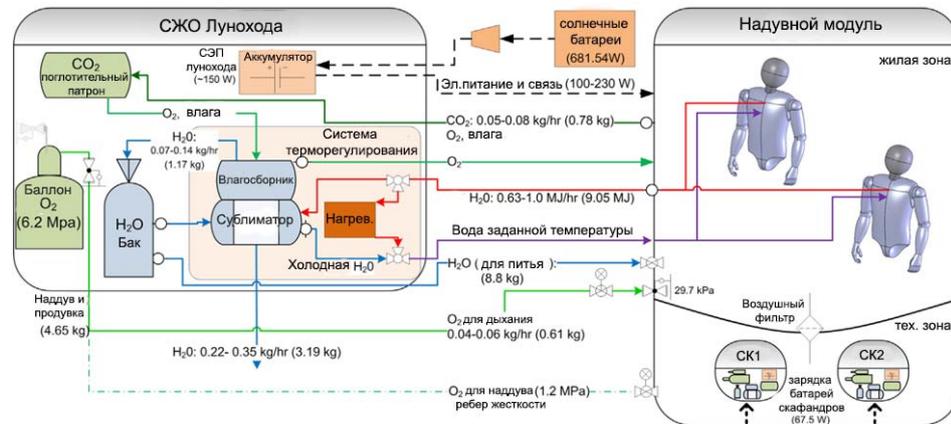


Рис. 8. Схема СЖО автономного надувного модуля

Система жизнеобеспечения поддерживает атмосферу внутри модуля и включает в себя (рис. 8): запас кислорода для дыхания, поглотительный патрон для очистки атмосферы от углекислого газа, влагосборник для отбора лишней влаги, запас воды для сублиматора, для питья и гигиенических нужд, а также активную систему терморегулирования, подключаемую к костюмам водяного охлаждения (на астронавтах). Солнечные батареи являются источником электропитания на время нахождения астронавтов в модуле и используются для зарядки батарей ровера.

Авторы проекта предполагают следующую последовательность действий при установке временного лагеря:

1. Астронавты раскладывают на поверхности Луны мягкий автономный модуль, после чего надувают ребра жесткости.
2. Далее устанавливается солнцезащитный экран и солнечные батареи, каркас палатки подключается к системе жизнеобеспечения (регуляция кислорода, углекислого газа и воды).
3. Астронавты заходят внутрь модуля, накачивают воздух до комфортного давления, после чего снимают скафандры и при помощи специальной мембраны делят помещение палатки на две части. В «технической зоне» остаются скафандры, а в «жилой зоне» оказывается достаточно места для того, чтобы два человека могли отдыхать [6].

Заключение

1. Проведен анализ шлюзовых отсеков, которые могут быть применены при выполнении лунных экспедиций. Рассмотрены особенности конструкций, достоинства и недостатки пяти вариантов шлюзовых отсеков.
2. Различия в конструкции шлюзовых отсеков определяются условиями применения и задачами, поставленными перед каждым конкретным техническим средством, которые оборудуются шлюзовым отсеком.
3. Имеющийся опыт разработки шлюзовых отсеков, наличие разнообразных проектов и практических наработок позволяют обеспечить реализацию различных вариантов шлюзового отсека для выхода на лунную поверхность.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Скафандры и системы для работы в открытом космосе / И.П. Абрамов, Г.И. Северин, А.Ю. Стоклицкий и др. – М.: Машиностроение, 1984.
- [2] Мировая пилотируемая космонавтика. История. Техника. Люди / И.Б. Афанасьев, Ю.М. Батурина, А.Г. Белозерский и др.; под ред. Ю.М. Батурина. – М.: РТСофт, 2005.
- [3] Constellation Program: America's Spacecraft for a New Generation of Explorers the Altair Lunar Lander [Электронный ресурс]. URL: http://www.nasa.gov/pdf/289914main_fs_altair_lunar_lander.pdf
- [4] Луноходы и другие вспомогательные средства лунной инфраструктуры. [Электронный ресурс]. URL: <http://unnatural.ru/mw12>.
- [5] Space Exploration Vehicle Concept [Электронный ресурс]. URL: http://www.nasa.gov/pdf/464826main_SEV_Concept_FactSheet.pdf.
- [6] An Overnight Habitat for Expanding Lunar Surface Exploration [Электронный ресурс] URL:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576515001125#>.

УДК 629.78.047.048

**ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И ОЧИСТКИ АТМОСФЕРЫ
ОБИТАЕМЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
ОТ МИКРОПРИМЕСЕЙ**

Э.А. Курмазенко, Д.Г. Громов, А.Е. Коробков,
А.А. Кочетков, А.С. Цыганков, Д.В. Козлов, П.А. Калинько,
О.В. Кирюшин, О.Д. Пушкарь

Докт. техн. наук, профессор Э.А. Курмазенко; Д.Г. Громов; А.А. Кочетков;
А.С. Цыганков (АО «НИИхиммаш»)
А.Е. Коробков (АО «ММЗ «Знамя»)
Докт. хим. наук, профессор РАН Д.В. Козлов; канд. хим. наук П.А. Калинько
(ИК СО РАН)
О.В. Кирюшин; канд. техн. наук О.Д. Пушкарь (ФГУП «ЦНИИмаш»)

Рассмотрены вопросы создания перспективной системы обеззараживания и очистки атмосферы от микропримесей обитаемых модулей межпланетного космического аппарата. В основе действия системы лежит принцип фотокаталитического окисления органических соединений до диоксида углерода, паров воды и минеральных кислот.

Ключевые слова: экипаж, микропримеси, многокомпонентная адсорбция, фотокатализ, катализатор, селективность катализатора, обеззараживание, ионный состав, источник УФ-излучения, облик системы.

**Photocatalytic System for Decontamination and Purification of Atmosphere
of Manned Spacecraft Modules. E.A. Kurmazenko, D.G. Gromov,
A.E. Korobkov, A.A. Kochetkov, A.S. Tsygankov, D.V. Kozlov,
P.A. Kalinko, O.V. Kiruyshin, O.D. Pushkar**

The paper discusses several aspects of creating an advanced photocatalytic system for decontamination and purification of atmosphere from trace contaminants in the manned interplanetary spacecraft modules. The system is based upon the principle of photocatalytic oxidation of organic compounds to carbon dioxide, water vapor and mineral acids.

Keywords: crew, trace elements, multicomponent adsorption, photocatalysis, catalyst, catalytic selectivity, decontamination, ion composition, source of UV radiation, system appearance.

Введение

Интегрированная система жизнеобеспечения (ИСЖО) как абиотическая часть искусственной экосистемы межпланетного космического аппарата, предназначенной для осуществления длительных космических миссий к планетам Солнечной системы, и отдельные входящие в нее системы должны соответствовать определенным медико-технологическим и техническим требованиям с учетом действующих ограничений [1, 2]:

○ Энергетические, определяемые энергопотреблением ИСЖО при доступной мощности системы энергообеспечения, которая может изменяться в зависимости от программы и условий межпланетного полета, а также возможностями отвода выделяемой теплоты из обитаемого модуля на определенном температурном уровне, зависящими от типа системы терморегулирования и объема модуля.

○ Объемные, определяющие возможности инсталляции систем ИСЖО и размещения необходимого ЗИПа.

○ Массовые, определяющие возможности инсталляции систем и необходимого ЗИПа.

○ Ресурсные, определяющие возможность безотказного функционирования в течение полета (с учетом 50 % запаса) при минимальном количестве ЗИПа.

○ По скорости передачи информации, определяющие переход к эксплуатации систем в условиях автономного полета и требованиями к структуре и программному обеспечению блоков автоматического управления по контролю технического состояния и идентификации нештатных ситуаций.

С учетом данных ограничений особое значение приобретает конструкторско-экспериментальная отработка ключевых технологий для перспективных ИСЖО, к числу которых относится технология обеззараживания и очистки атмосферы обитаемых отсеков от микропримесей.

1. Источники и стоки микропримесей

Источники микропримесей. Динамика микропримесей (МП) в атмосфере обитаемых модулей описывается следующими нелинейными уравнениями материального баланса [3]:

$$M_{\text{МП}}(\tau) = \sum_{i=1}^n M_i(\tau); \quad (1)$$

$$M_{\text{МП}}(\tau + \Delta\tau) = M_{\text{МП}}(\tau) + [\sum_{j=1}^p \dot{M}_{ji}(\tau) - \sum_{k=1}^p \dot{M}_{ki}(\tau)]\Delta\tau, \quad (2)$$

где $M_{\text{МП}}(\tau)$ – масса МП в обитаемом модуле в момент времени τ ; $M_i(\tau)$, $\dot{M}_{ji}(\tau)$, $\dot{M}_{ki}(\tau)$ – текущие значения массы, интенсивностей выделения источника j -го и k -го стока i -й микропримеси, соответственно; $\Delta\tau$ – длительность рассматриваемого промежутка времени. При этом текущее значение объемной концентрации i -й микропримеси $C_i(\tau)$ в объеме $V_{\text{ОМ}}$ обитаемого модуля может быть определено как

$$C_i(\tau) = \frac{M_i(\tau)}{V_{\text{ОМ}}}. \quad (3)$$

Приведенные уравнения действуют при следующих допущениях:

○ Атмосфера обитаемого модуля на рассматриваемом промежутке времени описывается моделью «идеального смешения» с постоянными значениями температуры и давления.

○ Отдельные микропримеси не взаимодействуют друг с другом и не образуют новые химические соединения.

○ Интенсивность межмодульной вентиляции определяет перенос примесей между отдельными модулями.

Продукты метаболического обмена экипажа являются одним из основных источников микропримесей в обитаемых модулях. Интенсивность их выделения определяется антропометрическими данными членов экипажа, циклограммой и видами выполняемых работ, рационом питания и температурой окружающей среды [4].

В первом приближении интенсивность выделения i -й микропримеси может быть определена из зависимости, полученной на основе обработки экспериментальных данных:

$$(\dot{M}_{ji})^{j=1}(\tau) = A_{1i}[A_{2i,T=293} + A_{3i}(T(\tau) - 293)], \quad (4)$$

где A_{1i} , $A_{2i,T=293}$, A_{3i} – коэффициенты регрессионной зависимости, полученной на основе обработки экспериментальных данных работы [5].

Соизмеримым с интенсивностью данного источника являются выделения микропримесей конструкционными неметаллическими материалами (КНММ). Интенсивность данного источника $(\dot{M}_{ji})^{j=2}(\tau)$ в общем случае зависит от длительности полета, массы КНММ, равновесной и текущей концентрации i -й микропримеси в обитаемом модуле, температуры и может быть, в первом приближении, определена из эмпирической зависимости вида

$$(\dot{M}_{ji})^{j=2}(\tau) = A_1 k_\tau [k_t H_s - B_1 C_i(\tau)] V_{0M}, \quad (5)$$

где A_1, B_1 – эмпирические коэффициенты; k_0 – корректирующий коэффициент, учитывающий дегазацию КНММ при стандартных условиях; k_τ – временной коэффициент, учитывающий время наступления равновесной концентрации; k_t – температурный коэффициент, учитывающий значение равновесной концентрации; H_s – интенсивность дегазации s - КНММ.

Значения $(\dot{M}_{ji})^{j=2}(\tau)$ могут быть приняты постоянными после 90 суток пребывания s - КНММ в условиях полета.

Дополнительными источниками микропримесей являются:

○ оксиды азота, выделяемые при деструкции гидразина, и следы гидразина, вносимые в атмосферу при проведении выходов в космос;

○ атмосфера транспортных грузовых и предназначенных для доставки кораблей;

○ микропримеси, выделяемые при возникновении нештатных ситуаций.

В условиях полета контроль содержания вредных микропримесей в атмосфере обитаемых модулей проводится по концентрациям химических соединений, приведенных в таблице*.

Стоки микропримесей. Удаление микропримесей из атмосферы обитаемых модулей в условиях околоземных орбитальных полетов осуществляется посредством применения адсорбционно-каталитических технологий. Примерами данных систем являются СБМП российского сегмента МКС и ТССС американского сегмента МКС.

* В соответствии с ГОСТ Р 5080495 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования».

Таблица

Свойства микропримесей, контролируемых в условиях космического полета

Химическое соединение	Группа соединений	ПДК мг/м ³	Растворимость в воде, %
Аммиак	Смешанные соединения	1,0	практически полностью
Ацетальдегид	Альдегиды	1,0	не растворим
Бензол	Ароматические углеводороды	0,2	0,073 % при t = 20 °С
Бутанол	Спирты	0,8	9,0 % при t = 20 °С
Изопропилбензол	Спирты	0,25	менее 0,01 % при t = 20 °С
Метанол	Спирты	0,2	практически полностью
Толуол	Ароматические углеводороды	0,8	6,7 % при t = 25 °С
Оксид углерода	Смешанные соединения	5,0	практически не растворим
Ацетон	Кетоны	0,1	практически полностью
Формальдегид	Альдегиды	0,05	хорошо растворим
Этанол	Спирты	10,0	практически полностью
Этилацетат	Сложные эфиры	4,0	12 % при t = 25 °С

Адсорбция отдельных микропримесей из многокомпонентной газовой смеси описывается уравнением [6]:

$$\frac{a_i}{a_i^*} = \frac{K_i p_i}{\left[\left(\frac{1-p_i/p_i^*}{p_i^*} \right)^2 \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i p_i}{\left(\frac{1-p_i/p_i^*}{p_i^*} \right)} \right) \right] \right]} \quad (6)$$

где a_i – текущее значение адсорбции i -й примеси; a_i^* – предельное значение адсорбции i -й примеси; K_i – константа Генри; p_i, p_i^* – парциальное давление на входе и парциальное давление при формировании объемной конденсации i -й примеси из смеси.

Из зависимости (6) следует, что в первую очередь адсорбируются микропримеси, характеризующиеся большим значением парциального давления (объемной концентрации) на входе.

Текущие значения удаляемых микропримесей регенерируемыми и нерегенерируемыми адсорбционными фильтрами описываются следующей зависимостью:

$$(\dot{M}_i)^{ад,к}(\tau) = \eta_i C_i(\tau) \dot{V}_{ад,к} \frac{a_i(\tau)}{a_i^*}, \quad (7)$$

а фильтры каталитического окисления выражением

$$(\dot{M}_i)^{\text{кф},j}(\tau) = \eta_i C_i(\tau) \dot{V}_{\text{кф},j}. \quad (8)$$

В зависимостях (7) и (8) $(\dot{M}_i)^{\text{ад},k}, (\dot{M}_i)^{\text{кф},j}$ – интенсивности поглощения и каталитического окисления i -й микропримеси, соответственно; $\dot{V}_{\text{ад},k}, \dot{V}_{\text{кф},j}$ – значения объемных расходов газовой среды, пропускаемых через адсорбционный или каталитический фильтры; η_i – эффективность удаления i -й микропримеси.

Недостатками адсорбционно-каталитических технологий являются [7, 8]:

- неполная очистка атмосферы обитаемых модулей от легких углеводородов и части галогенсодержащих микропримесей, достигающая $\approx 50\%$;
- дополнительные затраты электроэнергии на регенерацию адсорбционных фильтров;
- возможность отравления катализатора;
- низкие значения объемных расходов газовой смеси через систему очистки;
- отсутствие обеззараживания атмосферы от микрофлоры.

Применение плазмохимического реактора, вырабатывающего озон, приведенное в работе [7], предусматривает использование электрического разряда для образования низкотемпературной плазмы, который может привести к дополнительному осаждению пыли внутри аппарата, а выработанный озон на поверхности низкотемпературного катализатора преобразуется в двухатомный кислород.

Другим стоком микропримесей является любая адсорбционная система, предназначенная для удаления и концентрирования диоксида углерода. При этом данные системы, основанные на использовании силикагелей в качестве осушителей входящего потока газовой среды, хемосорбентов и цеолитов для поглощения диоксида углерода, удаляют такие химические соединения как меркаптаны, углеводороды, фреоны и хлороформ. Интенсивность удаления i -й микропримеси этими системами определяется как

$$(\dot{M}_i)^{\text{СКДУ},j}(\tau) = \eta_i C_i(\tau) \left(\dot{V}_{\text{СКДУ},j}(\tau) \frac{a_i(\tau)}{a_i^*} \pm \dot{V}_{\text{сб},j}(\tau) \right), \quad (9)$$

где $(\dot{M}_i)^{\text{СКДУ},j}$ – интенсивность удаления j -й системой i -микропримеси; $\dot{V}_{\text{СКДУ},j}, \dot{V}_{\text{сб},j}(\tau)$ – объемные расходы потоков газовой среды на входе в систему и сбрасываемого в атмосферу или в вакуум на стадии десорбции адсорбента.

Вследствие растворимости ряда микропримесей в воде конденсат атмосферной влаги является стоком для этих микропримесей. При регулировании температурно-влажностного режима системой кондиционирования газовой среды (СКГС) интенсивность удаления i -й микропримеси $(\dot{M}_i)^{\text{СКГС}}$ определяется как

$$(\dot{M}_i)^{\text{СКГС}} = \frac{M_{\mu i}}{RT} K_i^{\text{раст.}} \frac{a_{\text{гс}}}{\rho_{\text{вп}}} (\dot{V}_{\text{гс}})^{\text{СКГС}}, \quad (10)$$

где $a_{\text{гс}}$ – абсолютная влажность потока газовой среды на входе в СКГС; $K_i^{\text{раст.}}$ – растворимость i -й микропримеси в воде; $M_{\mu i}$ – молекулярная масса i -й микро-

примеси; R – универсальная газовая постоянная; $\rho_{\text{вп}}$ – плотность водяного пара; T – температура; $(\dot{V}_{\text{гс}})^{\text{СКГС}}$ – объемный расход потока газовой среды через СКГС.

Дополнительными стоками вредных микропримесей являются: атмосферы состыкованных транспортных кораблей и частичная смена атмосферы при проведении выходов в космос.

С учетом СКГС вышеизложенного одной из критических технологий для осуществления длительных автономных полетов является технология обеззараживания и очистки атмосферы от микропримесей.

Наибольший интерес для длительных автономных полетов представляет технология на основе фотокатализа, которая реализуется практически при комнатных температурах при низких концентрациях, включая удаление запахов, аллергенов и бактерий [9].

2. Механизм фотокатализа

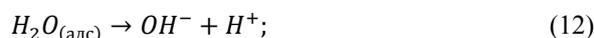
Механизм действия фотокатализатора, отражающий общепринятые на настоящий момент представления, приведен на рис. 1.

В качестве фотокатализатора используют TiO_2 , являющегося полупроводниковым соединением.

Фотокатализ – изменение скорости химической реакции или ее инициирование под действием ультрафиолетового, видимого или инфракрасного излучения в присутствии вещества – фотокатализатора, которое поглощает свет и вступает в химические превращения с участниками реакции [10].

Фотогенерированные электрон и дырка, образовавшиеся в результате поглощения квантов УФ-излучения с длиной волны $< 400 \text{ нм}$, диффундируют к поверхности и принимают участие в окислительно-восстановительных реакциях с адсорбированными веществами.

В качестве окислителя выступают соединения кислорода на поверхности катализатора, а в качестве восстановителя – вода или адсорбированные OH -группы. В результате протекают следующие химические реакции [11]:



Поверхность катализатора остается электронейтральной, поэтому все реакции (11)–(15) протекают одновременно с образованием высокорекреационно-

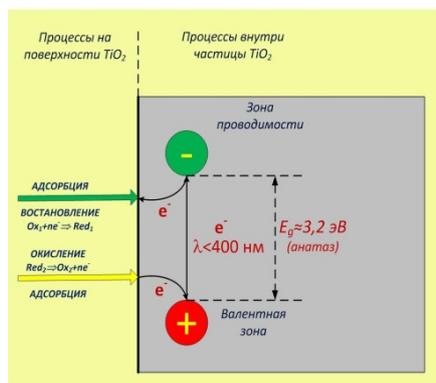
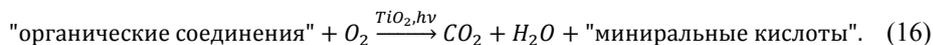


Рис. 1. Принцип действия полупроводникового фотокатализатора на основе TiO_2

собных OH^* -радикалов, способных неселективно окислять практически любые адсорбированные на поверхности органические соединения:



3. Технологическая структура фотокаталитического воздухоочистителя

Один из возможных вариантов технологической структуры перспективной системы обеззараживания и очистки атмосферы от микропримесей приведен на рис. 2.

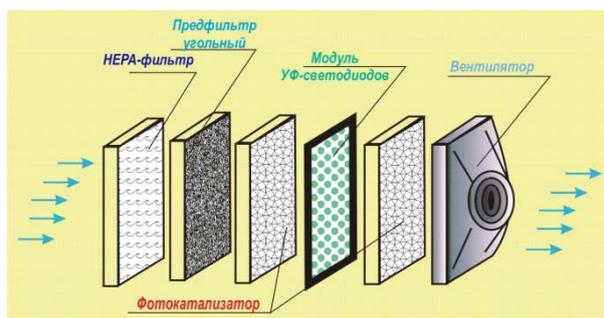


Рис. 2. Технологическая структура моноблока фотокаталитического воздухоочистителя

Выполненная в виде моноблока технологическая структура включает:

- НЕРА-фильтр, предназначенный для тонкой очистки потока газовой среды, поступающей из обитаемого модуля, от пыли;
- предфильтр угольный, предназначенный для выравнивания концентраций;
- панели фотокатализатора;
- модуль УФ-светодиодов, обеспечивающий двухстороннее облучение;
- вентилятор.

Данная технологическая структура наиболее полно отражает преимущества фотокаталитических систем обеззараживания и очистки атмосферы от микропримесей:

- способность проводить процессы фотокаталитического окисления при комнатной температуре, атмосферном давлении и относительной влажности до 90 %;
 - способность неселективно окислять практически любые органические соединения, включая запахи, до неорганических продуктов, а именно CO_2 , H_2O и минеральных кислот [11, 12];
 - способность проводить обеззараживание атмосферы за счет фотокаталитического разрушения микроорганизмов на поверхности фотокатализатора;
 - отсутствие заменяемых частей, поскольку фотокатализатор в процессе работы самостоятельно поддерживает оптимальное состояние поверхности и не накапливает продукты разложения.
 - высокие значения объемных расходов газовой смеси через систему очистки.
- К недостаткам данной технологии можно отнести:
- невысокие скорости очистки, впрочем, достаточные для применения с целью очистки воздуха в помещениях;
 - низкую активность в окислении CO и некоторых других газов.

При применении в качестве источника УФ-излучения светодиодов с длиной волны 360–385 нм вместо традиционной ультрафиолетовой лампы увеличивается ресурс работы системы до 50 000 часов (до 5–6 лет) и снижается потребляемая мощность.

4. Предварительные экспериментальные исследования

Фотокатализатор. Основным элементом данной системы является панель фотокатализатора. Применяемый катализатор должен соответствовать определенным техническим характеристикам, к которым относятся:

- кинетические параметры, определяющие фотокаталитическую активность TiO_2 в реакциях фотоокисления паров тестовых органических соединений и CO в зависимости от состава фотокатализатора, входной концентрации микропримесей и интенсивности УФ-излучения;

- ресурсные параметры, определяющие стабильность работы в течение длительного промежутка времени, в том числе к многокомпонентному составу микропримесей;

- механические параметры, определяющие стабильность работы фотокатализатора в условиях вибрационных воздействий;

- медико-биологические испытания, определяющие эффективность обеззараживания атмосферы в обитаемом модуле.

В качестве фотокатализатора использован опытный катализатор, разработанный и изготовленный Институтом катализа Сибирского отделения РАН (ИК СО РАН), обладающий большей активностью по сравнению с коммерческими образцами фотокатализатора (рис. 3). В качестве носителя в данном катализаторе применен композиционный материал, состоящий из армирующей стеклосетки, на поверхности которой сформирован адсорбционный слой из оксида алюминия для последующего нанесения фотокаталитически активного диоксида титана методом пропитки по влагоемкости [16, 17]. Окончательная активация катализатора осуществлялась нанесением на диоксид титана 0,5 %_{мас.} Pt с последующей обработкой серной кислотой. Приведенный способ синтеза позволил получить фотокатализатор, обладающий высокой активностью как в реакциях окисления паров органических соединений, так и окисления примесей типа CO.

Испытания опытных образцов катализатора проведены на установке ИСОФА проточного типа, предназначенной для измерения стационарных параметров окисления паров органических соединений (рис. 4) с использованием ИК-спектрометра фирмы «Симекс» в Институте катализа СО РАН.

При проведении эксперимента выбраны следующие условия:

- начальные концентрации микропримесей 5 ПДК;
- окисление производится до концентраций микропримесей 0,5 ПДК;
- в качестве источника УФ-излучения применен светодиод RC45L6-UBW-AR с длиной волны 370 ± 5 нм;
- оценивалось время окисления введенных микропримесей и химический состав продуктов реакции окисления.



Рис. 3. Общий вид панели фотокатализатора

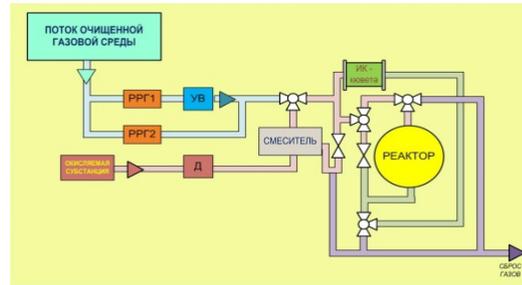


Рис. 4. Схема установки ИСОФА проточного типа

Результаты испытаний показали, что фотокатализатор ИК СО РАН проявляет фотокаталитическую активность в реакции окисления паров ацетона, гексана и СО (рис. 5) под действием УФ-света. Анализ газовой фазы реактора методом ИК-спектроскопии показал, что продуктами окисления паров ацетона, гексана на фотокатализаторе являются только CO_2 и H_2O . Микропримесей СО и других продуктов неполного окисления в концентрациях (более 1 млн д.) не обнаружено. В ходе окисления СО единственным продуктом окисления был CO_2 .

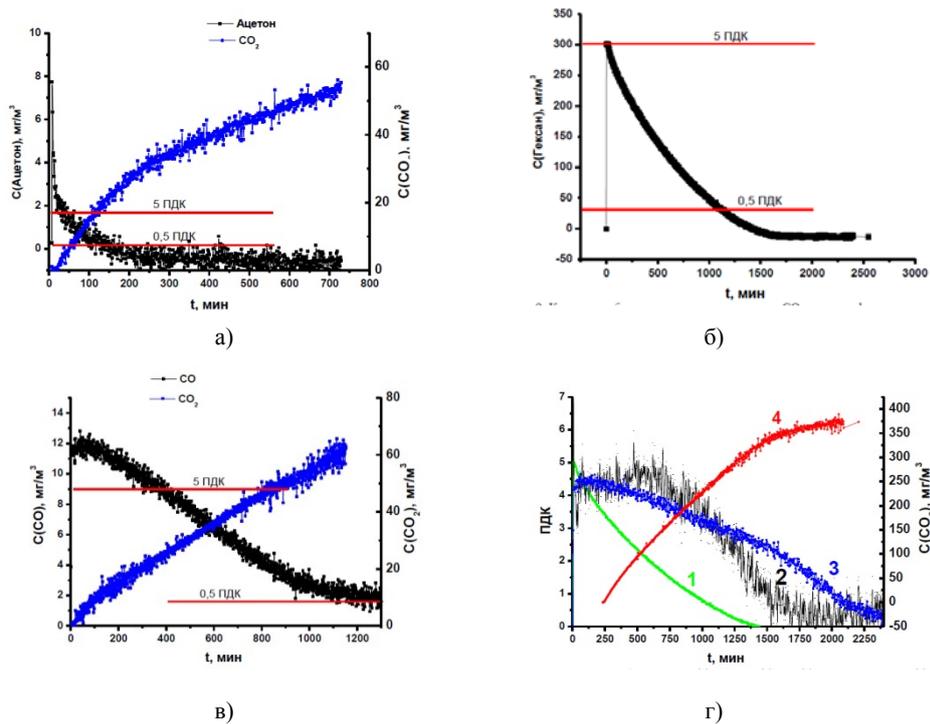


Рис. 5. Кинетика фотоокисления микропримесей в статическом реакторе объемом 4,04 л при освещенности УФ-светодиодом RC45L6-UBM-AR – 360–370 нм в условиях раздельной (ацетоном – а), гексаном – б), СО – в) и комбинированной загазованности – г) (скорость изменения концентрации гексана – 1, ацетона – 2, СО – 3)

Для ацетона время падения концентрации с 5 ПДК до 0,5 ПДК составляет порядка двух часов.

Для гексана падение до 0,5 ПДК составляет порядка 18,5 часа, что связано с большим значением $\text{ПДК}_{\text{гексан}} = 60 \text{ мг/м}^3$ и требует значительного времени для окисления такого количества вещества.

Для СО это время еще больше и составляет 20 часов.

Таким образом, для увеличения скорости окисления гексана и СО необходимо использовать две пластины фотокатализатора ИК СО РАН, что приведет к уменьшению в два раза времени падения концентрации микропримеси до требуемого уровня.

При совместном присутствии ацетона, гексана и СО в статическом реакторе наиболее интенсивно удаляется гексан.

Для ацетона характерно время индукции, связанное с его десорбцией за счет высокой концентрации гексана, вызывающей рекомбинацию ионов. Когда концентрация гексана падает, наблюдается увеличение скорости окисления ацетона, а затем и СО. В конечном итоге концентрация всех микропримесей падает до требуемого значения 0,5 ПДК.

Испытания макета бортового фотокаталитического воздухоочистителя (БФВ). Разработанная конструкция БФВ приведена на рис. 6.

При работе БФВ поток газовой среды поступает в очиститель через НЕРА-фильтр, в котором очищается от пыли и частиц крупнее 0,3 мкм. Степень очистки такого фильтра составляет 99,97 %. После этого газовая среда проходит очистку от аллергенов, микроорганизмов и микропримесей на 2-ступенчатом фотокаталитическом фильтре под воздействием УФ-излучения, продуцируемого светодиодами. Затем воздух проходит через угольный фильтр, удаляющий свободные радикалы, и выбрасывается обратно в очищаемый объем. Для запуска и регулирования режимов функционирования макетный образец БФВ снабжен пультом управления.

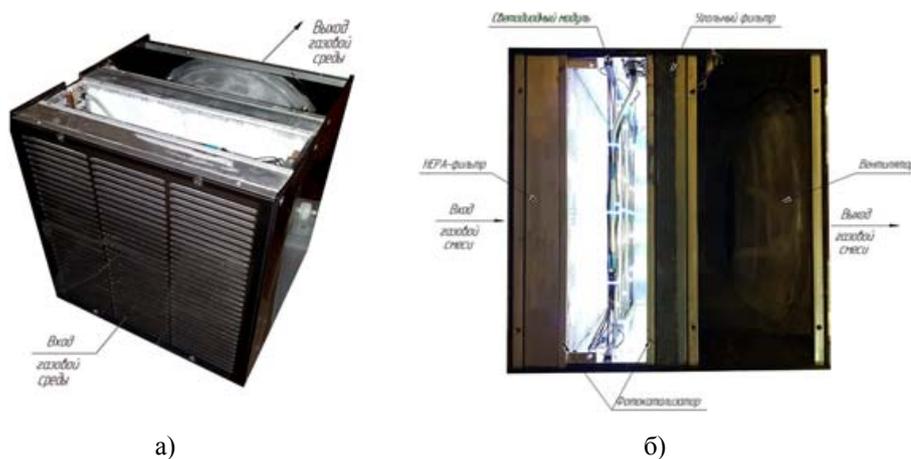


Рис. 6. Общий вид макетного образца бортового фотокаталитического воздухоочистителя: а) вид сбоку; б) вид сверху. Верхняя крышка снята

Макетный образец поддерживает регулировку следующих параметров определяющих режимы функционирования:

- независимое включение и изменение мощности светодиодов (отдельно для каждой панели фотокатализатора);

- изменение расхода газовой среды, прокачиваемого вентилятором в диапазоне от 0 до 250 м³/ч,

и имеет следующие технические характеристики:

- масса 6 кг;

- максимальное энергопотребление 120 Вт;

- габариты 350 x 350 x 330.

Испытания макетного образца фотокаталитической системы очистки и обеззараживания газовой среды от микропримесей проведены на экспериментальной базе Государственного научного центра РФ – Института медико-биологических проблем.

Целью экспериментальных исследований являлось определение параметров функционирования БФВ в «стрессовых» условиях (при высоких значениях концентраций микропримесей).

Учитывая, что в газовой среде обитаемых модулей содержится *n* органических соединений с различными концентрациями при использовании применяемых в настоящее время технологий на основе адсорбционно-каталитических процессов, характеризующихся различными значениями динамической активности и избирательностью к адсорбции, испытания проводились на 5 микропримесях, принадлежащих различным группам органических соединений: этаноле (группа спиртов, ПДК = 10 мг/м³); ацетоне (группа алифатических кетонов, ПДК = 1 мг/м³); n-гексане (группа углеводородов, ПДК = 10 мг/м³); толуоле (группа ароматических углеводородов, ПДК = 8 мг/м³) и ацетальдегиде (группа альдегидов, ПДК = 1 мг/м³).

Результаты испытаний, полученные в экспериментальном модуле объемом 50 м³, приведены на рис. 7.

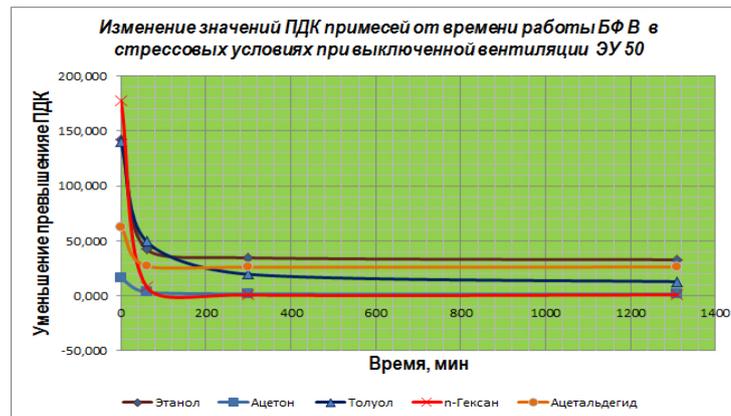


Рис. 7. Результаты испытаний БФВ в стрессовых условиях при начальных концентрациях микропримесей: этанол 149 мг/м³ (14,9 ПДК); ацетон 16,1 мг/м³ (16,1 ПДК); толуол 140,2 мг/м³ (ПДК 17,7); n-гексан 177,4 мг/м³ (17,7 ПДК); ацетальдегид 62,4 мг/м³ (62,4 ПДК)

В экспериментальном модуле поддерживались значения температуры 22 ± 2 °С и относительная влажность 39 %. При работе в данных условиях температура на выходе макетного образца БФВ равна 23,5 °С, на модуле УФ-излучения – 56 °С, скорость газового потока в аппарате – 0,6 м/с, а на выходе аппарата – 0,3 м/с.

5. Выводы

1. Показано на основе предварительно проведенных экспериментальных исследований, что:

○ предлагаемая система обеззараживания и очистки атмосферы от микропримесей обладает существенными преимуществами перед применяемой системой в российском сегменте МКС по массогабаритным и энергетическим характеристикам;

○ экспериментальные исследования свойств катализатора и результаты испытаний макетного образца БФВ должны проводиться при смешанном воздействии органических соединений;

○ фотокатализатор ИК СО РАН обеспечивает полное окисление микропримесей типа гексан, ацетон и СО при их комбинированном воздействии при температуре и влажности окружающей среды, соответствующим их значениям в обитаемом модуле, без образования дополнительных органических соединений при начальных значениях концентраций ≥ 5 ПДК до конечных значений $\leq 0,5$ ПДК.

2. Разработаны два «облика» структуры системы, предназначенных для автономной работы и в качестве панельной насадки, устанавливаемой на входе отдельной системы обеспечения газового состава, например, системы кондиционирования воздуха.

3. Сформулированы основные задачи, требующие решения на последующих этапах создания перспективной системы обеззараживания и очистки атмосферы от микропримесей на основе их фотокаталитического окисления, включающие:

○ микробиологические, определяющие эффективность обеззараживания атмосферы, механические, характеризующие стабильность работы при вибрационных нагрузках и ресурсные испытания фотокатализатора;

○ окончательная экспериментальная отработка системы должна проводиться на максимально возможном числе микропримесей, контролируемых в условиях полета, в статических и динамических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kurmazenko E.A., Gavrilov L., Kochetkov A., Khabarovskiy N. Space Ecological / Engineering System for the Manned Interplanetary Vehicle Crew: Status and Key Technologies for Its Development // Proceedings of 60th International Astronautical Congress 2009, IAC 2009, Daejeon, 2009, pp 307–318.
- [2] Космические эколого-технические системы: статус и направления развития интегрированных систем жизнеобеспечения экипажей межпланетных космических аппаратов / Курмазенко Э.А., Бобе Л.С., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Прошкин В.Ю., Хабаровский Н.Н. // Инженерная экология. – 2014. – № 2 (116). – С. 2–26.
- [3] Kurmazenko E.A., Samsonov N.M., Gavrilov L.I., Farafonov N.S., Dokunin I.V., Pavlova T.N., Shumyatsky J.I. Trace Contaminant Dynamics Simulation Model for TCRS Design Concept // SAE Technical Papers, 2005, № 1, 12 p.
- [4] Kurmazenko E.A., Dokunin I.V., Fomichev A.A., Saloshenko N.V., Matjuchev T.V. A Complex Simulation Model of Human Organisms a Link of the Space Vehicle Ecological and Technical System. // SAE Technical Paper Series, 1995, № 951531, 12 p.

- [5] Савина В.П., Кузнецова Т.И. Источники микропримесей и их токсикологическая оценка // Космическая биология. – Т. 42. – 1980. – 286 с.
- [6] Зуев А.В., Твардовский А.В. К теории многокомпонентной адсорбции и абсорбции // Теоретическая физика и астрофизика // Вестник Тверского государственного университета, Серия «Физика». – 2009. – Вып. 6. – С. 34–42.
- [7] Патент RU 2094098 Российская Федерация, МПК В01D53/74. Устройство для очистки воздуха от вредных микропримесей в герметично замкнутом помещении и способ для очистки воздуха от вредных микропримесей в герметично замкнутом помещении / Григорьев А.И., Синяк Ю.Е., Злотопольский В.М.; патентообладатель ГНЦ РФ–ИМБП.
- [8] Ammann K. Development of the Catalytic Oxidizer Technology // SAE Technical Paper Series, 1989, № 891533, 8 p.
- [9] Gaya U.I., Abdullah A.H. Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants Over Titanium Dioxide: A Review of Fundamentals, Progress and Problems, J. Photochem. Photobiol. C, 2008, 9, 1–12.
- [10] Braslavsky S.E., Braun A.M., Cassano A.E., Emeline A.V., Litter M.I., Palmisano L., Parmon V.N., Serpone N. Glossary of Terms Used in Photocatalysis and Radiation Catalysis (IUPAC Recommendations, Pure Appl. Chem., 2011, 83(4), 931–1014.
- [11] Ikeda K., Sakai H., Baba R., Hashimoto K., Fujishima A. Photocatalytic Reactions Involving Radical Chain Reactions Using Microelectrodes // Journal. Physical Chemistry B, 2001, V. 101(14), pp. 2617–2620.
- [12] Gao R., Stark J., Bahnemann D.W., Rabani J. Quantum Yields of Hydroxyl Radicals in Illuminated TiO₂ Nanocrystallite Layers // Journal Photochemistry Photobiology A., 2002, № 148(1–3), pp. 387–391.
- [13] Lee M.C., Choi W. Solid Phase Photocatalytic Reaction on the Soot/TiO₂ Interface: the Role of Migrating OH Radicals // Journal. Physical Chemistry B, 2002, 106(45), pp. 11818–11822.
- [14] Muggli D.S., McCue J.T., Falconer J.L. Mechanism of the Photocatalytic Oxidation of Ethanol on TiO₂. // Journal of Catalysis, 1998, Vol. 173, pp. 470–483.
- [15] Egerton T.A., King C.J. The Influence of Light Intensity on Photoactivity in TiO₂ Pigmented Systems // Journal of the Oil and Colour Chemists' Association, 1979, Vol. 62, pp. 386–391.
- [16] Kozlov D., Bavykin D., Savinov E. Effect of the Acidity of TiO₂ Surface on its Photocatalytic Activity in Acetone Gas Phase Oxidation // Catalis Leter, 2003, Vol. 86(4), pp. 185–190.
- [17] Патент RU 2298435 Российская Федерация, МПК В01J 21/08, В01J 35/06. Носитель катализатора (варианты) // Воронцов А.В., Козлов Д.В., патентообладатель Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН.

УДК 629.786:004.896

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ВНУТРИКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ С ПОМОЩЬЮ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Г. Сорокин

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

На основе задач информационной поддержки внутрикорабельной деятельности космонавтов, возлагающихся на антропоморфные робототехнические системы в ходе выполнения длительного космического полета, определяются некоторые направления по их решению.

Ключевые слова: антропоморфная робототехническая система, внутрикорабельная деятельность, голосовое сопровождение, информационная поддержка, космический полет, космонавты.

Some Aspects of Information Support of Cosmonauts' Intravehicular Activity by Using Anthropomorphic Robotic Systems. V.G. Sorokin

On the basis of tasks of information supports of cosmonauts' intravehicular activity that can be imposed on anthropomorphic robotic systems during long-term space missions, the paper determines some ways of solving them.

Keywords: anthropomorphic robotic systems, intravehicular activity, voice guide, information support, space mission, cosmonauts.

Введение

Информационная поддержка внутрикорабельной деятельности космонавтов, возлагающаяся на антропоморфные робототехнические системы (АРТС) в ходе выполнения длительного космического полета, является важной задачей обеспечения эффективного функционирования экипажа пилотируемого космического комплекса (ПКК). Это обусловлено тем, что в будущем предполагается существенное увеличение и усложнение работ, связанных с внутрикорабельной деятельностью экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов.

Исходя из этого, рассмотрение некоторых аспектов информационной поддержки обусловлено необходимостью перспективного планирования использования антропоморфных робототехнических систем для повышения качества внутрикорабельной деятельности экипажей.

АРТС имеют некоторые преимущества по сравнению с другими робототехническими конструкциями – при решении задач информационной поддержки. Это обусловлено тем, что антропоморфные роботы подобны человеку, поэтому могут быть быстро восприняты космонавтами для совместного функционирования [5].

Информационная поддержка с использованием АРТС может обеспечить космонавту существенное сокращение времени на сбор, обработку, анализ информации и значительно повысить качество реализации управляющих воздействий.

Вместе с тем, задачи информационной поддержки внутрикорабельной деятельности космонавтов, возлагающиеся на АРТС в ходе выполнения длительного космического полета, и направления их решения конкретно не определены.

Задачи информационной поддержки внутрикорабельной деятельности космонавтов, возлагающиеся на антропоморфные робототехнические системы

Задачами информационной поддержки внутрикорабельной деятельности космонавтов, возлагающимися на антропоморфные робототехнические системы, могут быть [1]:

- контроль выполнения детального плана полета с голосовым сопровождением;
- голосовое сопровождение выполнения полетных операций и действий при устранении неисправностей и нейтрализации нештатных ситуаций;
- выдача справочной, технической и оперативной информации (голосом) по голосовым запросам космонавта.

Обоснование технологии информационной поддержки космонавтов с использованием АРТС основывается на построении и закладке в антропоморфный робот совокупности голосовой информации, выдаваемой космонавту в рамках решения вышеуказанных задач. В результате восприятия выдаваемой АРТС голосовой информации, у космонавта должны формироваться мыслительные и моторные процессы, благотворно влияющие на качество выполнения программы космического полета.

При проектировании технологии информационной поддержки космонавтов с помощью АРТС, в пределах решаемых задач, необходимо учитывать уровень сложности информационного содержания по следующим критериям [1]:

- уровень сложности информационной поддержки космонавтов с использованием первоначального варианта АРТС может определяться возможностью функционирования антропоморфного робота в интерактивном копирующем и автоматическом программном режимах;
- уровень сложности информационной поддержки космонавтов с использованием перспективного варианта АРТС может определяться возможностью функционирования антропоморфного робота в интерактивном супервизорном (или диалоговом) режиме;
- уровень сложности информационной поддержки космонавтов с использованием АРТС, функционирующей автономно в режиме приема-передачи информации, в настоящее время определить затруднительно, так как это является перспективой еще более отдаленной, нежели создание перспективного варианта антропоморфного робота.

Решение задачи контроля выполнения детального плана полета с голосовым сопровождением

Детальный план полета (ДПП) – наиболее подробный руководящий документ. ДПП формируется на каждые сутки полета на основе плана полета (ПП) с методиками выполнения планируемых операций, оперативными данными о реальной полетной обстановке и текущей баллистической информации [6, 7].

Кроме того, в качестве исходной информации используются такие данные, как подробные описания операций, включенных в состав мероприятий на рассматриваемые сутки полета; методики управления бортовыми системами ПКК; фактические данные о текущем состоянии бортовых систем; данные о состоянии технических средств, входящих в систему управления полетом; баллистическая информация на планируемые сутки полета.

Структура ДПП содержит такие скоординированные компоненты, как выполнение полетных операций в целом; деятельность экипажа; обмен сообщениями

ми между экипажем КА и ЦУПом; выполнение динамических режимов или план работы основных систем и т.д. Каждый элемент перечисленных компонентов ДПП привязывается к конкретному времени внутри интервала планирования.

На основе ДПП строится бортовой детальный план полета (БДПП) [6, 7]. Этот вид плана предназначен для экипажа МКС и содержит лишь ту часть, с которой непосредственно связана жизнедеятельность космонавтов. БДПП является инструкцией к действию для всего экипажа в течение конкретных суток.

Таким образом, решение задачи контроля выполнения ДПП с голосовым сопровождением возможно с использованием комплекса информации, «заложенного» в ДПП и БДПП [6, 7].

Следовательно, в голосовом формате экипажу ежесуточно должна поступать следующая информация:

- о выполнении полетных операций в целом;
- о деятельности экипажа;
- об обмене сообщениями между экипажем МКС (ПКК) и ЦУПом;
- о выполнении динамических режимов;
- о плане работы основных систем;
- о подробных описаниях полетных операций;
- о методиках управления бортовыми системами МКС (ПКК);
- о фактических данных о текущем состоянии бортовых систем;
- о данных о состоянии технических средств, входящих в систему управления полетом;
- о баллистических данных.

Можно предположить, что весь объем вышеуказанной информации целесообразно разделить на суточные информационные компоненты, сформированные в голосовом формате.

Суточные информационные компоненты с голосовым сопровождением могут быть следующими:

- план выполнения полетных операций;
- план деятельности экипажа;
- план информационного взаимодействия экипажа МКС (ПКК) с ЦУПом (с программой сеансов связи);
- план использования различных каналов информации;
- план выдачи (получения) радиограмм по отдельным выполняемым работам;
- план динамических режимов систем МКС (ПКК);
- план работы средств измерений;
- план работы основных систем МКС (ПКК);
- план управляющих воздействий на бортовые системы и устройства МКС (ПКК);
- подробное описание полетных операций;
- подробное описание методик управления бортовыми системами МКС (ПКК);
- подробная выдача фактических данных о текущем состоянии бортовых систем и устройств МКС (ПКК);
- подробная выдача данных о состоянии технических средств, входящих в систему управления полетом;
- подробная выдача данных о баллистических характеристиках.

Применительно к каждому суточному информационному компоненту необходимо разработать соответствующие информационные алгоритмы с голосовым

сопровождением по каждому из видов деятельности космонавтов со шкалой времени от начала до окончания этой деятельности.

Вся совокупность информации в виде комплекса суточных информационных компонентов с голосовым сопровождением должна закладываться (или уточняться) в АРТС ежесуточно.

Вместе с тем, объем комплекса суточных информационных компонентов с голосовым сопровождением зависит от уровня сложности информационной поддержки космонавтов.

Так, например, комплекс суточных информационных компонентов с голосовым сопровождением для первоначального варианта АРТС может состоять из упрощенного плана деятельности экипажа и сокращенного плана выполнения полетных операций с подробным описанием включенных в него полетных операций.

Решение задачи голосового сопровождения выполнения полетных операций и действий при устранении неисправностей и нейтрализации нештатных ситуаций

Полетными операциями, являющимися основными структурными и неделимыми единицами, оперируют ПП, ДПП и БДПП [6, 7]. Вследствие того, что эти планы являются документами исполнительного уровня, они и должны быть первоисточниками, указывающими порядок выполнения полетных операций. Таким образом, порядок выполнения той или иной полетной операции, оформленный в голосовом формате, заложенный в АРТС и выдаваемый космонавту по его запросу, и есть решение задачи голосового сопровождения выполнения полетных операций.

Так как любое действие, совершаемое бортовым комплексом автоматического управления (БКАУ), экипажем или наземным комплексом управления (НКУ) представляется в виде полетной операции, то можно предположить, что их насчитывается несколько тысяч. Поэтому для упорядочивания оформления полетных операций в голосовой формат их целесообразно классифицировать по набору признаков [6, 7].

Первый признак – функциональное назначение. В соответствии с функциональным назначением полетные операции делятся на три класса: служебные, целевые и бытовые. При этом каждый класс имеет свои группы, виды, типы и правила планирования. Кроме того, каждый класс имеет свой специфический набор возможных неисправностей и нештатных ситуаций.

Второй признак характеризуется отсутствием или наличием связей между операциями. Работы могут быть связанными и несвязанными. Связанные операции имеют логико-временные отношения и представлены в качестве полной группы работ, совместно обеспечивающих выполнение некоторой полетной задачи. Кроме того, связанные работы имеют свой специфический набор возможных неисправностей и нештатных ситуаций.

Третий признак – периодичность выполнения полетных операций. Операция может быть периодической и непериодической.

Четвертый признак характеризует полетную операцию как множественную или как одиночную.

При оформлении полетных операций в голосовой формат необходимо использовать информацию, описывающую каждую полетную операцию, включающую циклограмму, методику выполнения и характеристику операции [6, 7].

Циклограмма содержит данные, показывающие пошаговую временную последовательность изменения состояния ПКК.

Методика содержит последовательность команд управления, выдаваемых на бортовые системы ПКК, и действий, предназначенных для экипажа. Каждая команда имеет набор соответствующих условий, разрешающих ее реализацию: заданное время, интервал времени между соседними командами, факт исполнения предыдущей команды, текущее состояние бортовых систем.

Характеристика операции содержит длительность, занятость в ней членов экипажа (число космонавтов, участвующих в выполнении, затраты времени каждого, очередность выполнения необходимых работ). Кроме того, характеристика операции, при необходимости, может содержать: затраты бортовых ресурсов ПКК; состав, описание и гарантированную точность результатов; условия, требуемые для выполнения; объем управляющей информации, выдаваемой на системы ПКК; объем потоков телеметрической и телевизионной информации, передаваемой с борта ПКК в ЦУП для дальнейшей обработки и анализа.

При оформлении полетных операций в голосовой формат следует учитывать приоритетные отношения между полетными операциями [6, 7]. Приоритет полетной операции относится к одному из двух типов: фиксированный или переменный. Фиксированные приоритеты задаются программой полета и учитываются на начальном этапе исполнительного планирования, когда определяется общая структура плана. Они устанавливаются до начала планирования и рассматриваются как внешние исходные данные. Переменные приоритеты зависят от соответствия условий выполнения операции ее требованиям и правилам в конкретном интервале горизонта планирования. Поэтому значение переменного приоритета зависит от места расположения операции на шкале времени.

При оформлении полетных операций в голосовой формат целесообразно учитывать свойство совместности [6, 7]. Совместимость двух операций определяется наличием возможности их одновременного выполнения или следования одной за другой.

Применительно к каждой (или выбранной) полетной операции и действиям при устранении неисправностей и нейтрализации нештатных ситуаций необходимо разработать соответствующие информационные циклограммы с методиками и характеристиками, с голосовым сопровождением.

Вся совокупность информации в виде комплекса полетных операций и действий при устранении неисправностей и нейтрализации нештатных ситуаций с голосовым сопровождением должна закладываться (или уточняться) в АРТС ежесуточно (или на период, или еженедельно, или ежемесячно).

Вместе с тем, объем комплекса полетных операций и действий при устранении неисправностей и нейтрализации нештатных ситуаций с голосовым сопровождением зависит от уровня сложности информационной поддержки космонавтов.

Так, например, комплекс полетных операций и действий при устранении неисправностей и нейтрализации нештатных ситуаций с голосовым сопровождением для первоначального варианта АРТС может состоять из нескольких несложных циклограмм.

Решение задачи выдачи справочной, технической и оперативной информации (голосом) по голосовым запросам космонавта

Решение задачи выдачи справочной, технической и оперативной информации (голосом) по голосовым запросам космонавта целесообразно подготовкой (формированием) соответствующих компонентов.

Компоненты справочной, технической и оперативной информации, подлежащие выдаче голосом по голосовым запросам космонавта, целесообразно подготавливать специалистам-практикам.

Компоненты справочной информации целесообразно формировать на основе ПП, ДПП, БДПП. Справочная информация может включать:

- подробные описания полетных операций;
- методики выполнения полетных операций;
- методики управления бортовыми системами МКС (ПКК);
- план выполнения полетных операций;
- план деятельности экипажа;
- план информационного взаимодействия экипажа МКС (ПКК) с ЦУПом (с программой сеансов связи);
- план использования различных каналов информации;
- план выдачи (получения) радиogramм по отдельным выполняемым работам;
- план динамических режимов систем МКС (ПКК);
- план работы средств измерений;
- план работы основных систем МКС (ПКК);
- план управляющих воздействий на бортовые системы и устройства МКС (ПКК);
- набор возможных неисправностей и нештатных ситуаций и порядок их нейтрализации;
- порядок проведения космических экспериментов;
- порядок исследования Земли и космоса;
- порядок исследования воздействий солнечной активности и антропогенных факторов на окружающее космическое пространство, ионосферу и атмосферу;
- порядок исследования поверхности Земли;
- порядок исследований по направлению «Геофизические исследования»;
- порядок исследований по направлению «Океанология»;
- порядок исследований физико-химических процессов и материалов;
- порядок исследований по направлению «Космическая биология и биотехнология»;
- порядок проведения радиационной дозиметрии.

Кроме того, справочная информация (для проведения тренировок экипажем на борту МКС) может включать:

- порядок выполнения полетных операций и действий при возникновении неисправностей и в нештатных ситуациях на ТПК «Союз ТМА-М»;
- порядок выполнения ручных динамических режимов полета ТПК «Союз ТМА-М»;
- порядок выполнения телеоператорного режима управления ТГК «Прогресс-М».

Компоненты технической информации целесообразно формировать на основе технического описания систем и оборудования МКС (ПКК). Техническая информация может включать данные:

- о конструкции и компоновке;
- о системе обеспечения теплового режима;
- о бортовой вычислительной системе;
- о системе управления бортовой аппаратурой;
- о системе электропитания и системе ориентации солнечных батарей;

- о системе управления движением и навигацией;
- о двигательных установках;
- о системе стыковки;
- о системе управления инвентаризацией;
- о комплексе средств обеспечения жизнедеятельности;
- о европейском космическом манипуляторе ERA;
- о бортовой фотоаппаратуре и проведении фотосъемки;
- о бортовой видеоаппаратуре;
- о радиотехнической системе сближения;
- о системе радиосвязи;
- о системе бортовых измерений;
- о телевизионной системе;
- о радиотехнической системе передачи информации;
- об оптико-визуальных средствах.

Кроме того, техническая информация (для проведения тренировок экипажем на борту МКС) может включать данные:

- о конструкции и компоновке;
- о системе обеспечения теплового режима;
- о комбинированной двигательной установке;
- о системе исполнительных органов спуска;
- о комплексе средств обеспечения жизнедеятельности;
- о пультах управления и системе управления бортовым комплексом;
- о системе стыковки и внутреннего перехода, системе контроля герметичности стыка;
- о системе управления движением и навигацией;
- об аналоговом контуре;
- о дискретном контуре;
- о режиме сближения;
- о системе управления спуском;
- о системе электропитания;
- о системе аварийного спасения;
- о комплексе средств посадки;
- о радиотехнической системе сближения;
- о системе радиосвязи;
- о системе бортовых измерений;
- о телевизионной системе;
- об оптико-визуальных приборах.

Компоненты оперативной информации целесообразно формировать на основе ДПП, БДПП. Оперативная информация может включать данные:

- о выполнении полетных операций в целом;
- о деятельности экипажа;
- об обмене сообщениями между экипажем МКС (ПКК) и ЦУПом;
- о выполнении динамических режимов;
- о работе основных систем;
- о текущем состоянии бортовых систем;
- о состоянии технических средств, входящих в систему управления полетом;
- о баллистических характеристиках.

Применительно к каждому компоненту справочной, технической и оперативной информации, подлежащей выдаче голосом по голосовым запросам космонавта, целесообразно разработать соответствующие комплексы алгоритмов.

Вся совокупность информации в виде комплексов алгоритмов, сведенных в справочный, технический и оперативный информационные компоненты с голосовым сопровождением, может закладываться в АРТС на период, равный длительности экспедиции МКС (ПКК) (с периодическим уточнением).

Вместе с тем, объем справочной, технической и оперативной информации в голосовом формате зависит от уровня сложности информационной поддержки космонавтов.

Так, например, справочная, техническая и оперативная информация с голосовым сопровождением для первоначального варианта АРТС может состоять из подробного описания некоторых несложных полетных операций, методики выполнения этих полетных операций, данных о выполнении этих полетных операций, а также данных о конструкции и компоновке МКС.

Реализация требований, предъявляемых к диалогу космонавта с антропоморфной робототехнической системой

При формировании справочной, технической и оперативной информации в голосовой формат необходима реализация требований, предъявляемых к диалогу космонавта с антропоморфной робототехнической системой [2, 3, 4], с применением аналогового метода:

1) голосовое сопровождение должно обеспечивать максимальное использование потенциальных возможностей космонавта и технических и программных средств АРТС;

2) голосовое сопровождение должно способствовать быстрому усвоению космонавтом информационного сообщения;

3) голосовое сопровождение должно быть спроектировано так, чтобы обеспечить космонавту ввод информации (на уточнение, на повторение и т.д.) или дополнительных данных голосовым способом независимо от способа их обработки АРТС;

4) голосовое сопровождение должно соответствовать потребностям космонавта, его синтаксическая структура должна быть согласована с ожиданиями космонавта, связанными с получением запрошенной информации;

5) голосовое сопровождение по выполнению работ или действий должно постоянно находиться под контролем космонавта;

6) голосовое сопровождение должно исключать возможность возникновения туниковой ситуации или зависание программы вследствие действий космонавта;

7) голосовое сопровождение должно обеспечивать возможность легкого исправления ошибок; исключение ввода излишней информации; исключение повторного ввода информации;

8) обратная связь должна обеспечивать космонавта информацией для управления голосовым сопровождением, а также возможностью распознавания голоса и исправления ошибок;

9) голосовое сопровождение должно быть кратким, ясным, конкретным и понятным космонавту;

10) сообщения при голосовом сопровождении должны быть сформулированы в вежливом тоне, не допускающем фамильярности и пренебрежительности в обращении к космонавту;

11) сообщения при голосовом сопровождении об ошибках должны содержать информацию о существующих ограничениях АРТС и возможных дальнейших действиях космонавта и не должны указывать на его неправильные действия;

12) способы выделения сообщения при голосовом сопровождении (повышение громкости, замедление, разделение слов паузами и т.д.) должны соответствовать степени его важности;

13) не разрешается необоснованное, излишнее или завышающее опасность выделение сообщения при голосовом сопровождении (крик, ругательства, угрозы и т.д.);

14) не допускается использовать средства выделения и тон сообщений при голосовом сопровождении, способные вызвать у космонавта неуверенность в своих действиях, тревогу, чувство растерянности;

15) программирование голосового сопровождения целесообразно на русском языке;

16) при проектировании голосового сопровождения целесообразно его использовать посредством голосовых команд космонавта в должности инструктора-космонавта-испытателя;

17) голосовые запросы на выдачу информации космонавту должны выполняться в виде диалога с АРТС посредством голосовых команд;

18) в диалоге посредством голосовых команд на выдачу информации космонавт должен озвучивать команду (речевой ввод) в специфической синтаксической форме, определяемой правилами командного языка;

19) АРТС должна подтвердить очевидным для космонавта способом получение голосовой команды на выдачу информации, проверить допустимость команды, ее параметров и значений параметров и выполнить требуемые действия и (или) выдать требуемую информацию;

20) если голосовая команда на выдачу информации имеет большое количество параметров (слов) и их значений, команду целесообразно разделить на несколько подкоманд (частей);

21) голосовая команда на выдачу информации должна быть спроектирована по принципу – одна команда, один результат (то есть так, чтобы исключить ее обработку антропоморфным роботом по нескольким вариантам);

22) голосовая команда на выдачу информации должна соответствовать компонентам (справочному, техническому или оперативному), заложенным в АРТС, а ее синтаксическая структура должна быть согласована с ожиданиями космонавта и результатами;

23) структура и синтаксис голосовой команды на выдачу информации должны соответствовать естественному языку человека и профессиональному языку оператора-космонавта;

24) язык голосовой команды на выдачу информации должен обладать внутренней согласованностью, а именно:

– команды, выполняющие одни и те же функции, должны иметь одинаковые наименования;

– команды с одинаковыми наименованиями должны одинаково выполняться во всем объеме информации (справочной, технической или оперативной), независимо от контекста;

25) если последовательности одинаковых голосовых команд на выдачу информации используются часто, целесообразно создавать и использовать команды более высокого уровня (макросы) для выполнения всей совокупности данных последовательностей;

26) голосовые командные выражения на выдачу информации должны структурироваться таким образом, чтобы минимизировать сложность параметров (композицию слов); если командное выражение содержит более 8 параметров (слов), то следует создавать дополнительные команды, комбинировать команды с использованием одного параметра, либо разбивать параметры на несколько логических групп;

27) синтаксическая структура голосовых командных выражений на выдачу информации должна обеспечивать:

– согласованность со способом ввода (например, речевой ввод – разговорному языку);

– единообразию в рамках способа ввода (например, во всех запросах используется синтаксическая структура «информационный объект – действие»);

28) при вводе голосовых командных выражений на выдачу информации несколькими словами или несколькими командными выражениями в качестве разделителей между словами и выражениями предпочтительнее использовать паузы, а не озвучивание знаков препинания или слова «пауза» голосом;

29) параметры голосовых командных выражений на выдачу информации и их значения должны быть просты для ввода в АРТС и отражать логическую связь с командой и ожидаемым результатом;

30) структура командного языка на выдачу информации должна отражать связь между справочной, технической или оперативной информацией и элементами командного выражения, например: «Оперативную выдать сейчас, справочную выдать после оперативной»;

31) при вводе голосовых командных выражений на выдачу информации, имеющих не более трех параметров (слов), целесообразно использовать эти выражения без изменений; при четырех и более параметрах (словах) следует использовать ключевые слова, определяющие общее значение этих параметров (слов);

32) наименования голосовых командных выражений на выдачу информации должны:

- соответствовать естественному языку;
- быть четкими, однозначными и различимыми;
- легко ассоциироваться с функциями команд;
- быть, как правило, глаголами в повелительном наклонении;
- согласовываться с требуемой заявкой;
- легко произноситься и запоминаться;
- не должны содержать излишние суффиксы и приставки;

33) при неправильном вводе голосовой команды на выдачу информации АРТС должна подать очевидным для космонавта способом сигнал и причины ее неполучения;

34) при возникновении ошибки при вводе голосовой команды на выдачу информации повторный ввод и редактирование должны быть направлены только на исправление неправильно введенной части команды и связанных с ней параметров (слов);

35) космонавт должен иметь возможность вводить последовательности голосовых командных выражений на выдачу информации, не ожидая выполнения АРТС каждой команды;

36) АРТС должна обеспечивать интерпретацию и восприятие введенной голосовой команды на выдачу информации с ошибками в случаях, когда возможно однозначное определение ее значения, если это не противоречит ожидаемому результату;

37) космонавт не должен иметь возможность вводить голосовые команды на деструктивные изменения компонентов справочной, технической и оперативной информации (например, стирание файлов);

38) космонавт должен иметь возможность вводить голосовые команды, позволяющие останавливать или прерывать выдачу информации;

39) АРТС должна информировать космонавта о завершении выдачи справочной, технической или оперативной информации.

Заключение

Таким образом, рассматривая некоторые аспекты информационной поддержки внутрикорабельной деятельности космонавтов, возлагаемые на антропоморфные робототехнические системы в ходе выполнения длительного космического полета, в контексте соответствующих задач, можно констатировать следующее.

Несмотря на то, что существующая и постоянно совершенствующаяся система информационной поддержки космонавтов в процессе длительных полетов по орбите Земли практически полностью отвечает решению поставленных перед ней задач информационного обеспечения экипажей, необходимо уже сегодня решать задачи информационной поддержки космонавтов в длительных (межпланетных) космических экспедициях. Использование АРТС при проведении мероприятий информационной поддержки экипажей межпланетных ПКК является перспективным направлением повышения эффективности внутрикорабельной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Применение антропоморфных робототехнических систем для поддержки деятельности экипажей перспективных пилотируемых комплексов / Сорокин В.Г., Сохин И.Г., Крючков Б.И. // Тезисы докладов 8 Международного аэрокосмического конгресса. – М., 2015. – С. 403–405.
- [2] ГОСТ РВ 29.04.006-2005. Деятельность оператора образцов вооружения и военной техники. Общие положения.
- [3] ГОСТ РВ 29.05.013-2003 Диалог человека-оператора с вычислительной техникой в образцах вооружения и военной техники. Общие эргономические требования.
- [4] ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования.
- [5] Крючков Б.И., Усов В.М. Антропоцентрический подход в организации совместной деятельности космонавтов ПКК и робота-помощника андроида типа // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 3(5).
- [6] Соловьев В.А. Управление космическими полетами: учеб. пособие / В.А. Соловьев, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский; под общ. ред. Л.Н. Лысенко. – Ч. 1. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
- [7] Станиловская В.И. Автоматизация планирования полетов долговременных орбитальных комплексов: дис. канд. техн. наук: 05.07.09 / Станиловская Вера Ивановна. – Королев, 2008.

УДК 61:629.78.007

**МНОГОЛЕТНИЙ ОПЫТ МОНИТОРИНГА
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТОВ
В КРАТКОВРЕМЕННЫХ И ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕТАХ**

В.Ф. Турчанинова, И.В. Алферова, В.В. Криволапов,
Е.Г. Хорошева, Т.Г. Шушунова, М.В. Домрачева, И.А. Юрченко,
С.А. Горбачева, С.Н. Мороз

Канд. мед. наук В.Ф. Турчанинова; канд. мед. наук И.В. Алферова; В.В. Криволапов; Е.Г. Хорошева; Т.Г. Шушунова; М.В. Домрачева; И.А. Юрченко; С.А. Горбачева; С.Н. Мороз (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

В работе изложены основные подходы, направления и результаты продолжительного (в течение 38 лет) мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы участников кратковременных и длительных космических полетов на орбитальных станциях «Салют-6», «Салют-7», «Мир» и Международной космической станции. Выявлены сосудистые области, наиболее подверженные влиянию микрогравитации, особенности ЭКГ и реакций на нагрузочные пробы; объективно подтверждено положительное влияние и эффективность ОДНТ-тренировок. Показано, что в целом гемодинамический статус не препятствует успешной реализации запланированных программ полета, включая внекорабельную деятельность, нередко многократную; выполнению длительных и сверхдлительных космических миссий; участию в повторных (от 2 до 5) экспедициях. В итоге все перечисленное свидетельствует о профессиональном здоровье и долголетию космонавтов.

Ключевые слова: орбитальная станция, Международная космическая станция, космический полет, микрогравитация, космонавт, космическая медицина, кровообращение, гемодинамика, сердечно-сосудистая система, мониторинг, медицинский контроль, центральное и регионарное кровообращение, функциональные пробы, научные эксперименты.

**Long Experience of Monitoring the Functional State of Cosmonauts'
Cardiovascular System in Short and Long-Duration Space Missions.**

**V.F. Turchaninova, I.V. Alferova, V.V. Krivolapov, E.G. Khorosheva,
T.G. Shushunova, M.V. Domracheva, I.A. Yurchenko, S.A. Gorbacheva,
S.N. Moroz**

The paper outlines basic approaches, directions and results of a long (during 38 years) monitoring of the cardiovascular system status among participants of short and long-duration space flights on the Orbital Stations "Salyut-6", "Salyut-7", "Mir" and the International Space Station. Vascular regions most susceptible to the influence of microgravity, the ECG features, and responses to the stress tests were identified; the positive effect and effectiveness LBNP workouts were objectively confirmed. It is shown that, in whole, the hemodynamic status did not prevent the successful implementation of planned flight programs (including the time-consuming extravehicular activity, sometimes multiple), implementation of long and extra-long space missions, participation in the repeated (from 2 to 5) expeditions. As a result, all of the above is the evidence of occupational health and longevity of cosmonauts.

Keywords: space station, International Space Station, spaceflight, microgravity, cosmonaut, space medicine, blood circulation, hemodynamics, cardiovascular system, monitoring, medical control, central and regional circulation, functional tests, scientific experiments.

Введение

Вопросы изучения сердечно-сосудистой системы (ССС) человека в условиях микрогравитации находятся в центре внимания специалистов на всем протяжении развития эры пилотируемой отечественной космонавтики [1–4, 11, 14–17, 19–24, 34–43]. Начиная с длительных полетов орбитальных станций (ОС) «Салют-6», «Салют-7», «Мир», сотрудники Института медико-биологических проблем (ИМБП), входящие в Группу медицинского обеспечения (ГМО) Главной оперативной группы управления (ГОГУ) Центра управления полетами (ЦУП) проводили и в настоящее время (2016 год) продолжают на Международной космической станции (МКС) многопрофильные, систематические и планомерные исследования СССР. Они предусматривают *медицинский контроль* (МК) за здоровьем космонавтов на разных этапах полета с целью своевременного выявления и предупреждения развития неблагоприятных ситуаций в состоянии ССС и, при необходимости, разработки рекомендаций, а также *научные эксперименты* (НЭ) в соответствии с программой конкретной экспедиции [1–4, 11, 19–24, 34–43]. основополагающими научно обоснованными постулатами идеологии, концепции и структуры обследований является положение, что во время полета ведущим воздействующим фактором на ССС является микрогравитация и возникающее при этом перемещение жидких сред организма, в том числе крови, в верхнюю половину туловища с формированием адаптационных механизмов для создания нового уровня функционирования ССС. Именно с этой точки зрения были выбраны основные направления исследований; методические подходы к их реализации; функциональные пробы и их схемы для определения компенсаторных и резервных возможностей ССС; технические и практические способы решения поставленных целей и задач [19, 43].

Цель настоящей работы

Обобщение и анализ продолжительного (в течение 38 лет) опыта мониторинга состояния ССС космонавтов и астронавтов в кратковременных и длительных полетах на отечественных ОС.

Методика

Объект работы – основные направления, методики и результаты обследований 19 участников кратковременных (до 7 суток) экспедиций посещений (ЭП) и 162 космонавтов и астронавтов, выполнивших длительные (от 73 до 438 суток) полеты на ОС «Салют-6», «Салют-7», «Мир» и МКС. Объем обследований определялся возможностями конкретной аппаратуры и программой полета.

Для регистрации физиологических кривых были последовательно с постепенной модернизацией разработаны, изготовлены и поставлены на борт многофункциональные аппаратуры «Полином-2М» (ОС «Салют-6»), «Аэлита-01» (ОС «Салют-7»), «Гамма-01» (ОС «Мир») и «Гамма-1М» (МКС), которые полностью отвечали требованиям эксплуатации на борту станции: безопасны, надежны и удобны для космонавтов; не требовали специальных медицинских знаний и длительного обучения при подготовке к полету, больших временных затрат для обследований в полете. Каждая аппаратура была оснащена определенным набором методик, предназначенных для исследования *центрального кровообращения и регионарной гемодинамики*, которые, как известно, принимают активное первоочередное участие в развитии адаптивных реакций при воздействии основных факторов полета [37, 42].

При использовании всех вариантов аппаратуры регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ) в покое в 12 общепринятых отведениях, при функциональных пробах – в распространенном в практике космической медицины отведении «DS» и тахоосциллограмму (ТО) плечевой артерии. Анализировали:

- частоту сердечных сокращений (ЧСС); нарушения сердечного ритма и проводимости, изменения основных показателей ЭКГ, проводили векторный анализ [11, 22, 24, 45];
- все виды артериального давления (АД): минимальное (МнАД), среднее динамическое (СрАД), боковое систолическое (БсАД), конечное систолическое (КсАД.) [21, 24].

В зависимости от возможностей конкретной аппаратуры и программы полета записывали тоны Короткова, кинетокардиограмму (ККГ) с области верхушечного толчка сердца, венозно-артериальную пульсограмму (ВАП) шейного сосудистого пучка, сфигмограмму бедренной артерии (СФГб) с определением:

- максимального (АДмакс.) и минимального (АДмин.) артериального давления;
- показателей фазовой структуры сердечного цикла (систола и диастола);
- кровенаполнения и давления в яремных венах, систолического давления в легочной артерии;
- скорости распространения пульсовой волны по аорте (СРПВа) с использованием СФГб [5, 7, 16, 17, 21, 23, 24, 26].

Одним из основных методов изучения различных отделов ССС на всех орбитальных комплексах была *тетраполярная реография* (РГ) [35–37, 39–40, 42], позволяющая изучать не только традиционно *регионарное кровообращение*, причем с относительным количественным анализом РГ-кривых [35], но и рассчитывать одни из основных параметров центральной гемодинамики: ударный объем сердца (УО) и соответственно минутный объем кровообращения (МОК) [33]. Исследования проводили с помощью специально разработанного и изготовленного при активном участии сотрудников института адаптированного к эксплуатации на борту ОС прибора «Реограф-2». После апробации в клинике [33] прибор был рекомендован для штатного медицинского контроля на борту ОС и успешно применялся во время кратковременных и длительных полетов космонавтов на ОС «Салют-6» и «Салют-7» [34–36]. Регистрировали РГ в отведении «рука–рука» (для расчета УО), областей предплечья и голени, а также реоэнцефалограммы (РЭГ) во фронто-мастоидальных отведениях справа (FmD) и слева (FmS) для изучения гемодинамики в бассейнах внутренних сонных артерий [35, 36]. Разработка и введение в эксплуатацию реоплетизмографического блока (РПГ) с «Коммутатором», которые входят в состав аппаратуры «Гамма-01» и являются частью аппаратуры «Гамма-1М», позволили расширить объем РГ-исследований на ОС «Мир» и МКС регистрацией дополнительно РЭГ в бимастоидальном отведении (Вim) для оценки кровообращения в вертебробазилярной системе, РГ правого легкого, печени и проводить в соответствии с программой полета комплексные полиреографические исследования с регистрацией последовательно всех перечисленных отведений (одновременно по двум каналам) в течение одного, даже непродолжительного (12–15 мин) сеанса телеметрической связи (ТМ-связи) [31, 37]. Анализировали УО (в мл), МОК (в л/мин), для всех регионарных областей – показатели пульсового кровенаполнения ППК (в усл. ед.) и тонуса сосудов различного калибра: крупных (а/Т %), прекапиллярных (ДКИ %) и посткапиллярных (ДСИ %); для РГ легкого и печени, помимо перечисленных, показатели скоро-

сти быстрого кровенаполнения (V_{\max} в *Ом/сек*) и средней скорости кровенаполнения ($V_{\text{ср}}$ в *Ом/сек*).

У 6 космонавтов ОС «Салют-6» для изучения региональной гемодинамики применяли также *окклюзионную плетизмографию* [24].

Функциональные пробы с дозированной физической нагрузкой (ДФН) выполнялись на бортовых велоэргометрах в объеме штатного МК (ШМК) при соблюдении обычного режима труда и отдыха (РТО) и в качестве экспертных проб (ЭМК) перед внекорабельной деятельностью (ВКД) для допуска космонавтов к предстоящей работе, которые проводились нередко в условиях пролонгированного рабочего дня и инвертированного РТО.

Воздействие отрицательного давления на нижнюю половину тела (ОДНТ) проводилось с помощью пневмовакуумного костюма (ПВК) «Чибиc» и применялось на всех ОС во время штатного МК, ОДНТ-тренировок на заключительном этапе полета перед возвращением космонавтов на Землю и в НЭ «КАРДИО-ОДНТ» на борту МКС.

По мере приобретения специалистами опыта сопровождения в полете ДФН и воздействия ОДНТ по различным схемам, в основном с небольшими и непродолжительными нагрузками, пробы совершенствовались с целью повышения их диагностических возможностей [36, 38, 39, 43]. После доработки блока артериального давления штатной аппаратуры МК появилась возможность измерять давление непосредственно во время нагрузки, обеспечивая тем самым контроль за динамикой АД на всем протяжении обследования и, соответственно, безопасность космонавтов (до этого АД во время нагрузки контролировалось косвенно по величине КсАД, определенной по ТО, зарегистрированной в первые секунды восстановительного периода (ВП)). В итоге схема пробы с ДФН, начиная с ЭО-9 ОС «Мир», была модернизирована, стала трехступенчатой (125, 150 и 175 Вт по 3 минуты) и приближена к субмаксимальной нагрузке (75 % от максимальной величины) [38]. В ряде случаев в связи с возрастом космонавтов схема пробы корректировалась в сторону уменьшения нагрузки.

Для пробы с ОДНТ с полета ЭО-11 ОС «Мир» максимальный режим разрежения был увеличен до 50 *мм рт. ст.*, который применяется в космической медицине и клинико-физиологической практике [53], и профиль пробы приобрел следующий вид: -25 – 1 *мин*, -35 – 2 *мин*, -40 и -50 *мм рт. ст.* по 3 *мин* каждого режима [39]. Некоторые отличия обеих проб от общепринятых обусловлены в то время непродолжительными, как правило 12–15 минут, сеансами телеметрической связи (ТМ-связи), ограниченными техническими возможностями передачи физиологических кривых на Землю.

Функциональные пробы проводили и анализировали по стандартизированным и унифицированным схемам в соответствии с разработанными сотрудниками ГМО «Инструкциями» и дополнениями к ним, в которых изложены, применительно к каждому из воздействий, условия обследования, субъективные и, что очень важно, объективные показания к прекращению пробы, даже при отсутствии жалоб со стороны обследуемого, или своевременной коррекции схемы нагрузки [1, 38, 39]. В дальнейшем такие решения подтверждались детальным анализом результатов этих проб. Оценка переносимости проб предусматривала ее ранжирование на три категории («хорошая», «удовлетворительная», «сниженная» для ДФН или «плохая» для ОДНТ) с четко обозначенными критериями абсолютных величин и их относительной динамики (разницы в процентах по отношению к исходной до пробы величине) ЧСС, УО, МОК, АД_{макс} при ДФН и КсАД при ОДНТ

[38, 39]. При воздействии ОДНТ, помимо перечисленных, определяли показатели кровообращения в области головы: на ОС «Салют-6» и «Салют-7» в бассейнах внутренних сонных артерий, на ОС «Мир», на МКС в вертебробазиллярной системе как более информативной для оценки ортостатической устойчивости. Применяемый комплекс гемодинамических показателей был достаточен и информативен для выявления и предупреждения развития неблагоприятных состояний, разработки в случае необходимости соответствующих рекомендаций, оценки переносимости проб. Такой подход к оценке результатов проб явился основанием для отказа от некоторых методик (ККГ, ВАП, СФГ), которые были полезны для изучения механизмов ответных реакций ССС на то или иное воздействие [22, 24], однако не могли быть использованы для количественной оценки происходящих процессов, что особенно важно при анализе результатов функциональных нагрузок. Для ОДНТ-тренировок были разработаны критерии оценки их переносимости [39].

Полученные во время полета результаты сопоставляли с предполетными обследованиями, которые проводили в соответствии с бортовыми методиками, с помощью аналогов аппаратуры МК и обязательным участием сотрудников ГМО, необходимого для установления перед полетом личного контакта с космонавтами и приобретения опыта общения с ними.

В полете физиологические кривые, величины нагрузки на велоэргометре и разрежения в ПВК «Чибис», время их воздействия передавались в режиме онлайн по каналам ТМ-связи на Землю. Накануне введения в эксплуатацию МКС на базе ЦУПа-М была разработана принципиально новая структура получения и обработки медицинской информации, которая обеспечивает ее отображение на мониторе компьютера, установленного на рабочем месте специалистов ГМО в главном зале управления (ГЗУ) ЦУПа, оперативный анализ, оценку и, следовательно, контроль за состоянием космонавтов.

Каждый последующий этап работы (от ОС «Салют-6» до МКС) был логическим продолжением предыдущего с постепенным устранением отмеченных в ходе работы недостатков в конструктивных решениях аппаратуры и методических погрешностей [43]. При этом сохраняли идентичность диагностических возможностей оставшихся методик, основные принципы методологии их применения и расшифровки физиологических кривых, что позволяло сопоставлять результаты, полученные при обследовании космонавтов, работающих в составе разных экспедиций и ОС. Результаты по мере накопления систематизировали, обрабатывали методом вариационной статистики с определением *t*-критерия по Стьюденту и анализировали в различных аспектах и степенях детализации, имеющих для специалистов научное и практическое значение [2–4, 11, 34–42].

Результаты и их обсуждение

При анализе информации было необходимо, прежде всего, выяснить, насколько закономерны (или не закономерны) выявленные изменения функционального состояния ССС в покое и ее реакций на нагрузочные пробы; определить области, наиболее подверженные влиянию многочисленных факторов полета, прежде всего микрогравитации.

Состояние ССС в покое оценивали по показателям, зарегистрированным в специально запланированных обследованиях и перед функциональными пробами. Установлено, что основные параметры *центрального кровообращения* (ЧСС, УО, МОК, все виды АД) изменялись по отношению к исходным до полета величинам

разнонаправлено. Достаточно закономерно и преимущественно достоверно увеличивались ЧСС, МОК и систолическое АД [24, 37]. В то же время даже при статистически достоверной разнице эти изменения, как правило, не имели диагностической значимости, т.к. величины показателей находились в основном в пределах физиологической и возрастной нормы, а выявленные в ту или иную сторону отклонения (брадикардия или тахикардия, систолическая гипо- или гипертензия) рассматривались как индивидуальные особенности конкретного космонавта и отмечались уже до полета. Более высокие величины ЧСС и систолического АД перед функциональными нагрузками могли в определенной мере отражать психоэмоциональное состояние конкретного космонавта перед предстоящим обследованием, поскольку у каждого из них есть свои «любимые» и «нелюбимые» пробы, и свидетельствовали о различных механизмах адаптации ССС к предлагаемым условиям жизнедеятельности [37]. УО в целом мало отличался от предполетного с некоторой тенденцией к снижению.

При анализе динамики показателей центральной гемодинамики следует учитывать влияние на ССС *типов кровообращения* (ТК). Предположение о гемодинамической неоднородности здорового человека высказано Г.Ф. Лангом еще в 30-е годы XX века, затем подтверждено рядом авторов [13, 18, 44] и, в том числе, результатами наших обследований космонавтов ОС «Мир» [2, 37].

Для специалистов по космической медицине с научной и в большей степени с практической точки зрения весьма значимы *возрастные особенности* ССС космонавтов. Опыт работы с космонавтами показал, что по мере развития отечественной пилотируемой космонавтики средний возраст участников длительных космических экспедиций не только увеличивается, но и постепенно изменяется диапазон его колебаний. Средний возраст космонавтов был равен: на ОС «Салют-6» $38 \pm 1,13$ лет (в 70 % случаев 33–39 лет); «Салют-7» $41 \pm 0,87$ года (в 78 % 40–44 года); «Мир» $42 \pm 0,89$ года (32–55 лет) и МКС $44 \pm 0,71$ года (34–60 лет). Дифференцирование возрастного состава космонавтов последних двух станций на три категории в соответствии с распространенным в спортивной медицине десятилетним интервалом (30–39, 40–49 и 50–59 лет) выявило различное для каждой из них соотношение между этими категориями, которое составляет для ОС «Мир» 30,4 %, 52,2 %, 15,2 % и для МКС 20,0 %, 60,0 %, 20,0 % и подтверждает тенденцию к увеличению возраста участников экспедиций каждой следующей станции. Причинами такой закономерности являются расширение диапазона критериев допуска к полету лиц более старшего возраста и выполнение неоднократно космических миссий. К настоящему времени 39 космонавтов были участниками повторных, нередко длительных (124–199) и сверхдлительных (311–438 суток) полетов. Достаточно часто они были многократными (3–4, эпизодически 5 раз), иногда со значительными (5–19 лет) интервалами между ними и, следовательно, в существенно более старшем возрасте, в ряде случаев с большой разницей (36–54 года, 33–54 года, 32–60 лет). Общее время пребывания космонавтов на борту достигало 747–878 суток. Наблюдаемые зависимые от возраста особенности ССС в покое и ее реакций на функциональные пробы отражают включение различных адаптационно-компенсаторных механизмов и перестройку деятельности симпатического отдела вегетативной нервной системы [40, 41].

Определенный научный интерес представляют выявленные у космонавтов ОС «Салют-6» и «Салют-7» увеличение *кровонаполнения и давления в яремных венах, систолического давления в легочной артерии, СРПВа* и изменения *фазовой структуры сердечного цикла* [24, 37, 49]. На МКС такие исследования не проводились.

Изменения ЭКГ проявлялись нарушениями ритма в виде синусовой аритмии, различных видов экстрасистолий, которые у космонавтов ОС «Мир» отмечались редко в покое (3 % случаев), чаще при физической нагрузке (38 %) и максимальное количество (49 %) во время ВКД [11]. Следует обратить внимание, что такие особенности ЭКГ ни у одного из космонавтов не были первичными и встречались по крайней мере в одном из обследований до полета. Наиболее выраженными, многочисленными и разнообразными были изменения конечной части желудочкового комплекса и характеризовались закономерным и статистически значимым ($p < 0,05$) снижением амплитуды зубцов Т диффузного характера и, что примечательно, были более выраженными у космонавтов при выполнении повторных полетов [11]. Этот факт в настоящее время приобретает особую актуальность, поскольку для многих космонавтов неоднократные миссии стали закономерными, т.е. «обычной профессиональной деятельностью».

До сих пор остается открытым вопрос о генезе изменений биоэлектрических потенциалов. Не ясно, какова их топика в различных отделах сердца, и эти проблемы с 2015 года решаются с помощью внедренного в научную программу МКС эксперимента «БИОКАРД», предусматривающего регистрацию ЭКГ в 12 отведениях в сочетании с воздействием ОДНТ. Такие исследования, ранее в практике космической медицины не проводившиеся, позволят обоснованно трактовать наблюдаемые во время полета изменения ЭКГ и выявить их позиционный характер.

Регионарная гемодинамика изучалась в различных направлениях и аспектах на всех перечисленных ОС [34–42].

Небольшое количество исследований кровообращения в предплечье и голени, проведенных у 6 космонавтов ОС «Салют-6» методом *окклюзионной плетизмографии*, выявило увеличение притока артериальной крови в сосуды предплечья и снижение его в голени, снижение сократимости вен и венозного давления в голени при отсутствии изменений в предплечье, и в результате установление между ними иного по сравнению с Землей соотношения. [24]. Но основные результаты были получены с помощью метода *тетраполярной РГ* при обследовании космонавтов всех ОС на разных этапах полета, начиная с 3 суток, и полностью согласуются с вышеописанными. Во всех случаях отмечались снижение ППК сосудов голени, тонуса пре- и посткапиллярных сосудов предплечья, на третьи сутки увеличение ППК сосудов предплечья с установлением иного по сравнению с Землей соотношения между ними. Изменения были закономерны, преимущественно статистически достоверны, и разница проявлялась только в степени их выраженности в зависимости от длительности полета и ОС [34–37, 42].

Динамика ППК сосудов головы во всех исследуемых областях как в кратковременных, так и в длительных полетах была разнонаправленной и носила преимущественно индивидуальный характер [35–37, 39, 40, 42]. Нередко во время полета появлялась или усиливалась (при наличии до полета) межполушарная асимметрия, что можно рассматривать как один из признаков вегетативно-сосудистой дистонии [50]. Закономерно снижался тонус мелких сосудов, причем степень снижения зависела от возраста космонавтов, и более существенные и статистически значимые признаки вазодилатации отмечались у лиц старшей возрастной группы [34–37, 40, 42]. Достаточно часто прослеживалось нарушение функционального равновесия между пре- и посткапиллярными сосудами, что свидетельствовало о сосудистой дисфункции. На РЭГ эпизодически регистрировались венозные волны как проявление венозного застоя, не исключено, в результате повышения центрального венозного давления [50]. Кроме того, рефлекторная ва-

зодилатация в области головы может быть обусловлена гипертензивным синдромом в сосудах малого круга кровообращения, что подтверждено результатами полиреографических исследований, проведенных у космонавтов ОС «Мир» в условиях покоя и МКС во время эксперимента «КАРДИО-ОДНТ» [37, 42].

Таким образом, во время полета в покое на фоне в основном неоднозначной динамики основных показателей центрального кровообращения выявлены достаточно закономерные изменения регионарной гемодинамики, обусловленные влиянием микрогравитации в сочетании с рядом дополнительных факторов, не всегда поддающихся анализу. В таких условиях перераспределяются функциональные нагрузки на различные отделы ССС с развитием адаптивно-приспособительных реакций, характеризующихся нарушением привычного для Земли равновесия не только между сосудистыми областями малого и большого кругов кровообращения, но и внутри большого круга кровообращения, в том числе между различными бассейнами головы.

Учитывая иное по сравнению с Землей функциональное состояние ССС во время полета, отдельного внимания заслуживают результаты *функциональных проб с ДФН и воздействием ОДНТ*, которые выявили *до полета* в целом характерные для каждой из проб реакции, в то время как *во время полета* отмечались те или иные особенности, нередко закономерные и статистически достоверные, особенно при ДФН.

Физическая нагрузка, как известно, приводит к усилению адренергических влияний на сердце, что проявляется положительными ино- и хронотропными эффектами и, как следствие, статистически значимым увеличением ЧСС, УО, МОК и АДсист. Именно такой их динамикой сопровождались *пробы с ДФН* с любыми нагрузками *до полета* [35, 38, 41]. При этом реакция ЧСС и МОК была пропорциональна нагрузке, в то время как изменения УО оставались приблизительно на одном уровне [38]. Для всех показателей выявлена зависимость изменений от возраста космонавтов и ТК [3, 38, 41]. В приросте УО, как известно, весомое значение имеет, при прочих равных условиях, возврат венозной крови к полостям сердца, обусловленный рефлекторным усилением насосной функции сердца, повышением тонуса емкостной системы сосудистого тонуса, важная роль принадлежит мышечному насосу и деятельности периферических «сердец» нижних конечностей [6]. Следует отметить, что при всех схемах проб в формировании МОК принимали участие два фактора: ЧСС и УО [35, 36, 38, 41]. На взаимодействии ЧСС и УО основана классификация степени тренированности организма и его функциональных возможностей, и с этой точки зрения до полета ответная реакция занимала промежуточное положение между нормотоническим и астеническим типами [24].

В полете прежде всего видоизменялась динамика УО и зависела она от схемы пробы. После выполнения космонавтами ОС «Салют-6», «Салют-7» и ЭО-1–ЭО-8 станции «Мир» нагрузки небольшой мощности УО практически не изменялся [38]. После трехступенчатой нагрузки его величина достоверно ($p < 0,001$) снижалась: у космонавтов ЭО-9–ЭО-28 ОС «Мир» на $3 \pm 1,55$ %, на МКС на $8 \pm 1,83$ %, и такая закономерность прослеживалась у космонавтов всех возрастных групп и ТК [3, 41]. В результате изменялся механизм формирования МОК, когда доминирующее влияние приобретала хронотропная функция сердца за счет усиления симпатических адренергических стимуляций. В спортивной медицине такая ситуация рассматривается как астеническая и, соответственно, как признак детренированности ССС. Однако в условиях полета следует искать другие механизмы, прежде всего циркуляторные, а именно, снижение венозного возврата к полостям сердца вследствие де-

понирования крови в артериолах только что работающих мышцах ног; повышения растяжимости вен нижних конечностей; наличия зоны свободной растяжимости [46–48]. По сравнению с предполетными пробами относительный прирост ЧСС и МОК был статистически значимо ($p < 0,001$) меньше. В то время как абсолютные величины ЧСС отличались разнонаправлено, в частности, у космонавтов ОС «Мир» были, а МКС больше предполетных (в обоих случаях достоверно), в то время как УО и МОК всегда были достоверно ($p < 0,001$) меньше. Более низкие величины МОК после нагрузки в полете могли быть обусловлены снижением энергетических потребностей организма, когда работа на велоэргометре не требует преодоления силы веса, в частности ног, что подтверждают сами космонавты («работать на велоэргометре во время полета заметно легче»).

Учитывая особенности проб с ДФН перед ВКД, был проведен сравнительный анализ результатов ШМК и ЭМК, который не выявил между ними существенных различий и объективно подтвердил возможность проведения ЭМК в условиях пролонгированного рабочего дня и инвертированного РТО.

Неоднократно было отмечено, что реакция ССС на ДФН зависела не от длительности полета: при удовлетворительной переносимости пробы на том или ином этапе полета во время последующего обследования с аналогичной нагрузкой переносимость пробы оценивалась как хорошая [38], что в значительной мере закономерно и обоснованно определялось положительным эффектом применения средств профилактики неблагоприятного влияния микрогравитации, которые постоянно совершенствуются в техническом оснащении и методических подходах в их реализации. По мнению специалистов [27, 28], выраженность изменений в функционировании нервно-мышечной системы не коррелировала с продолжительностью полета и прослеживается четкая зависимость от интенсивности, вида и объема фактически выполненных физических нагрузок.

Одной из актуальных проблем космической медицины до настоящего времени остается ортостатическая детренированность космонавтов после космических полетов различной продолжительности. С целью изучения гемодинамических реакций и оценки компенсаторно-адаптационных возможностей ССС, для имитации гравитационного перераспределения крови в условиях микрогравитации на всех ОС применяется *проба с воздействием ОДНТ* [35, 36, 39, 40].

Воздействие ОДНТ как в объеме штатной пробы, так и при выполнении НЭ «КАРДИО-ОДНТ» и до, и во время полета приводило к закономерному достоверному увеличению ЧСС, снижению УО, МОК, КсАД и ППК сосудов всех исследуемых областей, и их динамика зависела от величины разрежения и возраста космонавтов [35, 36, 40, 41]. Регионарные гемодинамические сдвиги зависели от сосудистой области и были различными в верхней и нижней половинах туловища [42].

Наиболее закономерными оказались изменения мелких сосудов головы, которые практически во всех случаях определялись их исходным состоянием, были направлены на нормализацию тонуса, обеспечение оптимальных условий для обменных процессов и закономерны для хорошей переносимости воздействия [35, 36, 40, 42]. В практике РГ-исследований при оценке переносимости пробы с ОДНТ именно динамике и абсолютным величинам ДКИ % РЭГ придается большое значение как показателю тонуса прекапиллярных сосудов, которым отводится роль исполнительного звена в миогенной регуляции кровотока, поскольку известно, что сопротивление мелких сосудов составляет структурно-функциональную структуру микроциркуляции [50]. По-видимому, этим обстоятельством и обусловлена высокая информативность ДКИ, который косвенно отражает перифери-

ческое сосудистое сопротивление конкретной области и позволяет прогнозировать ортостатическую устойчивость или неустойчивость.

В *правом легком* гемодинамические реакции в целом способствовали «относительной разгрузке» сосудов малого круга кровообращения и характеризовались снижением ППК, уменьшением обоих показателей скорости кровенаполнения, снижением периферического сопротивления (ДКИ %) и существенным улучшением условий оттока (ДСИ %). Тенденция к снижению тонуса мелких сосудов прослеживалась и в области *предплечья*. Увеличение ДКИ и особенно ДСИ РГ *голень* по отношению к уровню до разрежения отражало затруднение оттока и, следовательно, депонирование крови в сосудах нижних конечностей [42].

Во время полета приложение ОДНТ приводило к депонированию крови в сосудах ног, имитируя влияние гидростатического фактора, сопровождалось изменением функционального состояния не только системной гемодинамики [36, 40], но и регионарного кровообращения [42]. Динамика ЧСС, УО, МОК и КсАД, характерная для хорошей переносимости воздействия, вызывала адекватные изменения перечисленных показателей [39, 42].

ППК сосудов верхней половины туловища по сравнению с результатами предполетных обследований снижался более заметно, в то время как в области голени менее выражено [42]. *Сосудистые реакции* зависели от области исследования и были неоднозначными для верхней и нижней половины туловища. В областях *голова*, как и до полета, были направлены на нормализацию тонуса пре- и посткапиллярных сосудов, даже при выраженной вазодилатации, иногда с признаками затруднения венозного оттока; в области *легкого* – на снижение периферического сопротивления (ДКИ %) и улучшение условий оттока крови; в *предплечье* изменялся в небольших пределах с тенденцией к снижению; в *голень* отмечались признаки вазоконстрикции и затруднения оттока крови [42].

В целом реакция на ОДНТ во время полета основных показателей центрального и регионарного кровообращения соответствовала предлагаемому воздействию, однако требовала большего напряжения адаптационно-компенсаторных механизмов. При появлении ряда признаков, различных для каждого из космонавтов (изменения ЭКГ, значительное увеличение ЧСС, снижение УО, МОК, АД_{макс.} до 90 мм рт. ст. и даже СрАД при отсутствии изменений до полета), переносимость пробы оценивалась как «удовлетворительная», а иногда даже прекращалась с оценкой «плохая», что рассматривалось как снижение ортостатической устойчивости.

В такой ситуации значима роль *ОДНТ-тренировок*, которые являются одной из составляющих комплекса профилактических мероприятий, предусматривающих предотвращение негативного влияния микрогравитации на организм космонавтов. Весь тренировочный цикл, разделенный на несколько (в основном шесть) этапов, с постепенным увеличением режимов и длительности воздействия разрежения способствует постепенной адаптации ССС к характерному для Земли перемещению крови в каудальном направлении, что показывает положительная динамика ЧСС, АД_{макс.} и РЭГ-показателей от предыдущей тренировки к последующей. В результате становится возможным индивидуально планировать схемы тренировочного цикла. Переносимость тренировок оценивалась по специально разработанным сотрудниками ГМО критериям [39]. Многолетний опыт медицинского сопровождения тренировок на заключительном этапе полета при подготовке космонавтов к возвращению на Землю убедительно показал их положительное влияние на гемодинамику космонавтов, особенно заметно это проявилось при сниженной ортостатической устойчивости [39].

Эффективность имитации вертикального положения тела в условиях микрогравитации показана величинами одноименных показателей пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов конкретной области, которые в основном практически не отличались от полученных в аналогичных условиях до полета. Значимая разница гемодинамического статуса сохранялась только для области правого легкого, однако признаки гиперволемии, гипертензии мелких сосудов и затруднения оттока крови, отмеченные в полете до разрежения, при воздействии ОДНТ становились заметно менее выраженными и в основном статистически не достоверными. Появление при приложении ОДНТ тенденции или полное возвращение показателей кровенаполнения и тонуса регионарных сосудов к предполетному уровню позволяют обоснованно считать, что выявленные в невесомости изменения носят функционально-адаптационный характер.

Выводы

1. В настоящее время более пристального внимания требуют изучение сердечно-сосудистой системы космонавтов при выполнении повторных полетов, возрастные особенности гемодинамики, влияние типов кровообращения.

2. При оценке результатов конкретного обследования не следует категорически утверждать, что выявленные изменения соответствуют данному этапу полета без учета индивидуальных особенностей космонавта и воздействия дополнительных факторов.

3. При выборе методик для проведения обследования во время полета необходимо учитывать требования для их применения на борту ОС.

4. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов во время полета не препятствовало успешному выполнению запланированных программ полетов, неоднократному участию в работе длительных и сверхдлительных экспедиций, что свидетельствует об их *профессиональном здоровье и профессиональном долголетии*.

5. Результаты данной работы являются дополнительной информацией в процессе изучения феноменологии влияния условий полета на систему кровообращения человека, имеют научное и практическое значение и показывают необходимость продолжения исследований, направленных на дальнейшие углубленные исследования гемодинамического статуса различных отделов сердечно-сосудистой системы и особенно сосудов малого круга кровообращения.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ–ИМБП РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Результаты медицинского контроля состояния здоровья экипажей ОС «Мир» / Алферова И.В., Криволапов В.В., Лямин В.Р. и др. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 249–258.
- [2] Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов в покое в космических полетах / Алферова И.В., Турчанинова В.Ф., Голубчикова З.А., Лямин В.Р. // Авиакосм. и эколог. мед. – 2002. – Т. 36. – № 4. – С. 20–24.
- [3] Анализ и оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы космонавтов в длительных космических полетах / Алферова И.В., Турчанинова В.Ф., Голубчикова З.А., Лямин В.Р. // Физиология человека. – 2003. – Т. 37. – № 6. – С. 5–11

- [4] Диагностические возможности пробы с воздействием отрицательного давления на нижнюю половину тела при медицинском контроле во время длительных космических полетов / Алферова И.В., Турчанинова В.Ф., Голубчикова З.А. и др. // Космич. биол. и мед. – 2007. – Т. 41. – № 4. – С. 25–29.
- [5] Андреев А.Б., Андреева Н.Б. Кинетокардиография. – Ростов н/Д., 1971.
- [6] Периферические мышечные «сердца» и гипокинезия / Аринчин Н.И., Недвецкая Г.Д., Володько Я.Т. и др. – Минск: Наука и знание, 1983.
- [7] Бардичевский М.Я. Венозная дисциркуляторная патология головного мозга. – М., 1989.
- [8] Медицинское обеспечение космонавтов-непрофессионалов, совершивших кратковременные космические полеты на Международной космической станции / Богомолов В.В., Гончаров И.Б., Богатова Р.И. и др. // Косм. и эколог. мед. – 2008. – Т. 42. – № 1. – С. 15–19.
- [9] Изменение регионарной гемодинамики после космических полетов длительностью до 8 суток / Васильева Т.Д., Яруллин Х.Х., Жуйко В.И. // Космич. биол. и авиакосм. мед. – 1981. – Т. 15. – № 5. – С. 12–15.
- [10] Результаты длительного клинического наблюдения за состоянием здоровья космонавтов, совершивших полеты на орбитальной станции «Мир» / Воронков Ю.И., Кузьмин М.П., Мацнев Э.И. и др. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. – М., 2001. – С. 639–654.
- [11] Исследования биоэлектрической активности миокарда / Голубчикова З.А., Алферова И.В., Лямин В.Р., Турчанинова В.Ф. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. 2-х т. – Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов – М., 2001. – С. 276–282.
- [12] Основные результаты медицинских исследований членов экипажей космических кораблей «Союз» / Гуровский Н.Н., Егоров А.Д., Какурин Л.И., Нефедов Ю.Г. // Невесомость. Медико-биологические исследования. – М.: Медицина, 1974. – С. 116–132.
- [13] Дембо А.Г., Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. – Л.: Медицина, 1989.
- [14] Динамика показателей кровообращения у экипажей орбитальной станции «Салют» при обследовании во время полета / Дегтярев В.А., Дорошев В.Г., Калмыкова Н.Д. и др. // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1974. – Т. 8. – № 2. – С. 34–42.
- [15] Результаты обследования экипажа космической станции «Салют» при функциональной пробе с созданием отрицательного давления на нижнюю половину тела / Дегтярев В.А., Дорошев В.Г., Калмыкова Н.Д. и др. // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1974. – Т. 8. – № 3. – С. 47–52.
- [16] Исследование венозного кровообращения у космонавтов ОС «Салют-5» / Дегтярев В.А., Нехаев А.С., Бедненко В.С. // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1974. – Т. 8. – № 4. – С. 8–11.
- [17] Состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов во время полета орбитальной станции «Салют» / Дегтярев В.А., Попов И.И., Батенчук-Туско Т.В. и др. // Невесомость (Медико-биологические исследования). – М.: Медицина. – 1974. – С. 132–157.
- [18] Кардиология / Дзизинский А.А., Черняк Б.А. Куклин С.Г., Федотченков А.А. – 1984. – № 2. – С. 68–72.
- [19] Егоров А.Д. Обоснование принципов и методологии медицинского контроля в длительных космических полетах // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов – М., 2001. – С. 230–248.
- [20] Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов в условиях длительных орбитальных полетов на станции «Салют-6» / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Турчанинова В.Ф. и др. // Вестник АМН СССР. – 1964. – № 4. – С. 55–62.
- [21] Результаты исследования гемодинамики и фазовой структуры сердечного цикла космонавтов в длительных полетах / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Касьян И.И. и др. // Физиологические проблемы невесомости. – М.: Медицина, 1983. – С. 82–100.
- [22] Исследование биоэлектрической активности сердца космонавтов в невесомости / Егоров А.Д., Голубчикова З.А., Лямин В.Р. и соавт. // Физиологические исследования в невесомости. – М.: Медицина, 1983. – С. 124–133.

- [23] Исследование сердечно-сосудистой системы / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Алферова И.В. и др. // Результаты медицинских исследований, выполненных на орбитальном научно-исследовательском комплексе «САЛЮТ-6»–«СОЮЗ». – М.: Наука, 1986. – С. 89–114.
- [24] Исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы в длительных космических полетах / Егоров А.Д., Ицеховский О.Г., Алферова И.В. и др. // Физиологические проблемы невесомости. – М.: Медицина, 1990. – С. 70–93.
- [25] Изучение регионарного кровообращения с помощью импедансного метода / Елизарова Н.А., Битар С., Цветков А.А. и др. // Тер. архив. – 1981. – № 12. – С. 16–22.
- [26] Карпман В.Л. Фазовый анализ сердечной деятельности. – М.: Медицина, 1965.
- [27] Система профилактики в полете. Физические тренировки в длительных полетах / Козловская И.Б., Степанцов В.И., Егоров А.Д. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. – С. 393–414.
- [28] Развитие российской системы профилактики неблагоприятных влияний невесомости в длительных полетах на МКС / Козловская И.Б., Ярманова Е.Н., Егоров А.Д. и др. // Международная космическая станция. Российский сегмент. В 2-х т. – Т. 1. Медицинское обеспечение экипажей МКС. – М., 2011. – С. 63–98.
- [29] Котовская А.Р., Виль-Вильямс И.Ф. Переносимость космонавтами ОС «Мир» перегрузок +Gx // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 500–551.
- [30] Лукьянюк В.Ю. Переносимость нагрузок лицами нелетных профессий различного возраста, здоровых и имеющих отклонения в состоянии здоровья в виде начальных признаков атеросклероза // Автореф. дисс.....канд. мед. наук. – М., 1984.
- [31] Осколкова М.К., Красина Г.А. Реография в педиатрии. – М., 1980.
- [32] Соколова И.В., Яруллин Х.Х., Ронкин М.А., Максименко И.М. // Неврология и психиатрия им. Корсакова. – 1982. – № 1. – С. 40–46.
- [33] Применение метода тетраполярной реографии для оценки системы кровообращения / Тихомиров И.Б., Турчанинова В.Ф., Селиваненко В.Т., Стаферов В.А. // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1977. – Т. 11. – № 4. – С. 70–74.
- [34] Центральная и регионарная гемодинамика в длительных космических полетах / Турчанинова В.Ф., Егоров А.Д., Домрачева М.В. // Авиакосм. и экол. мед. – 1989. – Т. 23. – № 6. – С. 19–26.
- [35] Реографические исследования в невесомости / Турчанинова В.Ф., Касьян И.И., Домрачева М.В. // Физиологические исследования в невесомости. М.: Медицина, 1983. – С. 100–124.
- [36] Особенности центрального и регионарного кровообращения в кратковременных и длительных космических полетах / Турчанинова В.Ф., Домрачева М.В., Касьян И.И. и др. // Физиологические проблемы невесомости. – М.: Медицина, 1990. – С. 93–123.
- [37] Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы в состоянии покоя / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Голубчикова З.А. и др. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. – М., 2001. – С. 267–276.
- [38] Реакция сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Голубчикова З.А. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 282–295.
- [39] Воздействия отрицательного давления на нижнюю половину тела в длительных космических полетах / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Голубчикова З.А. и др. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – М., 2001. – С. 295–315.
- [40] Некоторые аспекты сравнительного анализа гемодинамических реакций на воздействие ОДНТ у космонавтов различных возрастных групп / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Криволапов В.В. // Авиакосм. и экол. мед. – 2010. – Т. 1. – № 44. – С. 20–25.
- [41] Зависимость функционального состояния системы кровообращения от возраста космонавтов по результатам проб с физической нагрузкой на велоэргометре / Турчанинова В.Ф., Алферова И.В., Криволапов В.В., Беляев А.П. // Авиакосм. и экол. мед. – 2010. – Т. 44. – № 5. – С. 8–13.

- [42] Турчанинова В.Ф., Алферова И.В. Комплексное исследование динамики основных показателей сердечной деятельности, центрального и регионарного кровообращения в покое и при воздействии ОДНТ в условиях микрогравитации («КАРДИО-ОДНТ») // Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 2. Медико-биологические исследования на российском сегменте МКС. – М., 2011. – С. 56–71.
- [43] Турчанинова В.Ф., Алферова И.В. Медицинский контроль и обеспечение безопасности российских космонавтов в длительных полетах // Авиакосм. и экол. мед. – 2013. – Т. 47. – № 6. – С. 11–17.
- [44] Шхвацабая И.К., Константинов Е.Н., Гундарев И.А. // Кардиология. – 1981. – № 3. – С. 10–14.
- [45] Федоров Б.М., Голубчикова З.А. Ритм сердечной деятельности и аритмии сердца в длительных космических полетах // Физиология человека. – 1992. – Т. 18. – № 6. – С. 109.
- [46] Состояние вен нижних конечностей в кратковременных и длительных космических полетах (по данным окклюзионной плетизмографии) / Фомина Г.А., Котовская А.Р., Талавринов В.А. и др. // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. В 2-х т. – Т. 2. Медико-биологические эксперименты. – С. 520–529.
- [47] Фомина Г.А., Котовская А.Р. Изменение венозной гемодинамики в длительных космических полетах // Авиакосм. и экол. мед. – 2005. – Т. 39. – № 4. – С. 25–30.
- [48] Профилактика неблагоприятного влияния невесомости / Фомина Е.В., Лясова Н.Ю., Козловская И.Б. // Космическая биология и медицина. – М., 2013. – С. 61–79.
- [49] Динамика венозного кровообращения у космонавтов второй экспедиции «Салют-4» / Юганов Е.М., Дегтярев В.А., Нехаев А.С. и др. // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1977. – Т. 10. – № 2. – С. 31–37.
- [50] Яруллин Х.Х. Клиническая реоэнцефаллография. – М., 1983.
- [51] Состояние сосудистой регуляции и регионарной гемодинамики у членов экипажей «Союз-12» и «Союз-13» до и после полетов / Яруллин Х.Х., Васильева Т.Д., Крупина Т.Н. и др. // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1976. – Т. 10. – № 2. – С. 22–30.
- [52] Яруллин Х.Х., Васильева Т.Д. Особенности регионарного кровообращения и вазомоторной регуляции после двухмесячного космического полета // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1977. – Т. 11. – № 3. – С. 20–26.
- [53] Изучение возможности использования пробы с воздействием отрицательного давления на нижнюю часть тела применительно к отбору кандидатов в космонавты / Яруллин Х.Х., Крупина Т.Н., Свирежев Ю.М. и др. // Косм. биол. и авиакосм. мед. – 1978. – Т. 12. – № 4. – С. 4–6.
- [54] Компенсаторно-приспособительные реакции регионарной гемодинамики в невесомости при длительном космическом полете / Яруллин Х.Х., Васильева Т.Д., Турчанинова В.Ф. и др. // Косм. биол. мед. – 1984. – Т. 18. – № 4. – С. 22–28.

ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 159.9

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ (К 95-ЛЕТИЮ Г.Т. БЕРЕГОВОГО)

Н.В. Крылова

Канд. биологических наук Н.В. Крылова (Институт психологии РАН)

Приводятся воспоминания автора статьи о начале совместных исследований Института психологии АН СССР и Центра подготовки космонавтов (ЦПК) им. Ю.А. Гагарина в 1970–1980 гг. в области подготовки будущих космонавтов к деятельности в условиях стресса.

Ключевые слова: психологическая подготовка, условия неопределенности, дефицита времени и частичной невесомости при выполнении прыжков с парашютом.

Psychological Problems of Spaceflight (For the 95-year Anniversary of Georgy Beregovoy). N.V. Krylova

The author remembers the beginning of joint studies conducted at the Institute of Psychology of the Academy of Sciences of the USSR and the Gagarin Cosmonaut Training Center (CTC) in 1970–1980 in the field of training the future cosmonauts for activity under stress conditions.

Keywords: psychological preparation; conditions of uncertainty, time pressure and partial weightlessness when performing parachute jumps.

«Психологические проблемы космических полетов» – так называется книга, вышедшая в издательстве «Наука» в 1979 году.

Эта книга была подготовлена по материалам докладов, прочитанных на первом симпозиуме по психологическим проблемам космических полетов, организованном Институтом психологии АН СССР.

В подготовке симпозиума и создании книги активное участие принимали космонавты: Г.Т. Береговой, А.А. Леонов, Р.И. Севастьянов, Ю.П. Артюхин, П.Р. Попович, Б.В. Воынов, Ю.Н. Глазков, Е.В. Хрунов. Их доклады и статьи отражали особенности влияния условий космического полета на психофизиологическое состояние человека и эффективность его деятельности.

Особое внимание уделялось психологическим проблемам подготовки космонавтов. В этой работе участвовали сотрудники Института психологии АН СССР: Б.Ф. Ломов, Ю.М. Забродин, В.А. Попов, Н.В. Крылова, А.К. Попов, В.Ю. Крылов, Л.Г. Дикая, А.В. Никонов.

Можно сказать, что симпозиум и книга подвели некий промежуточный итог совместной деятельности Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина и Института психологии АН СССР. Практическая работа началась гораздо раньше, в 1972 году.

При формировании направлений исследований первый директор Института психологии РАН Борис Федорович Ломов большое внимание уделял вопросам прикладной психологии, в том числе авиационной и космической.

В состав института вошла лаборатория прикладной психологии, ее заведующим стал Владимир Алексеевич Попов, как он сам говорил – «летающий врач». Раньше он работал в Институте авиационной и космической медицины, где принимал участие в подготовке первых космонавтов. Он обладал глубокими знаниями и практическими навыками в области авиационной медицины и психологии и стремился применить их на практике при подготовке космонавтов, моделируя условия влияния невесомости на устойчивость вестибулярного аппарата человека.

Как заведующий лабораторией прикладной психологии В.А. Попов считал первоочередной задачей составление плана совместных работ с сотрудниками ЦПК. Осенью 1972 года в Центре подготовки космонавтов при участии начальника Центра Г.Т. Берегового обсуждались возможные направления психологических исследований, нацеленных на повышение эффективности подготовки космонавтов к деятельности в условиях стресса (фото 1).



Фото 1. Обсуждение плана совместных работ.
Г.Т. Береговой, В.А. Попов, Н.В. Крылова.
Декабрь 1972 г. ЦПК им. Ю.А. Гагарина

Были определены ответственные исполнители: от ЦПК – И.Б. Соловьева, от ИПАН – Н.В. Крылова.

И мы приступили к работе.

Вдохновителем и руководителем всей программы стал Георгий Тимофеевич Береговой – замечательный человек, искренне преданный своему делу. Он был уверен, что перспективы овладения космическим пространством требуют изучения возможностей человека выполнять различные виды деятельности, его «психологических резервов», влияния факторов космического полета на психические функции, процессы и состояния. И здесь важнейшую роль играет психология [1]. Георгия Тимофеевича интересовала возможность оценки и прогнозирования качества деятельности космонавта по характеристикам его состояния и формирование условий, моделирующих воздействие на человека факторов космического полета.

После определения задач и целей программы в общих чертах надо было решать конкретные вопросы:

– как создать условия, моделирующие воздействие факторов космического полета;

- как сформировать модель конкретной деятельности;
- как осуществить регистрацию показателей качества деятельности в реальном режиме времени;
- как расширить сферу подготовки космонавтов к деятельности в условиях стресса и использовать в практике подготовки различные эмоциогенные ситуации.

В качестве практического средства решения поставленных задач была выбрана парашютная подготовка. Прыжок с парашютом рассматривался как активное средство психологической подготовки космонавтов. Условия «реального» стресса при парашютировании и в свободном падении позволяют в определенной степени воссоздать эмоциональный фон, присущий деятельности космонавта (условия необычности ситуации, ограничения времени работы, сенсорная нагрузка, ощущение риска, ответственность и самостоятельность действий), в сочетании с решением целевой задачи – выполнением элементов профессиональной деятельности [2, 8].

Основной методический принцип, использованный при разработке содержания специальной парашютной подготовки космонавтов (СППК), – выполнение дополнительного задания (модели операторской деятельности) по поиску и оценке предъявляемой информации с одновременным ведением репортажа. После решения сложной задачи обеспечения записи речи оператора в свободном падении была разработана методика выполнения дополнительной задачи на всех этапах прыжка с парашютом и введена в строй программа СППК (С.А. Киселев, Г.М. Колесников). Операторский репортаж должен был отражать решение задачи и включать целый ряд обязательных позиций.

Анализ таких репортажей показал, что мы получили возможность моделировать и оценивать по речи перцептивно-логическую деятельность оператора в условиях стресса. Были разработаны требования к содержанию репортажа:

- речевой отчет о действиях, связанных с выполнением прыжка с парашютом (отделение от вертолета, свободное падение, раскрытие парашюта, парашютирование и приземление);
- оценка воздушной обстановки в свободном падении;
- оценка наземной обстановки;
- обнаружение и расшифровка информации в виде кодовых сигналов, выложенных на земле, в т.ч. в свободном падении;
- оценка текущих показателей секундомера и высотомера;
- решение задач информационного поиска, размещенных на специальных карточках, укрепленных на верхнем клапане запасного парашюта и предъявляемых при отделении от вертолета;
- оценка своего состояния, затруднений и причин ошибочных действий при выполнении задания.

На борту вертолета перед отделением оператор должен был начать репортаж и закончить его после приземления. Эта методика, получившая название «Операторский репортаж», сначала отрабатывалась на прыжках опытных парашютистов ЦПК (С.А. Киселев, Г.М. Колесников, В.И. Крылов, И.Б. Соловьева и др.).

После дополнения задания парашютиста психологическими тестами и контролем психофизиологического состояния оператора до и после прыжка методика «Операторский репортаж» была одобрена и рекомендована для включения в программу подготовки космонавтов к деятельности в экстремальных условиях.

Впервые такую подготовку в условиях прыжков с парашютом к деятельности в экстремальных условиях выполнила группа кандидатов в космонавты (командир В.Г. Титов) на аэродроме в г. Киржаче в 1977 году (фото 2, 3).

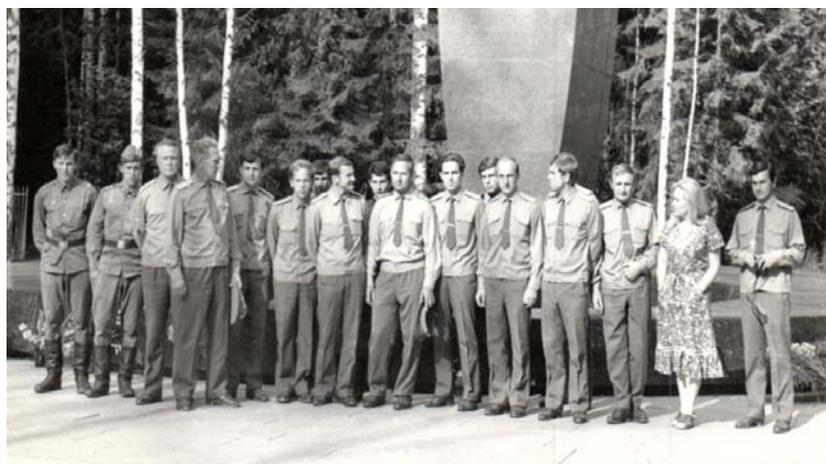


Фото 2. Перед началом тренировки весь отряд посетил место гибели Ю.А. Гагарина



Фото 3. После завершения тренировки.
Беседа с А.А. Леоновым и руководителем этапа подготовки Л.С. Деминым

Прошло много лет, но и сейчас программа СППК используется при подготовке космонавтов и дает положительные результаты.

Мне особенно приятно, что предложенная мной оценка уровня адаптации к стрессу по характеристикам речи была признана реально действующей и весьма убедительной.

Активное сотрудничество Института психологии и Центра подготовки космонавтов проявлялось не только в практической работе в процессе подготовки космонавтов, но и в целом ряде научных статей и докладов на международных конгрессах и различных симпозиумах и конференциях [7, 9].

Григорий Тимофеевич Береговой постоянно был в курсе работы по подготовке космонавтов к деятельности в экстремальных условиях. Он считал, что перед психологией стоит задача полностью раскрыть механизмы возникновения неблагоприятных психофизиологических реакций, возможных в невесомости. Анализ своих действий и ощущений в ходе космического полета, обобщение и сопоставление теоретических предпосылок и практических результатов были изложены Г.Т. Береговым в ряде статей [1, 2, 3]. Затем состоялась защита диссертации по теме «Роль человеческого фактора в космических полетах».

На заседаниях Ученого совета Института психологии АН СССР кандидатские диссертации защитили сотрудники ЦПК И.Б. Соловьева, Ю.Ф. Исаулов, а Ю.Н. Глазков – докторскую диссертацию.

В 1980 году впервые в перечень академических журналов вошел «Психологический журнал». Раздел «Психологическая наука и практика» (т. 1, № 1) открывала статья Г.Т. Берегового «Психологическая подготовка – один из важнейших факторов повышения безопасности космических полетов».

В том же 1980 году состоялось научное заседание, в котором участвовали представители ИП АН СССР, ЦПК им. Ю.А. Гагарина, МГУ, ИМБП, ЦКБМ, НПО «Энергия». Обсуждалась информация об исследованиях, ведущихся в области космической психологии.

Г.Т. Береговой выступил с предложением о создании секции космической и авиационной психологии при Президиуме Центрального совета Общества психологов СССР. Это предложение было одобрено и принято единогласно.

Б.Ф. Ломов утвердил «Положение о секции авиационной и космической психологии», председателем секции стал Г.Т. Береговой. Был составлен план работы на 1981 год, в соответствии с которым в ЦПК им. Ю.А. Гагарина проводились научные заседания секции. Доклады были посвящены различным проблемам авиационной и космической психологии: «Индивидуальные стили познавательной деятельности космонавтов» (к.пс.н. О.И. Жданов); «Современное представление о психофизиологической структуре деятельности летчика в различных режимах управления на посадке» (д.м.н. В.А. Пономаренко); «Психологическое моделирование как метод подготовки к деятельности в условиях стресса» (к.пс.н. И.Б. Соловьева, к.биол.н. Н.В. Крылова). Это только некоторые темы.

В обсуждении научных проблем активное участие принимали ученые, специалисты, занимающиеся конкретными разработками в области космической психологии, летчики-космонавты, ведущие научную работу.

В последующие годы работы секции (1982–1984) много внимания уделялось вопросу психических состояний, их коррекции и психологической поддержки в практике обеспечения деятельности космонавтов в полете.

Большой интерес и много вопросов вызывали выступления космонавтов: Ю.В. Романенко «Роль психологической подготовки в практике космического полета»; Л.И. Попова «Личные впечатления о психологической поддержке»; В.А. Джанибекова «Психологические аспекты подготовки космонавтов на тренажерах»; Ю.И. Глазкова «Некоторые аспекты анализа ошибочных действий человека-оператора»; А.М. Березового «Особенности формирования экипажей космического корабля».

Обмен информацией между учеными и космонавтами был чрезвычайно полезен и способствовал формированию и постановке новых задач.

Дальнейшая работа секции проходила по двум направлениям:
– научные заседания;

– подготовка второго симпозиума по теме «Психологические проблемы космических полетов».

Особое внимание уделялось следующим вопросам:

- адекватность состояния оператора на тренажере и в полете;
- принятие решений в условиях воздействия длительного и кратковременного стресса;
- особенности формирования образа полета у оператора летательного аппарата;
- влияние личностных аспектов на деятельность человека-оператора;
- прогнозирование и оценка качества деятельности.

Новый раздел совместных исследований составила работа по оптимизации словаря для командно-речевой информационно-управляющей системы (КРИУС). Результаты исследований 70–80-х годов четко определили необходимость создания психологической службы обеспечения безопасности космических полетов.

В заключение хочется сказать следующее: научно-практическая работа, в которой в те годы принимали участие сотрудники Института психологии АН СССР и Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, была очень интересной, полезной и плодотворной. Подтверждением может служить список литературы, содержащий перечень только нескольких публикаций в 1970–1980-х годах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Береговой Г.Т. Психологическая подготовка – один из важнейших факторов повышения безопасности космических полетов // Психологический журнал. – 1980. – Т. 1, № 1. – С. 104–107.
- [2] Об оценке эффективности работы человека в условиях космического полета / Береговой Г.Т., Крылова Н.В., Соловьева И.Б., Шибанов Г.П. // Вопросы психологии. – 1974. – № 4. – С. 3–9.
- [3] К проблеме оценки и прогнозирования качества деятельности оператора по характеристикам его состояния / Береговой Г.Т., Крылов В.Ю., Крылова Н.В., Ломов Б.Ф., Хачатурьянц Л.С. // Вопросы психологии. – 1974. – № 5. – С. 63–70.
- [4] Человек и управление полетом / Береговой Г.Т., Попов В.А., Пономаренко В.А. // Авиация и космонавтика. – 1972. – № 10.
- [5] Завалова Н.Д., Пономаренко В.А. Психическое состояние человека в особых условиях деятельности // Психологический журнал. – 1983. – Т. 4, № 6. – С. 92–105.
- [6] Климук П.И. Морально-политическая и психологическая подготовка к космическим полетам // Психологический журнал. – 1980. – Т. 1, № 6. – С. 113–118.
- [7] Психологические проблемы космических полетов. – М.: Наука, 1979.
- [8] Соловьева И.Б. Экспериментальное моделирование и исследование деятельности оператора в условиях эмоционального стресса // Психологический журнал. – 1983. – Т. 4, № 3. – С. 42–50.
- [9] Yu.P. Artyukhin, G.M. Kolesnikov, N.V. Krylova, I.B. Solovyova. Some Aspects of the Problem of Increasing Space Flight Safety // XXVII Congress International Astronautical Federation. Anaheim, USA, 1976.

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION

МОЛОДЕЖНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ»

22–24 июня 2016 года, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»,
Звездный городок, Московская область

Youth Conference

“New Materials and Technologies in Rocket-and-Space and Aviation Industry”

June 22–24, 2016, State Organization “Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center”,
Star City, Moscow Region

Молодежная конференция «Новые материалы и технологии в ракетно-космической и авиационной технике» традиционно шестой год подряд проходила в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» с 22 по 24 июня 2016 года при поддержке Госкорпорации «Роскосмос». Организаторами мероприятия были Комитет Торгово-промышленной палаты РФ по развитию авиационно-космического комплекса, федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина») и Государственный университет управления (ГУУ).

Основная задача молодежной конференции – выявление талантов и поддержка научно-технического творчества российской молодежи в сфере новых материалов и технологий для ракетно-космической и авиационной отраслей промышленности, обмен опытом между специалистами смежных отраслей, расширение научно-технического кругозора молодых конструкторов, технологов и управленцев.

В программу конференции были включены доклады по следующим секциям:

1. Новые материалы и технологии для ракетно-космической и авиационной техники.
2. Системы и устройства для ракетно-космической и авиационной техники.
3. Автоматизированные системы управления и проектирования.
4. Технологии двойного назначения (применение ракетно-космических и авиационных технологий в других отраслях промышленности, народном хозяйстве, медицине, бытовой технике и др.).
5. Менеджмент и экономика инноваций.

На торжественных мероприятиях открытия и завершения конференции с приветственным словом к участникам и гостям выступили: заместитель начальника ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» Валерий Александрович Сиволап; исполнительный директор по пилотируемым космическим программам Госкорпорации «Роскосмос», летчик-космонавт РФ, Герой СССР и Герой России Сергей Константинович Крикалёв; летчик-космонавт РФ, Герой России Михаил Владиславович Тюрин; вице-президент Торгово-промышленной палаты РФ Дмитрий

Николаевич Курочкин; руководитель Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по развитию авиационно-космического комплекса, руководитель оргкомитета конференции, к.т.н. Александр Николаевич Белоусов; руководитель проекта «Конференция», директор бизнес-инкубатора ГУУ Алексей Иванович Сазонов.

В конференции приняли участие 68 специалистов из 35 организаций ракетно-космической и авиационной отраслей промышленности. На конкурс было представлено 38 научно-технических докладов. В течение двух дней в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» проходили заслушивания докладов участников. Экспертный совет из специалистов ведущих предприятий ракетно-космической отрасли подвел итоги конкурса докладов и определил победителей в соответствующих секциях. Победители получили почетные грамоты от ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», денежные призы и полугодовую подписку от журнала «Наука и жизнь».

Участникам и гостям конференции была предложена программа дополнительных мероприятий, включающая в себя: посещение молодежного образовательного Космоцентра; экскурсии по технической базе с посещением тренажеров транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА», орбитального комплекса «Мир» и российского сегмента Международной космической станции; показ видеофильмов о пилотируемой космонавтике, работе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» и полете МКС, экскурсия в Центральный музей Военно-воздушных сил (Монино).

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. Редколлегия 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 06.09.16.
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.
Усл. печ. л. 12,08. Тираж 120 экз. Зак. 323-16.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»