

**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. Игнатьев,**

**Р.Р. Каспранский,**

**О.Д. Кононенко,**

**Б.И. Крючков,**

**А.А. Курицын,**

**Г.Д. Орешкин,**

**В.И. Почуев,**

**В.Н. Саев,**

**Ю.Б. Сосюрка,**

**И.Г. Сохин,**

**М.Л. Титова,**

**М.В. Тюрин,**

**В.М. Усов,**

**М.М. Харламов,**

**В.И. Ярополов.**

## СОДЕРЖАНИЕ

ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС.....	4
Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-44/45 при выполнении программы космического полета. <i>О.Д. Кононенко</i> .....	4
Медицинское обеспечение полета экипажа МКС-44/45 (экспресс-анализ). <i>В.В. Богомолов, В.И. Почуев, И.В. Алферова</i> .....	15
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС.....	25
Построение и энергомассовые характеристики группы регенерационных систем водообеспечения космической станции. <i>С.Ю. Романов, Л.С. Бобе</i> .....	25
Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий. <i>Б.И. Крючков, В.М. Усов, В.И. Ярополов, Ю.Б. Сосюрка, С.С. Троицкий, П.П. Долгов</i> .....	35
Средства подготовки космонавтов для работы с перспективной робототехнической системой. <i>П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной, Н.А. Бачмановский</i> .....	58
Подход к формированию классификатора нештатных ситуаций космических полетов на основе использования текстологического метода извлечения знаний. <i>Ю.И. Онуфриенко, В.И. Ярополов, А.А. Курицын</i> .....	67
Создание экспериментальных моделей замкнутых биолого-технических систем космического назначения на расчетную «долю человека». <i>А.А. Тихомиров, С.А. Ушакова</i> .....	82

Некоторые аспекты психологической поддержки космонавтов с помощью антропоморфных робототехнических систем в длительном автономном космическом полете. <i>В.Г. Сорокин, В.И. Гуцин, Д.М. Швед, О.О. Рюмин</i> .....	91
Изменение физических возможностей космонавтов с возрастом. <i>В.Г. Назин</i> .....	105
ДИСКУССИИ.....	113
Проблемы проектов планетных экспедиций и стратегия космической экспансии. <i>И.А. Соболев</i> .....	113
ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ .....	126
Исторические аспекты разработки комплексных методов вестибулярной подготовки космонавтов. <i>В.Н. Алексеев, Р.Р. Каспранский</i> .....	126
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ .....	133
Космический форум, посвященный 55-летию полета Ю.А. Гагарина в космос.....	133
Информация для авторов и читателей .....	134

## CONTENTS

RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS .....	4
Main Results of the ISS-44/45 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. <i>O.D. Kononenko</i> .....	4
Medical Support of the ISS-44/45 Crew Members (Express Analysis). <i>V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova</i> .....	15
THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS .....	25
Construction and Energy-Mass Characteristics of the Group of Regenerative Systems for Water Supply of the Space Station. <i>S.Yu. Romanov, L.S. Bobe</i> .....	25
On the Features of Professional Activity of Cosmonauts When Implementing Lunar Missions. <i>B.I. Kryuchkov, V.M. Usov, V.I. Yaropolov, Yu.B. Sosyurka, S.S. Troitsky, P.P. Dolgov</i> .....	35
Means of Cosmonaut Training for Work with an Advanced Robotic Systems. <i>P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy, [N.A. Bachmanovsky]</i> .....	58
An Approach to the Formation of the Classifier of Off-Nominal Situations in Spaceflight by Using the Textual Method of Knowledge Extraction. <i>Yu.I. Onufrienko, V.I. Yaropolov, A.A. Kuritsyn</i> .....	67
Creation of the Experimental Models of Closed Biological Life Support Systems per a Calculated “Human Share”. <i>A.A. Tikhomirov, S.A. Ushakov</i> .....	82
Some Aspects of Psychological Support of Cosmonauts by Using Anthropomorphous Robotic Systems in Long-Duration Autonomous Spaceflight. <i>V.G. Sorokin, V.I. Gushchin, D.M. Shved, O.O. Ryumin</i> .....	91
Change of Cosmonauts’ Physical Capacities with Age. <i>V.G. Nazin</i> .....	105
DISCUSSIONS .....	113
Problems of Planet Expedition Projects and the Strategy of Expansion in Space. <i>I.A. Sobolev</i> .....	113
HISTORY. EVENTS. PEOPLE .....	126
Historical Aspects of the Development of Integrated Methods for Vestibular Training of Cosmonauts. <i>V.N. Alekseev, R.R. Kaspransky</i> .....	126
SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION.....	133
Space Forum Dedicated to the 55-year Anniversary of Gagarin’s Space Flight .....	133
Information for Authors and Readers .....	134

# ИТОГИ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕЙ МКС

## RESULTS OF THE ISS CREW MISSIONS

УДК 629.78.007

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДГОТОВКИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА МКС-44/45 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММЫ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА О.Д. Кононенко

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ О.Д. Кононенко  
(Роскосмос, Россия)

Рассматриваются результаты деятельности экипажа МКС-44/45 на борту транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз ТМА-17М» и Международной космической станции (МКС). Дается сравнительный анализ и оценивается вклад экипажа в общую программу космических полетов на МКС. Особое внимание уделяется проведению научно-прикладных исследований и экспериментов на борту станции. Даются замечания и предложения по совершенствованию российского сегмента (РС) Международной космической станции.

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

#### **Main Results of the ISS-44/45 Expedition Training and Activity When Carrying out the Mission Plan. O.D. Kononenko**

The paper considers results of the ISS-44/45 expedition's activity aboard the «Soyuz-TMA-17M» transport spacecraft and ISS. Also, it presents the comparative analysis and estimation of the crew's contribution to the general ISS flight program. Particular attention is paid to implementation of scientific applied research and experiments aboard the station. Comments and suggestions to improve the ISS Russian Segment and cosmonaut training are given.

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

#### **Состав экипажа и основные результаты полета**

Основной экипаж длительной экспедиции МКС-44/45 в составе:

Кононенко Олег Дмитриевич	командир ТПК «Союз ТМА-17М» бортинженер МКС-44/45 (Роскосмос, Россия)
Юи Кимия	бортинженер ТПК «Союз ТМА-17М» бортинженер МКС-44/45 (ДжАКСА, Япония)
Линдгрэн Челл	бортинженер-2 ТПК «Союз ТМА-М» бортинженер МКС-44/45 (НАСА, США)

выполнил космический полет длительностью 142 суток с 23 июля 2015 года по 11 декабря 2015 года. Позывной экипажа ТПК «Союз ТМА-17М» – «Антарес».



Экипаж экспедиций МКС-44/45

### Опыт полетов членов экипажа

Кононенко Олег Дмитриевич в отряде космонавтов с 1998 года. До назначения в экипаж выполнил два космических полета. 1-й полет – с 8 апреля по 24 ноября 2008 года в качестве бортинженера ТПК «Союз ТМ-12», 2-й полет – с 21 декабря 2011 года по 1 июля 2012 года в качестве командира ТПК «Союз ТМА-ОЗМ», длительность полетов – 391 сутки 11 часов. Герой Российской Федерации. Инструктор-космонавт-испытатель, 473-й космонавт мира, 102-й космонавт Российской Федерации.

Юи Кимия – астронавт ДжАКСА (Япония), в отряде ДжАКСА с мая 2009 года, 10-й астронавт Японии. Опыта космических полетов не имел, 542-й астронавт мира.

Линдгрэн Челл – астронавт НАСА. В отряде астронавтов НАСА с 2009 года. Опыта космических полетов не имел. Выполнил космический полет длительностью 142 суток. В полете выполнил 2 выхода в открытый космос продолжительностью 15 часов, 338-й астронавт НАСА, 543-й астронавт мира.

### Основные итоги полета

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-17М» был произведен 23 июля 2015 года с космодрома Байконур (Казахстан).

ТКП = 00:02:44; ТКО = 00:11:32 декретного московского времени (ДМВ).  
Параметры орбиты выведения: период  $T = 88,69$  минут, наклонение  $i = 51,65$  град.,  
высота  $h \times H = 247$  км  $\times$  240,55 км.

В космическом полете выполнены следующие работы:

– доставка экипажа экспедиции МКС-44/45 на борт МКС, завершившаяся стыковкой 23 июля 2015 года ТПК «Союз ТМА-17М» в автоматическом режиме с МКС к стыковочному узлу модуля «Рассвет» (МИМ1); ( $T_{МЗ} = 05:45$  ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля выполнялось по 4-витковой схеме полета;

- выход в космос ВКД-41 осуществлен 10 августа 2015 года из стыковочного отсека СО1, продолжительность выхода – 5 часов 31 минута, выход выполнили космонавты Г.И. Падалка и М.Б. Корниенко;
- расстыковка ТК «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 SSRMS, перемещение и установка корабля к надирной части модуля Node2 АС МКС выполнены 24 августа 2015 года ( $T_{\text{окончания затяжки болтов}} = 18:03$  ДМВ);
- научные исследования и эксперименты в соответствии с программой НПИиЭ;
- перестыковка экипажем ТПК «Союз ТМА-16М» с МИМ2 на АО СМ осуществлена 28 августа 2015 года ( $T_{\text{стыковки}} = 10:30:21$  ДМВ);
- техническое обслуживание бортовых систем, дооснащение, ремонтно-восстановительные работы, проведение телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок; работы по программе символической деятельности;
- перестыковка экипажем ТПК «Прогресс М-16М» с МИМ2 на АО СМ осуществлена 28 августа 2015 года ( $T_{\text{стыковки}} = 10:30:21$  ДМВ);



Г.И. Падалка и О.Д. Кононенко готовятся к выполнению динамических режимов

- стыковка ТПК «Союз ТМА-18М» к стыковочному узлу модуля малого исследовательского модуля «Поиск» (МИМ2) выполнена 4 сентября 2015 года ( $T_{\text{мз}} = 10:39:03$  ДМВ); сближение пилотируемого корабля проводилось по 2-суточной схеме полета, корабль доставил на борт МКС членов экспедиции посещения ЭП-18;
- 10 сентября 2015 года подписан акт о передаче смены по РС МКС от Г.И. Падалки (ответственный за РС МКС-43/44) О.Д. Кононенко (ответственный за РС МКС-43/44);
- расстыковка ТК «Союз ТМА-16М» от стыковочного узла модуля МИМ2 осуществлена 12 сентября 2015 года; время посадки СА – 03:51:33 ДМВ;
- расстыковка грузового корабля НТВ-5 от МКС произведена 28 сентября 2015 года; время отделения от манипулятора станции – 19:53 ДМВ;
- сближение американского грузового корабля «Cygnus» Orb-4 с МКС, захват манипулятором станции SSRMS, перемещение и установка корабля к на-

дирной части модуля Node1 АС МКС выполнены 9 декабря 2015 года

(Токончания затяжки болтов = 18:25 ДМВ);

– 9 декабря 2015 года подписан акт о передаче смены по РС МКС от О.Д. Кононенко (ответственный за РС МКС-44/45) С.А. Волкову (ответственный за РС МКС-45/46);

– возвращение на Землю экипажа МКС-44/45, расстыковка и посадка ТПК «Союз ТМА-17М» осуществлены 11 декабря 2015 года. Время расстыковки – 12:49:37 ДМВ, время посадки СА – 16:12:14 ДМВ.

Состав экипажа корабля «ТМА-17М» при выполнении спуска:

– Кононенко Олег Дмитриевич – командир корабля (Роскосмос, Россия);

– Юи Кимия – бортинженер (ДжАКСА, Япония);

– Линдгрэн Челл – бортинженер-2 (НАСА, США).

### Основные задачи подготовки экипажа к полету

Подготовка к полету основного экипажа МКС-44/45 в составе командира ТПК «Союз ТМА-17М» Кононенко Олега Дмитриевича, бортинженера Юи Кимия и бортинженера-2 Линдгрена Челла проводилась с 25 ноября 2014 года. Программа подготовки была разработана с учетом задач полета, уровня подготовленности и функциональных обязанностей членов экипажа.

Основными задачами подготовки по МКС и ТПК «Союз ТМА-17М» и МКС являлись:

– подготовка, направленная на формирование у членов экипажа знаний и умений, необходимых для выполнения ими функциональных обязанностей в составе экипажа ТПК «Союз ТМА-17М»;

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при управлении бортовыми системами и агрегатами ТПК на всех этапах полета (в штатных и нештатных ситуациях);

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении сближения, причаливания, стыковки и перестыковки ТПК «Союз ТМА-17М» на все стыковочные узлы РС МКС;

– отработка навыков выполнения ручного управляемого спуска (РУС);

– отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РО-АК;

– отработка навыков построения орбитальной ориентации в режимах РО-ДК;

– построение солнечной ориентации и закрутки ТПК в режимах РО-АК и РО-ДК;

– подготовка членов экипажа к действиям в аварийных ситуациях: пожар, разгерметизация, токсичность атмосферы;

– отработка действий по выполнению срочного спуска с орбиты в случае покидания МКС;

– отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа при выполнении расстыковки ТПК с неориентированной и нестабилизированной МКС;

– подготовка к выполнению сближения и причаливания ТПК «Прогресс М» на стыковочные узлы РС МКС в режиме ТОРУ;

– подготовка экипажа по контролю автоматического сближения и стыковке ТПК «Прогресс М» с МКС;

– подготовка экипажа к приему, передаче смены и совместной работе в полете с экипажами МКС-43/44, МКС-45/46/ЭП-18;

- подготовка экипажа к выполнению операций по консервации и расконсервации ТПК, операциям по обеспечению готовности ТПК к спуску в случае срочного покидания МКС;
- подготовка членов экипажа к эксплуатации бортовых систем РС МКС (модули ФГБ, СМ, СО1, МИМ1, МИМ2);
- подготовка к выполнению технического обслуживания, ремонта и дооснащения систем РС МКС;
- ознакомление с выполнением разгрузочно-погрузочных работ на грузовых кораблях, укладке снаряжения и личных вещей, возвращаемых грузов на пилотируемых кораблях;
- подготовка к выполнению программы научно-прикладных исследований и экспериментов на российском сегменте МКС, в том числе к выполнению медико-биологических исследований и экспериментов;



О.Д. Кононенко. Работа над экспериментами

- отработка навыков, умений и взаимодействия членов экипажа в случае нештатной посадки в различных климатогеографических зонах;
- подготовка к адаптации к факторам космического полета, отработка навыков оказания само- и взаимопомощи и эксплуатации бортовых медицинских средств.

### **Полет на борту транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-17М»**

Старт транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-17М» был произведен 23 июля 2015 года с космодрома Байконур. Выведение, отделение корабля от ракеты-носителя прошло штатно,  $T_{КП} = 00:02:44$  ДМВ;  $T_{КО} = 00:11:32$  ДМВ. В процессе предстартовой подготовки замечаний к работе бортовых систем не выявлено.

После выведения зафиксировано нераскрытие СБ по 4-й плоскости. Повторная команда КРЛ на раскрытие СБ результата не дала. По докладу ЦУПа-Х раскрытие СБ произошло на этапе причаливания (05:38:54 ДМВ).

26 июля 2015 года на 3-м и 4-м витках выполнен режим автоматического сближения и стыковки с МКС к стыковочному узлу модуля МИМ1 ( $T_{М.з.} = 05:45$ : ДМВ). Сближение транспортного пилотируемого корабля проводилось по 4-витковой схеме сближения.



После выведения не открылась левая панель солнечной батареи; самопроизвольное открытие произошло через 20 минут после стыковки.

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-17М».

11 декабря 2015 года, завершив программу полета на борту МКС, экипаж экспедиции МКС-44/45 приступил к подготовке к возвращению на Землю. На 11-м суточном витке выполнена расконсервация корабля. После разрешения ЦУПа в 09:40:00 выполнили ЗПЛ. Переход на автономное питание выполнен на 12-м суточном витке в 09:38:30 ДМВ. На этом же витке провели проверку герметичности переходных люков.

Подготовка к расстыковке проводилась по штатной программе полета. На 13-м суточном витке, после перехода в СА и закрытия люка СА-БО, выполнили проверку герметичности скафандров и люка СА-БО. Проверка прошла без замечаний.

Расстыковка выполнена 11 декабря 2015 года на 14-м суточном витке в автоматическом режиме с одним импульсом отвода. Команда на открытие крюков ТПК по указанию ЦУПа выдана экипажем в 12:48:00 ДМВ, время фактической расстыковки – 12:49:37 ДМВ.

Спуск выполнялся по штатной программе. Включение СУДН для выполнения спуска было выполнено на 15-м суточном витке в 14:18: 50 ДМВ, посадка – на 1-м суточном витке. По указанию ЦУПа в 15:07:00 ДМВ экипаж запретил ИКВ-1 и ИКВ-2. Время включения СКД для выдачи тормозного импульса – 15:19:19 ДМВ. Двигатель работал штатно, тормозной импульс 128,0 м/с без замечаний. Разделение отсеков прошло в 15:46:35 ДМВ. Спуск в атмосфере выполнен в режиме АУС. Внеатмосферный промах составил +7 секунд. Максимальная перегрузка – 4,5 единиц. Посадка осуществлена 11 декабря 2015 года в 16:12:14 ДМВ в расчетной точке с координатами 47° 27' с.ш., 69° 11' в.д. ПСС обнаружили СА на парашюте в расчетном районе.

Работа по эвакуации началась приблизительно через 20 минут после приземления. Аппарат находился на боку.

## Полет на борту МКС

Экипаж МКС-44/45 работал на борту МКС 142 суток с 23 июля 2015 года по 11 декабря 2015 года. Экипаж на российском сегменте МКС выполнил обширный объем работ по техническому обслуживанию и дооснащению бортовых систем МКС, программу научных исследований и экспериментов, провел ремонтно-восстановительные работы, большое количество телевизионных репортажей, видео- и фотосъемок.

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

- диагностика приборов БФ-2 и БСШ-2 системы электропитания ФГБ;
- перекачка урины из ЕДВ-У в БВ2 системы «Родник» ТГК «Прогресс М-26М»;
- проверка фидерных трактов антенно-фидерного устройства (АФУ) межбортовой радиолнии (МБРЛ) с использованием спектрометра FSH3;
- диагностика ноутбука RSK2;

- отбор проб воды из БРП-М и СВО-ЗВ в пакеты для напитков для возврата на Землю;
  - наддув атмосферы МКС кислородом средствами ТК «Прогресс М-26М»;
  - забор проб воздуха в японском грузовом корабле HTV-5;
  - тестовая проверка бортового запоминающего устройства системы РСПИ;
  - регламентное обслуживание клапанов баков системы «Родник» СМ;
  - ремонтные работы по установке накладных листов на панелях интерьера СМ;
  - замена регуляторов тока РТ-1М №№ 2, 6, 8 СЭП СМ;
  - замена поврежденного кабеля в составе оборудования бортового тренажера ТОРУ РС МКС;
  - замена блока фильтров (БФ) газоанализатора ИК0501 в СМ;
  - замена блока ПТАБ-1М модуля АБ № 6 в СМ.
- Выполнены основные работы по дооснащению РС МКС доставленным оборудованием:
- установка на лэптоп RSK2 программного обеспечения версии 4.1;
  - установка цифрового моноблока КЛ-121/122Ц телевизионной системы СМ;



О.Д. Кононенко. Диагностика лэптопа и установка новой программы

- установка новой версии 1.11 программного обеспечения бортового тренажера ТОРУ;
  - установка и подключение цифрового моноблока КЛ-108/109Ц в МИМ1.
- В процессе работ по связям с общественностью проводились ТВ-сеансы связи с председателем Правительства РФ Д.А. Медведевым, участниками Международной космической олимпиады школьников, участниками XIII Королевских чтений и фестиваля «Азбука науки»; ТВ-приветствия с Днем государственного флага России, участников IV Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники», Военно-воздушной академии имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина; ТВ-поздравления выпускников и сотрудников Военной академии имени Петра Великого в честь 195-летия со дня образования академии и другие поздравления. Также была выполнена видеосъемка сюжетов о работе российских космонавтов на борту РС МКС для сайта Роскосмоса и социальных сетей.
- В период работы экипажа на борту станции проведены следующие динамические операции:

- расстыковка ТГК «Прогресс М-26М»;
- стыковка японского грузового корабля НТВ-5;
- перестыковка ТПК «Союз ТМА-16М» с МИМ2 на АО СМ;
- стыковка ТПК «Союз ТМА-18М»;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-16М»;
- расстыковка японского грузового корабля НТВ-5;
- стыковка ТГК «Прогресс М-29М»;
- стыковка американского грузового корабля «Cygnus» Orb-4;
- расстыковка ТПК «Союз ТМА-17М».

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

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

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

С 23 июля 2015 года по 12 сентября 2015 года – совместный полет с экипажем МКС-43/44 в составе:

- Падалка Геннадий Иванович (бортинженер экспедиции МКС-43, командир экспедиции МКС-44, Роскосмос, Россия);
- Корниенко Михаил Борисович (бортинженер МКС-43/44/45/46, Роскосмос, Россия);
- Келли Скотт Джозеф (бортинженер экспедиций МКС-43/44, командир экспедиций МКС-45/46, НАСА, США).

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

- Волков Сергей Александрович (бортинженер МКС-45/46/ЭП-18, Роскосмос, Россия);
- Могенсен Андреас (бортинженер ЭП-18, ЕКА, Дания);
- Аимбетов Айдын Аканович (бортинженер-2 МКС-45/46/ЭП-18, Казкосмос, Казахстан).

### **Внекорабельная деятельность**

Во время полета экспедиции МКС-44/45 был выполнен один выход в открытый космос ВКД-41 из стыковочного отсека (СО1) «Пирс» 10 августа 2015 года в скафандрах «Орлан-МК» продолжительностью 5 часов 31 минута.

Выход совершили космонавты Г.И. Падалка и М.Б. Корниенко из состава экспедиции МКС-44. Была оказана помощь космонавтам на этапе прямого и обратного шлюзования, а также при сушке скафандра «Орлан-МК» после проведения ВКД.

Считаю, что время, выделенное оператору «3» на проведение подготовительных операций, достаточно. Однако, если оператор «3» не является российским космонавтом, то на выполнение данных операций необходимо увеличить выделяемое время.

Также отмечу, что при приведении бортовых систем МКС в состояние перед ВКД нет необходимости в отключении СРВ-К2М и консервации АСУ.

По программе АС МКС в процессе полета экспедиции было выполнено два выхода в 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.

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

В процессе полета на борту российского сегмента МКС экипажем выполнялись исследования и эксперименты на основании «Программы реализации научно-прикладных исследований».

Отмечено позитивное отношение специалистов при выполнении работ в полете. Замечания экипажа решались специалистами в рабочем порядке.

Неудовлетворительное планирование работ группы медицинского обеспечения и медицинских экспериментов. Планировались несколько дней подряд однотипные работы, связанные с ношением датчиков и проводов, что вызывало дискомфорт. Необходимо организовать взаимодействие между постановщиками медицинских экспериментов и специалистами, контролирующими состояние здоровья экипажа.

Требуется изготовление оборудования, используемого при проведении медицинских исследований (медицинские пояса и шапочки), индивидуально для каждого космонавта.

Наибольшее количество экспериментов было проведено по направлениям «Космическая биология и биотехнология», «Технологии освоения космического пространства» и «Исследование Земли и космоса».

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

- ТХН-9 «Кристаллизатор» (перенос и передача);
- 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-мини РСА» (очистка вентиляционных отверстий БЗУ-М);
- КПТ-22 «Экон-М».

*Человек в космосе:*

- МБИ-26 «Мотокард»;
- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-31 «Кардиовектор»;
- МБИ-33 «Биокард» (помощь и фотографирование);
- МБИ-34 «Космокард»;
- МБИ-36 «Контент»;

---

\* – эксперимент выполняется без участия космонавтов

- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- БИО-14 «Биосигнал»;
- РБО-3 «Матрешка-Р»;
- работы с дозиметром «Пилле-МКС».

*Космическая биология и биотехнология:*

- БИО-1 «Полиген» (перенос);
- БИО-2 «Биориск» (пассивное экспонирование);
- БИО-18 «Регенерация» (перенос);
- БИО-19 «Феникс» (пассивное экспонирование);
- БТХ-10 «Конъюгация»;
- БТХ-11 «Биодеградация»;
- БТХ-14 «Биоэмульсия»;
- БТХ-41 «Бактериофаг» (пассивное экспонирование);
- БТХ-42 «Структура»;
- БТХ-45 «Биопленка»;
- БТХ-49 «Фаген»;
- БТХ-50 «Константа-2»;
- БТХ-51 «Продуцент» (перенос).

*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-62 «Альбедо» (автомат);
- ТЕХ-64 «Пробой»;
- ТЕХ-65 «Контур-2»;
- КПП-2 «Бар».

*Образование и популяризация космических исследований:*

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

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

- АСП-1 «SPHERES-ZeroRobotics»;
- АСП-6 «OASIS».

*Программа УКП ЭП-18:*

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

Научные эксперименты в период полета экипажа МКС-44/45 выполнялись 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».

Всего – 51, из них 8 без участия экипажа.

*Новые эксперименты:*

- МБИ-27 «УДОД»;
- МБИ-36 «Контент»;
- МБИ-37 «Пилот-Т»;
- МБИ-38 «Взаимодействие-2»;
- МБИ-39 «ДАН»;
- БТХ-49 «Фаген»;
- БТХ-50 «Константа-2»;
- БТХ-51 «Продуцент»;
- АСР-6 «OASIS».

### **Заключение**

Подводя итоги результатов подготовки и выполнения программы полета экипажа длительной экспедиции МКС-44/45, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Уровень подготовленности экипажа МКС-44/45 по транспортному кораблю «Союз ТМА-17М» и российскому сегменту МКС позволил экипажу успешно выполнить запланированную программу космического полета.

2. Полет экипажа МКС-44/45 продолжил этап эксплуатации МКС международными экипажами из шести человек, в числе которых три космонавта Роскосмоса.

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-44/45  
(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-44/45. 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-44/45 Crew Members (Express Analysis).****V.V. Bogomolov, V.I. Pochuev, I.V. Alferova**

The paper shows the results of medical maintenance of the ISS-44/45 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**

Этапы полета основной экспедиции.

23.07.15. Старт ТПК «Союз ТМА-17М» № 717 – 00:02:46 ДМВ.

23.07.15. Стыковка ТПК «Союз ТМА-17М» № 717 к МИМ1 – 02:45 GMT/  
05:45 ДМВ.

11.12.15. Расстыковка ТПК «Союз ТМА-17» № 717 от МИМ1 – 09:44 GMT/  
12:44 ДМВ.

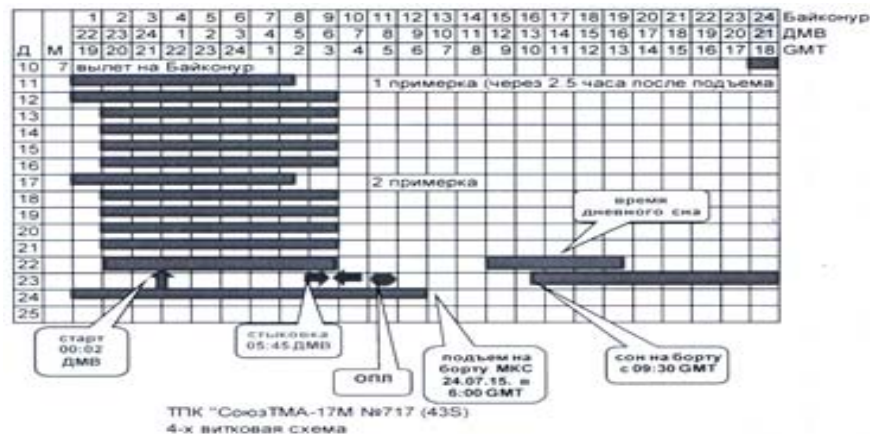
Время посадки – 16:26:39 ДМВ.

Старт экипажа ТПК «Союз ТМА-17М» № 717 в составе КК Олега Кононенко, БИ Кимия Юи и БИ-2 Челла Линдгрена состоялся 23.07.15 г. в 00:03 ДМВ. После выполнения маневров сближения была проведена стыковка ТПК № 717 с МКС в автоматическом режиме в 05:45:07 ДМВ. Операции по стыковке проведены по короткой 4-витковой схеме.

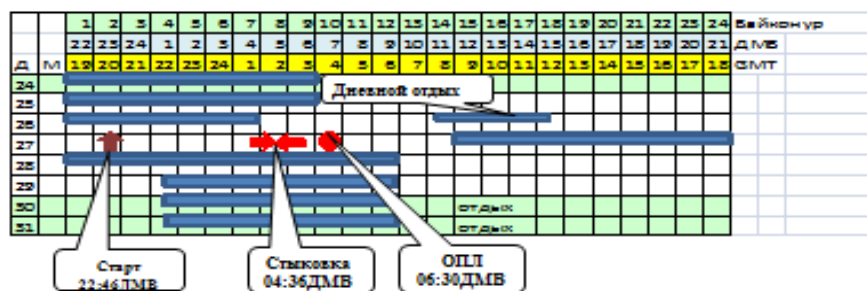
После ОПЛ в 07:56 ДМВ экипаж перешел на станцию и приступил к выполнению служебных операций. По прибытии на станцию функции БИ-4 возложены на О. Кононенко, БИ-5 на К. Юи и БИ-6 на Ч. Линдгрена.

По завершении рабочего дня всем космонавтам было предоставлено время для сна и отдыха с 9:30 GMT и до 6:00 GMT 24.07.15 г. продолжительностью 20 часов 30 минут.

В сутки стыковки рабочая нагрузка у КК/БИ-4 составила 9,5 часа, период бодрствования – 21 час. После стыковки и последующего отдыха космонавтам



РТО в предстартовом периоде и в период старта экипажа «Союз ТМА-17М»



РТО экипажа ТПК «Союз» № 717 до старта и при 4-витковой схеме сближения и стыковки

25 и 26.07.15 г. были предоставлены два выходных дня, которые в большей мере были использованы по назначению.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений», с 24.07.15 г. рабочая зона у БИ-4 сокращена на 1 час для адаптации и ознакомления со станцией.

На 3-й неделе полета 10.08.15 г. КЭ Г. Падалка и БИ-2 М. Корниенко выполнили операцию «Выход» ВКД-41. Во время проведения ВКД БИ-4 оказывал помощь космонавтам при входе в СК и в ходе обратного шлюзования. В этот день рабочая нагрузка у БИ-4 была увеличена до 6 часов. 11.08.15 г. у экипажа был отдых полдня. В ночь на 12.08.15 г. на АС МКС возникла нештатная ситуация по отключению электропитания и циркуляции воздуха. БИ-4 оказывал помощь американским коллегам в устранении нештатной ситуации с 20:20 до 01:00 GMT. По рекомендации ЦУПа-Х с учетом ночных работ подъем всем космонавтам 12.08.15 г. перенесли на 08:00 GMT с отменой ФУ в первой половине дня.

В последующем БИ-4 продолжил выполнение своей программы полета. В отдельные дни отмечались эпизоды увеличения времени на выполнение плановых заданий (замена блоков, демонтаж оборудования и др.) за счет времени, отводимого на адаптацию, в связи с возникавшими техническими трудностями.



27.08.15 г. перед перестыковкой ТПК № 716 сон был запланирован со сдвигом влево на 5,5 часа (сон с 16:00 до 01:00 GMT). Перестыковка проведена штатно. После перестыковки экипажам был предоставлен отдых с 14:30 до 06:00 (29.08.15 г.) продолжительностью 15,5 часа.

На 7-й неделе (02-09.09.15 г.) космонавты работали в условиях измененного РТО. После 2-суточного автономного полета экипаж ТПК № 718 в ночь на 04.09.15 г. произвел стыковку ТПК «Союз» с МКС в автоматическом режиме. Для обеспечения проведения стыковки сон экипажу МКС (КЭ, БИ-2 и БИ-4) был запланирован со сдвигом влево на 3 часа (сон с 18:30 до 03:00 GMT). После стыковки и завершения работ экипажам предоставлено время для отдыха с 18:00 до 06:00 GMT 05.09.15 г. продолжительностью 12 часов. С приходом нового экипажа (КК/БИ-1, БИ-ЭП и УКП-ЭП) количество космонавтов на станции увеличилось до 9 человек.

В течение 8-й недели космонавты работали вместе с экипажем ЭП-18. Г. Падалка занимался укладкой возвращаемых грузов в ТПК № 716 и подготовкой к посадке. БИ-ЭП и УКП-ЭП выполняли научные эксперименты по своим программам. БИ-2 и БИ-4 выполняли текущие работы на станции, научные эксперименты и др. Расстыковка ТПК № 716 проведена 11.09.15 г. в 21:29 GMT, посадка СА в составе КК/БИ-7, БИ-ЭП и УКП-ЭП осуществлена 12.09.15 г. в 03:51 ДМВ. Оставшимся космонавтам на станции было предоставлено время для отдыха 12.09.15 г. с 01:00 до утра 13.09.15 г. Кроме того, 13 и 14.09.15 г. у экипажа были плановые дни отдыха.

В связи с предстоящей стыковкой ТГК № 429 БИ-4 и БИ-1 28.09.15 г. провели 3-часовую тренировку по ТОРУ, а в ночь на 02.10.15 г. была осуществлена стыковка ТГК № 429 с МКС в автоматическом режиме.

В последующий период (12–18-я недели) экипаж продолжил работы на станции в штатном режиме сна–бодрствования. Рабочая нагрузка у БИ-4 планировалась в пределах нормативных величин, фактическое время работы оставалось близким к плановым величинам, так как дополнительные работы БИ-4 практически не выполнял. Лишь в выходные дни он изредка выполнял эксперимент «Экон» по программе Task List.

На 19-й неделе полета выполнялись срочные ремонтно-восстановительные работы: 25.11.15 г. в связи с отказом АСУ и 27.11.15 г. в связи с отказом Laptop RSK1. Ремонтные работы проводили БИ-4 вместе с БИ-2. На выполнение РВР БИ-4 дополнительно затратил по 50 минут. Затраченное время на РВР было компенсировано снижением рабочей нагрузки в последующие дни.

Первоначально посадка экипажа ТПК № 717 планировалась 21–22.12.15 г., но по решению руководства полетом посадка была перенесена на 11.12.15 г. В соответствии с требованиями «Основных правил и ограничений» сокращение рабочей зоны у БИ-4 предполагалось с 30.11.15 г. Фактически сокращать рабочую зону на 1 час начали с 26.11.15 г.

На завершающем этапе полета БИ-4, в основном, занимался подготовкой к посадке: подготовка возвращаемых грузов на ТПК № 717, укладка грузов в ТПК № 717, проверка скафандра «Сокол», тренировка по спуску и другие работы.

8.12.15 г. согласно плану БИ-4 провел тренировку по спуску на ТПК № 717, которая была проведена штатно, без замечаний. 10.12.15 г. была проведена церемония передачи смены по РС (БИ-4 – БИ-1).

10.12.15 г. перед расстыковкой ТПК № 717 подъем был штатно в 06:00. После 9 часов бодрствования экипажу был запланирован сон продолжительностью 8 часов. После подъема в 23:00 БИ-4 продолжил работы по укладке грузов в ТПК

№ 717. По окончании укладки грузов в 09:25-09:45 ДМВ было проведено закрытие переходных люков. Расстыковка ТПК № 717 от МКС осуществлена штатно 11.12.15 г. в 12:43 ДМВ, посадка СА в 16:12 ДМВ.

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

Общее полетное время у БИ-4 составило 141 сутки, из которых планировались 98 рабочих и 43 дня отдыха. Фактически, по сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, у БИ-4 был 41 полный день отдыха, когда время работы не превышало 2 часов.

За весь полет суммарная плановая продолжительность работ в дни отдыха у БИ-4 составила 30 часов. Общее время работ в дни отдыха у БИ-4 составило 36 часов 45 минут.

Во время рабочей встречи в ЦПК имени Ю.А. Гагарина 29.12.15 г. БИ-4 РТО за полет охарактеризовал неоптимальным. Одной из причин неудовлетворенности РТО БИ-4 считал ранние подъемы (в 6 часов по Гринвичу).

Про день стыковки ТПК «Союз» с МКС БИ-4 сообщил: «Этот день мне показался очень тяжелым, одну рабочую операцию даже сделал с трудом. В последующие дни работы на станции все встало на свои места». Сдвиги сна, которые сопровождали динамические операции (стыковки, расстыковки), БИ-4 переносил, как и остальные члены экипажа, хорошо.

Дней отдыха было достаточно, но БИ-4 предпочел бы в дни отдыха работать. Касаясь планирования раздельного РТО для российского и американского экипажей, БИ-4 заметил: «Мы же на одной станции находимся, поэтому они проявляли предусмотрительность, точно и мы также с вечера предупреждали их о наших операциях, то есть берегли друг друга».

Относительно сна БИ-4 ответил, что спал мало (менее 6 часов), при этом дискомфорта не испытывал, днем не спал, такой привычки у него не было. Спать ложился позже 12 часов, рабочие операции выполнял в дневное время.

Перед посадкой спал 8 часов, как и планировалось. Загрузку грузов в ТПК полностью сделал за день до посадки, времени было достаточно, проблем не было.

По оценке специалистов ГМО ГОГУ РТО экипажа (БИ-4) по своей структуре и рабочей нагрузке соответствовал требованиям нормативных документов и оценивался как штатный и способствовал выполнению программы полета в полном объеме.

В отдельные периоды полета, в силу ряда объективных причин, РТО был напряженным. На начальном этапе полета (1-я неделя) напряженность была обусловлена выполнением сложной динамической операции по стыковке ТПК с МКС по короткой 4-витковой схеме в раннее утреннее время и увеличением времени на рабочие операции до 10 часов, продолжительность зоны бодрствования составила 21 час.

Несмотря на напряженный режим работы, БИ-4 успешно справился с полетным заданием, выполнил программу полета в полном объеме.

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

По ежедневным докладам самочувствие космонавта на всех этапах полета оставалось хорошим.

24.07.15 г. жалоб на состояние здоровья не предъявлял, самочувствие было хорошим. Адаптация к невесомости протекала бессимптомно и благоприятно.

Старт и выведение перенес хорошо, отметил, что ощущения вибрации и перегрузок были ожидаемыми. Во время автономного полета и после входа в станцию вестибулярных расстройств у БИ-4 не было. Лекарственных препаратов не принимал. Необходимости специально ограничивать движения головы не было. Выраженных ощущений прилива крови к голове не испытывал. Переутомления, усталости не испытывал, эпизодов повышенной сонливости не было. Головной боли и болей в спине не отмечал.

В последующем жалоб на состояние здоровья также не предъявлял. Общее самочувствие оставалось хорошим, настроение ровное, спокойное и деловое. Сон был не нарушен, скорость засыпания – засыпает мгновенно, скорость пробуждения – быстрая, удовлетворенность ночным сном – полная. Свое спальное место оценивал как комфортное. Иногда отмечал при засыпании единичные вспышки (5–6 штук) в глазах.

## **Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания**

### ***Санитарно-гигиеническое состояние МКС***

В соответствии с полетной документацией экипаж каждую неделю проводил плановую уборку станции.

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра колебалось в пределах 731–764 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.

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

21.10.15 г. БИ-4 попросил немного снизить температуру воздуха в модуле СМ (на 2 градуса). С этой целью в параллельную работу с КОХ1 включен КОХ2. Во время вечерней ДРС БИ-4 сообщил, что температура в СМ стала субъективно нормальной. Повышение температуры, в основном, было связано с выполнением ФИЗО и наблюдалось в районе рабочего стола.

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/СКВ-2, СОА «Воздух», СКО Электрон-ВМ»; УОВ «Поток 150 МК» в СМ и ФГБ включались ежедневно на 6 часов.

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

При отборах проб воздуха 10.09.15 г. и 08.12.15 г. пробоотборником ИПД-ННЗ в СМ аммиака не обнаружено.

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

26.08.15 г. БИ-4 отметил, что степень загрязнения средств вентиляции в СМ минимальная.

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

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; выполнен контроль состава атмосферы модуля газоанализатором CSA-CP – по докладу БИ-1: «...в МИМ2 все померили, все нормально».

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа по санитарно-гигиеническому обеспечению на станции вопросов и замечаний не было.

08.09.15 г. сообщил, что санитарно-гигиенические условия на станции адекватные. Ощущается наличие пяти человек в СМ в рабочее время. Возникают трудности с подогревом пищи, воды («выстраивается очередь»). БИ-4 продолжает использовать одноразовые беруши DeciDamp в период сна.

Замечаний по СЛГ не было. У БИ-4 раздражений на коже при использовании СЛГ нет. БИ-4 был предупрежден, что при визуальном наблюдении и фотографировании через иллюминатор № 9 необходимо использовать солнцезащитные очки, при работе за панелями использовать индивидуальные средства защиты. Сделано напоминание об использовании средств защиты слуха, настоятельно рекомендовалось во время сна использовать беруши и закрывать дверь в каюте, а в ходе ФУ использовать индивидуальные наушники с активным шумоподавлением.

#### ***Питание и водопотребление***

Замечаний от экипажа на протяжении всего полета на питание и водопотребление не поступало.

Аппетит был хороший. В первый прием пищи на МКС «покушал плотно». Водопотребление в норме.

В первые 4 дня у БИ-4 аппетит был повышен. Использовал бонусный контейнер с питанием (американский), российский бонусный контейнер не трогал.

06.10.15 г. сообщил, что индивидуальные посылки для экипажа, доставленные на ТК № 429, в хорошем состоянии. Высоко оценил продукты (особенно сладости).

27.10.15 г. замечаний по пище и питьевой воде нет. Сделано напоминание о необходимости достаточно большого употребления жидкости в ходе космического полета. Аппетит не нарушен, вкусовые ощущения не изменились. БИ-4 высказал свои пожелания, что в пищевых контейнерах 16-суточного рациона питания недостаточно напитков (пакетиков с чаем и кофе), мало десерта и сладких продуктов. Сделано напоминание об употреблении после еды поливитаминов из пищевых контейнеров по штатной схеме.

#### ***Результаты акустических измерений***

Акустические замеры проводились по общему уровню ( $L_A$ , дБА) и уровням звукового давления ( $L$ , дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 63–8000 Гц в контрольных точках (КТ) вдоль продольной оси указанных модулей и в местах сна членов экипажей. Полученные результаты оценивались на соответствие ГОСТ Р 50804-95 и SSP 50094.

24–27.08.15 г. проводились работы по определению индивидуальной шумовой нагрузки за дневной и ночной периоды времени с использованием индивидуальных акустических дозиметров.

Место сна БИ-4 (О. Кононенко) – левая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что шумовая нагрузка превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) за дневной период на 6,8–10,1 дБА, а за ночной период на 0,7–4,3 дБА.

21.09.15 г. проводилось исследование акустической обстановки в модулях РС МКС (СМ, МИМ1).

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.

МИМ1: на рабочих местах превышения допустимых значений по общему уровню составили 1,5–11,0 дБА, с максимальным значением в КТ6.

Рекомендации экипажам:

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. В связи с повышением уровней шума в каютах СМ БИ-1 и БИ-4 на период сна необходимо закрывать дверь каюты, а также использовать средства индивидуальной защиты от шума (беруши и/или наушники с активным шумоподавлением).

#### **Радиационная обстановка в РС МКС**

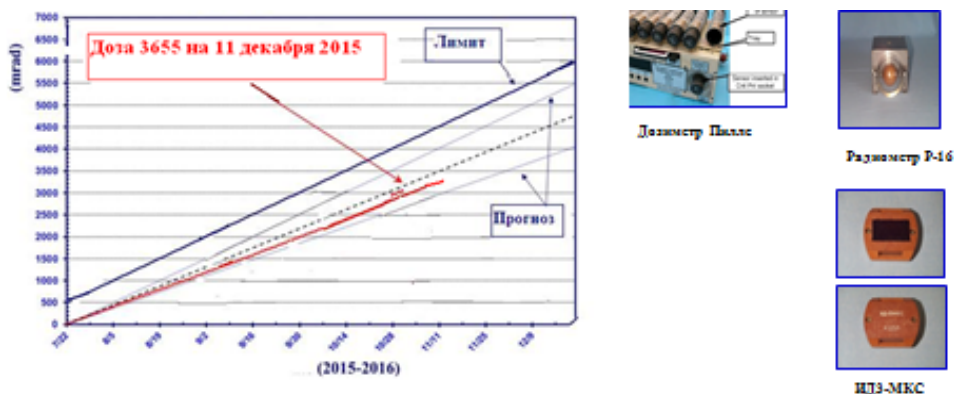
За время полета РО внутри станции оставалась спокойной.

Накопленная поглощенная доза за полет у БИ-4 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»».

С 11.11.15 г. по 09.12.15 г. проведена взаимная калибровка датчиков на панели 327.

Совместная калибровка датчиков показала, что относительное отклонение индивидуальных измерений для каждого датчика не превысила  $\pm 10\%$ .



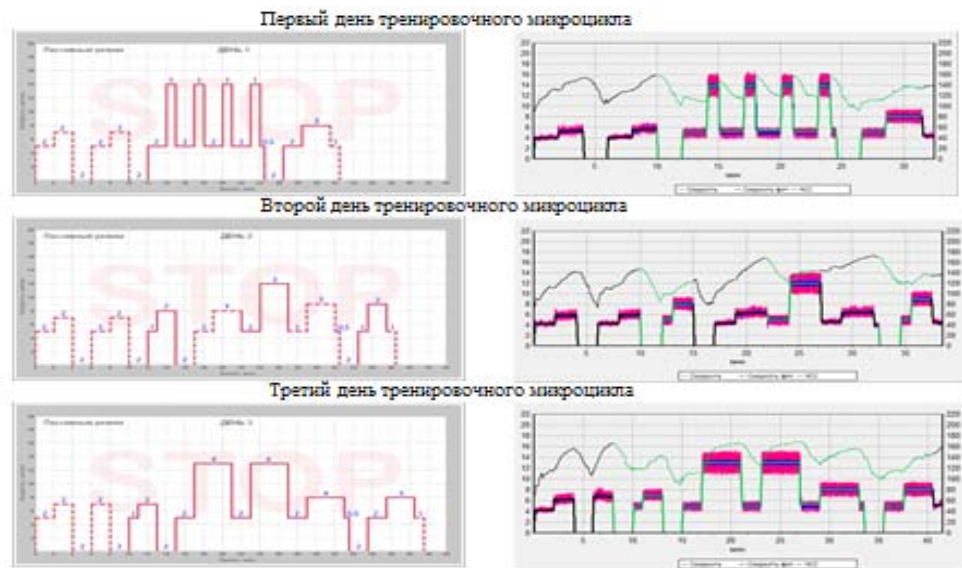
Результаты радиационного мониторинга МКС

**Система профилактики в полете**

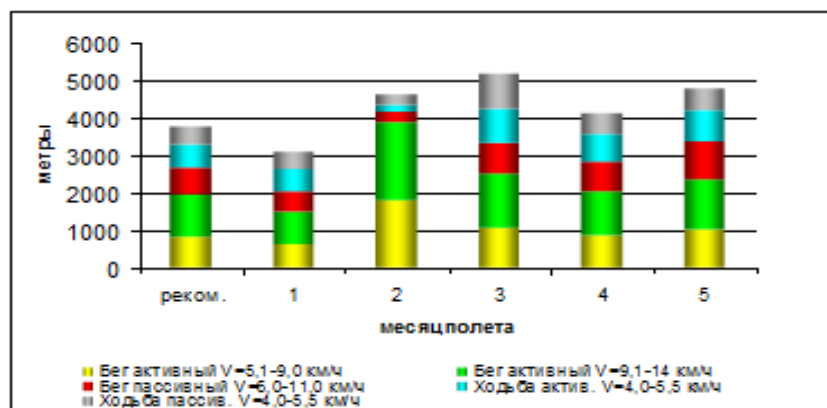
25.07.15 г. БИ-4 планировалось ознакомление с оборудованием и процедурами выполнения ФУ на ARED; 26 и 27.07.15 г. – по одной ознакомительной тренировке на БД-2 и ВБ-3М.

С 28.07.15 г. физические тренировки планировались по российской программе 2 раза в день общей продолжительностью 2,5 часа на БД-2/Т2\* и ВБ-3М/ARED.

(\* 30.08–02.09.15, 16.09–06.10.15 в связи с неисправностью БД-2).



Схемы тренировок БИ-4 МКС-44/45



Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку БИ-4 МКС-44/45

С 16.11.15 г. в соответствии с требованиями на заключительном этапе полета и рекомендациями специалистов планировались двухразовые тренировки на беговой дорожке (БД-2) с заменой через день одного занятия тренировкой на ARED и (с 27.11.15 г.) ОДНТ-тренировки.

Профилактическое изделие «Браслет» не использовал.

Примерка и подгонка противоперегрузочного костюма «Кентавр» у БИ-4 проведена 30.11.15 г. без замечаний.

По ежедневным докладам ФТ выполнял в основном в полном объеме.

По данным частных медицинских конференций российского врача экипажа на протяжении всего полета физические тренировки выполнял в соответствии с планом.

24.07.15 г. БИ-4 изделие «Браслет» не использовал и не планировал его использовать в дальнейшем.

28.07.15 г. провел ознакомительные физические тренировки на тренажерах. Вопросы по эксплуатации БД-2, ВБ-3М и ARED не было.

25.08.2015 г. БИ-4 отметил положительное впечатление от БД-2.

ФТ выполняет в российском костюме ТНК.

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

После анализа ситуации специалистами и разработки рекомендаций, 01.09.15 г. проводились РВР тренажера, но восстановить его работоспособность не удалось.

02.09.15 г. проведена работа по натягу шнура на внутренние ролики системы притяга. Работоспособность системы притяга восстановлена, БД-2 допущена к дальнейшей эксплуатации.

16.09.15 г. БИ-4 доложил, что задняя правая тяга БД-2 «болтается, большой крен, уголок тяги как ножом срезан». До проведения РВР использование тренажера БД-2 было запрещено и физические тренировки планировались на Т-2 (для каждого российского члена экипажа ежедневно по 40 минут), ВБ-3М и ARED.

06.10.15 г. после доставки на борт необходимых запасных частей с ТГК № 429 успешно проведены РВР БД-2, специалистами дано разрешение на использование тренажера.

### **Медико-биологические эксперименты**

С использованием российского оборудования во время полета выполнены следующие медицинские эксперименты:

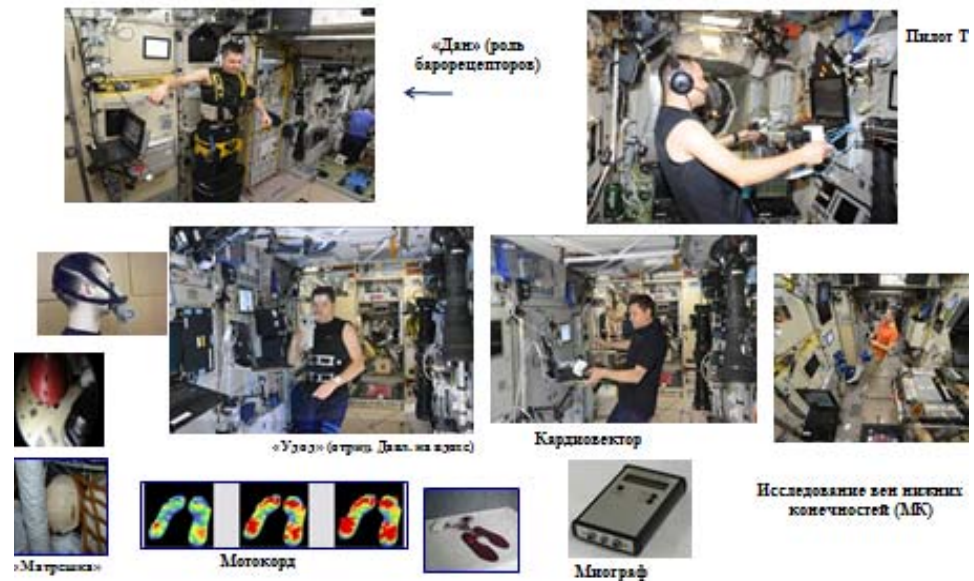
МБИ-26 «Мотокард», МБИ-27 «УДОД», МБИ-31 «Кардиовектор», МБИ-34 «Космокард», МБИ-36 «Контент», МБИ-37 «Пилот-Т», МБИ-38 «Взаимодействие-2», МБИ-39 «ДАН».

Эксперименты программы полета ЭП:

05, 07.09.15. Подготовка аппаратуры «Рефлотрон» – БИ-4;

06, 08.09.15. Биохимический анализ крови – УКП ЭП, (БИ-4 – помощь).

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



Медико-биологические эксперименты в период MKS-44/45

## Заключение

Медицинское обеспечение здоровья экипажей MKS-44/45 осуществлялось в соответствии с требованиями ISS MORD, SSP 50260.

Результаты медицинского контроля членов экипажа MKS-44/45 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 терморегуляции

ФГБ – функциональный грузовой блок



# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

## THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.7.048

### ПОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГОМАССОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУППЫ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

С.Ю. Романов, Л.С. Бобе

Канд. техн. наук С.Ю. Романов (ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва)  
Докт. техн. наук, профессор Л.С. Бобе (АО «НИИХиммаш»)

На основании опыта создания и эксплуатации систем регенерации воды на космической станции «Мир» и российском сегменте Международной космической станции (МКС) рассмотрены принципы построения и предложена методика расчета энергомассовых характеристик группы регенерационных систем водообеспечения космической станции. Показано, что при электролизном получении кислорода из воды степень замкнутости комплекса систем жизнеобеспечения СЖО (коэффициент возврата воды и кислорода в цикл потребления) определяется балансом воды.

**Ключевые слова:** космическая станция, экипаж, жизнеобеспечение, вода, регенерация.

#### **Construction and Energy-Mass Characteristics of the Group of Regenerative Systems for Water Supply of the Space Station.**

**S.Yu. Romanov, L.S. Bobe**

The paper considers principles of constructing and proposes methods of calculating energy-mass characteristics of the group of regenerative systems for water supply of the space station on basis of the experience and use of water recovery systems on the space station "Mir" and the ISS Russian Segment. It is shown that during electrolysis-based production of oxygen from water, the closure degree of the LSS complex (the coefficient of returning water and oxygen in consumption cycle) is determined by the water balance.

**Keywords:** space station, crew, life support, water, regeneration.

#### **Введение**

В условиях космического полета экипаж находится в замкнутом герметичном объеме космической станции, в котором обеспечивается искусственная среда обитания, заменяющая земную биосферу. Жизнедеятельность человека в замкнутом ограниченном объеме космического летательного аппарата поддерживается комплексом систем жизнеобеспечения. Используются системы регенерации воды и кислорода из конечных продуктов жизнедеятельности, выделяемых человеком и некоторыми техническими системами. Очистка атмосферы проводится на регенерируемых сорбентах. Небаланс регенерированной воды и атмосферы компенсируется хранящимися на станции и доставляемыми с Земли запасами.

Планирование длительных пилотируемых полетов, в том числе к другим планетам, определяет необходимость проектного анализа массо- и энергозатрат на системы жизнеобеспечения. На основании обобщения ряда положений опубликован-

ных авторами ранее работ [1, 2, 3, 4] в настоящей статье предлагается развивающаяся структурная схема группы систем водообеспечения и метод прогнозирования затрат энергии и массы на регенерационные системы водообеспечения (с учетом необходимых запасов воды) при различных построениях комплекса СЖО. Рассматривается регенерационное водообеспечение при получении кислорода из воды методом электролиза и разложении диоксида углерода по методу Сабатье с получением воды и метана. В этом случае замкнутость комплекса систем жизнеобеспечения СЖО (коэффициент возврата воды и кислорода в цикл потребления) определяется балансом воды. Проведенные анализ и расчеты подтверждены данными, полученными при создании и эксплуатации систем регенерации воды на космической станции «Мир» и российском сегменте Международной космической станции (МКС).

### **Комплекс физико-химических систем регенерации воды и кислорода с витаминной оранжереей**

Источниками воды и кислорода на космической станции могут быть выделяемые космонавтом отходы: пары воды и диоксид углерода (выделяемые при дыхании), пары с поверхности кожи, моча (далее урина), плотные отходы. В результате гермокамерных наземных испытаний и при анализе космических полетов получено, что в среднем человек потребляет 0,9 кг/чел. сутки кислорода, выделяет 1,0 кг/чел. сутки  $\text{CO}_2$ , выделяет 1,5 кг/чел. сутки конденсата атмосферной влаги и 1,3 кг/чел. сутки урины. Кислород получают путем электролиза воды.

Регенерационное снабжение водой и кислородом и очистка атмосферы с регенерацией поглотителей реализуются комплексом физико-химических систем регенерации воды и кислорода с витаминной оранжереей, принципиальная структурная схема которого приведена на рисунке [1, 3]. Этот комплекс содержит практически полную номенклатуру регенерационных систем жизнеобеспечения, которые предполагается использовать на пилотируемых космических кораблях и станциях в настоящее время и в перспективе. Системы водообеспечения и потоки воды выделены толстыми линиями.

Сконденсированные в агрегатах системы терморегулирования пары воды, выделяемые экипажем в атмосферу, очищаются до питьевых кондиций в системе регенерации воды из конденсата атмосферной влаги СРВ-К, в этой же системе предполагается очищать конденсат паров воды (транспирационную влагу), выделяемых растениями в витаминной оранжерее. Выделяемая космонавтами урина поступает в систему приема и консервации урины СПК-У, где отделяется от транспортирующего ее воздуха, консервируется жидким кислотным консервантом, предотвращающим ее химическое и бактериологическое разложение, и в смеси с водой для смыва в туалете поступает в систему регенерации воды из урины СРВ-У. В системе СРВ-У, основанной на методе дистилляции, из урины извлекается до 90 % воды. Оставшийся концентрат солей складывается или подвергается дальнейшей сушке с извлечением еще 5 % воды. В системе сбора отходов может осуществляться сушка этого раствора, фекалий, несъедобной зеленой массы растений, грязных салфеток, полотенец и других водосодержащих отходов. Вода, извлеченная из урины, используется для электролизного получения кислорода, остаток воды поступает в систему СРВ-К, дополнительно очищается и насыщается пищевыми солями и микроэлементами до кондиций питьевой воды. Для электролиза используется также вода из системы переработки диоксида углерода и вода из запасов. Вся вода для электролиза проходит дополнительную очистку от солей в сред-

ствах очистки воды СОВ. Санитарно-гигиеническая вода образуется при умывании, мытье рук, мытье тела (в сауне и специальном душе), стирке и других санитарно-бытовых процедурах. Организуется замкнутый контур с очисткой санитарно-гигиенической и бытовой воды в системе регенерации санитарно-гигиенической воды СРВ-СГ. В состав комплекса водообеспечения космической станции входит также система запасов воды СВО-ЗВ, пополняемая доставками воды с Земли. В системе хранится специально очищенная московская водопроводная вода, консервированная ионным серебром. Срок хранения воды несколько лет.

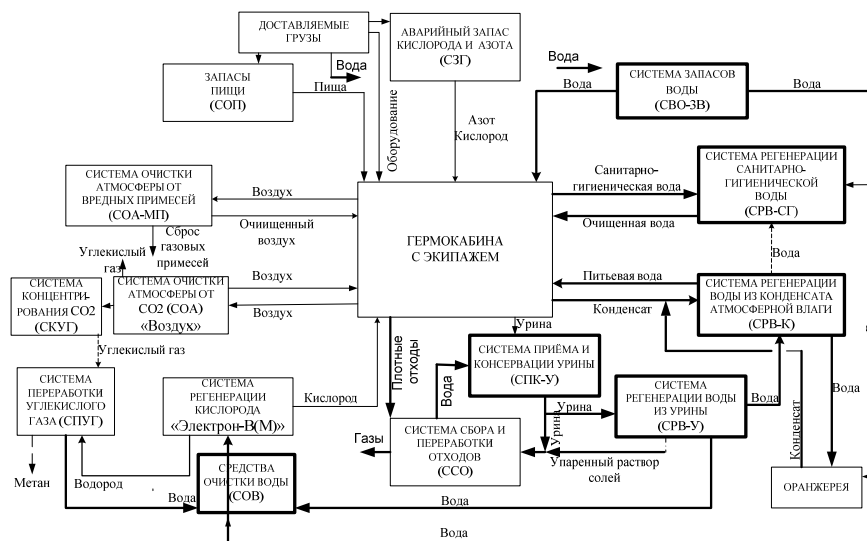


Рисунок. Структурная схема комплекса регенерационных систем жизнеобеспечения космической станции

Из проведенного рассмотрения вытекает следующее принципиальное положение: в том случае, если кислород получают путем электролиза воды, степень замкнутости комплекса систем жизнеобеспечения СЖО (коэффициент возврата воды и кислорода для потребления) определяется балансом воды [1, 2, 4], используемым при дальнейшем анализе.

На советских (российских) космических станциях использовались комплексы систем регенерации различного состава: станции «Салют-4 (6, 7)» – системы СРВ-К и СВО-ЗВ; станция «Мир» – СРВ-К, СПК-У, СРВ-У, СОВ, СРВ-СГ, СВО-ЗВ, «Электрон», «Воздух», СОА МП и ТК; Международная космическая станция – СРВ-К, СПК-У, СОВ, СВО-ЗВ, «Электрон», «Воздух», СОА МП, ТК и в перспективе весь комплекс систем регенерации воды, кислорода и атмосферы – комплекс регенерационных систем жизнеобеспечения.

### Баланс по воде

Полученный с учетом анализа водопотребления на космических станциях «Мир» и МКС технический баланс по воде в расчете на одного космонавта в сутки для различных вариантов комплекса систем жизнеобеспечения (СЖО) приведен в таблице 1 [3].

Таблица 1

## Технический баланс по воде для одного космонавта в сутки

Потребности в воде, кг/чел.сутки	Потребности в воде, кг/чел.сутки		Поступление воды, кг/чел.сутки				
	1	2	1.1	1.2	1.3	2	
Питье и приготовление пищи	2,2	2,2	Конденсат атмосферной влаги				
Вода в рационе пищи	0,5	0,5	1,5+0,2×0,5*	1,6	1,6	1,6	1,6
Личная гигиена	0,2	0,2	Вода в рационе пищи	0,5	0,5	0,5	0,5
Смыв в туалете	0,3	0,3	Вода из урины				
Электролизное получение кислорода	1,0	1,0	(1,3+0,3)×0,9**		1,44		
Душ, сауна, стирка (санитарно-гигиеническая вода)		6,0	(1,3+0,3)×0,95**			1,52	1,52
			Вода из системы переработки диоксида углерода по методу Сабатье			0,45	0,45
			Вода из фекалий			0,13	0,13
			0,15×0,9**=0,13				
			Регенерированная СГВ 6×0,985**				5,9
			Доставляемая вода (вода запасов)	2,1	0,66	0,0	0,1
	4,2	10,2		4,2	4,2	4,2	10,2
Коэффициент возврата воды (коэффициент регенерации), %				38	72	88	94

\*с учетом испарения 50 % воды при личной гигиене; \*\* коэффициент извлечения воды

Таблица учитывает коэффициенты извлечения воды и ее потери в системах регенерации. Баланс зависит от состава комплекса СЖО и коэффициентов извлечения воды в системах регенерации. В левой части таблицы приведены статьи потребления воды для двух вариантов системы жизнеобеспечения: первый вариант предусматривает только личную гигиену; второй – полноценные санитарно-гигиенические процедуры (мытьё рук, умывание, душ, сауну) и стирку одежды.

В правой части таблицы отражены источники регенерации воды, в том числе система переработки диоксида углерода. Значения получаемой воды отражают коэффициенты извлечения воды в системах регенерации.

Коэффициент возврата воды определяется как отношение регенерированной воды к общему потреблению. Следует подчеркнуть, что баланс составлен для случая поступления 0,5 л/чел.сутки воды с пищей.

Баланс, реализуемый в настоящее время на МКС, где имеется только система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги, приведен в колонках 1 – по потреблению воды и 1.1. – по поступлению воды. Коэффициент возврата воды составляет 38 %.

При введении в состав комплекса жизнеобеспечения системы регенерации воды из урины (колонка 1.2) коэффициент возврата воды составит 72 % и масса воды, потребляемой из запасов, снизится более чем в 3 раза. Такой комплекс систем регенерации был реализован на станции «Мир».

При введении в состав комплекса СЖО системы переработки диоксида углерода, извлечения воды из концентрата солей в системе СРВ-УК и сушки фекалий (колонка 1.3) баланс по воде практически сходится с учетом воды в пище, коэффициент возврата воды составляет 88 %.

Колонка 2 относится к более полной системе жизнеобеспечения, включающей средства для умывания, мытья тела и стирки. В этом случае организуется

показанный на рисунке контур очистки загрязненной санитарно-гигиенической и бытовой воды. Общий коэффициент возврата воды составит порядка 94 %.

При введении санитарно-гигиенического оборудования возврат воды зависит от потерь воды и коэффициента регенерации воды в системе СРВ-СТ.

При введении витаминной оранжереи (площадь посева  $0,1 \text{ м}^2$  на одного космонавта) комфортность СЖО кардинально повышается, однако расход и небаланс воды возрастают.

Как видно, коэффициент возврата воды тем больше, чем полнее номенклатура регенерируемой воды и чем больше коэффициент извлечения воды в системах регенерации. Например, в системе регенерации воды из урины станции «Мир» коэффициент извлечения воды из урины составлял 0,8, соответственно коэффициент возврата воды был 68,5 % вместо 72 % при коэффициенте извлечения воды 0,9. Если переработку диоксида углерода проводить до большей глубины, извлекать воду из фекалий, сушить различные водосодержащие отходы, то можно еще более снизить потребление воды из запасов, сведя дефицит воды к минимуму. Отметим, что рассмотренный баланс не учитывает потери воды и потребление воды для внекорабельной деятельности.

### Методика оценки эффективности систем регенерации и группы перспективных систем водообеспечения

Эквивалентная (учитывающая затраты энергии) масса системы или группы СВО (Мэкв в кг) рассчитывается по следующим соотношениям:

$$\text{Мэкв} = \text{Муст} + \text{Мзип} + \text{Мп} + \text{Мэкв}_{(\text{СЭП-СТР})} + \text{Мзв}. \quad (2.1)$$

Здесь: Муст – первоначально установленная масса системы в кг;

Мзип – масса ЗИП в кг;

$$\text{Мзип} = 0,1\text{Муст} \times \tau, \quad (2.2)$$

где  $\tau$  – время эксплуатации в годах;

Мп – переменная масса в кг, отражающая затраты массы элементов системы при наработке по целевому продукту:

$$\text{Мп} = V_{\text{H}_2\text{O}} \times \text{Кп}, \quad (2.3)$$

где  $V_{\text{H}_2\text{O}}$  – общее количество целевого продукта за время эксплуатации, кг(л);

Кп – коэффициент переменной массы, кг/кг(л) получаемого продукта (воды);

Мэкв<sub>(СЭП-СТР)</sub> – эквивалентная масса систем электропитания и терморегулирования в кг:

$$\text{Мэкв}_{(\text{СЭП-СТР})} = \text{Ncp-сут} \times 1 \text{ кг/Вт}; \quad (2.4)$$

Мзв – масса запасов воды в кг с учетом емкостей доставки:

$$\text{Мзв} = V_{\text{нб}} \times 1,25, \quad (2.5)$$

где  $V_{\text{нб}}$  – общее количество небаланса воды за время эксплуатации в литрах (по данным таблицы 1), 1,25 – коэффициент, учитывающий массу емкостей доставки воды. Принимается, что количество отведенного тепла эквивалентно затратам электрической энергии. По данным РКК «Энергия» эквивалентная масса СЭП –  $0,4 \text{ кг/Вт}$ ; эквивалентная масса СТР –  $0,6 \text{ кг/Вт}$ ; суммарно –  $1,0 \text{ кг/Вт}$ . Как видно из дальнейших оценок, энергопотребление систем регенерации воды относительно небольшое и не представляет проблем при проектировании.

Отличительной чертой предлагаемого метода расчета эквивалентной массы является учет массы воды запасов (или доставляемой воды) Мзв, определяемой небалансом по воде для рассматриваемого варианта комплекса СВО.

Коэффициент переменной массы Кп отражает массу расходуемых элементов системы, например, сорбентов, и оборудования с ограниченным ресурсом, подлежащего замене в период эксплуатации, и является важнейшей характеристикой систем регенерации воды. Кп для группы систем водообеспечения определяется по значениям Кп отдельных систем и аддитивности вклада систем в получение целевого продукта – регенерированной воды. На основе анализа характеристик систем, работающих на МКС, и данных НИР и ОКР по перспективным системам в таблице 2 приведены значения Кп для современных и перспективных систем регенерации воды для вариантов состава групп систем водообеспечения, вытекающих из таблицы 1.

Таблица 2

Значения коэффициента переменной массы  
для различных вариантов состава группы систем водообеспечения (СВО)

Состав группы СВО	Коэффициент переменной массы, Кп	
	современный	перспективный
1.1. СРВ-К+СПК-У+СОВ+СВО-ЗВ	0,070	0,020
1.2. СРВ-К+СПК-У+СРВ-У+СОВ+СВО-ЗВ	0,073	0,030
1.3. СРВ-К+СПК-У+СРВ-УК+СОВ-С+СРВ-СО+ СВО-ЗВ	0,077	0,033
2. СРВ-К+СПК-У+СРВ-УК+СОВ-С+СРВ-СО+СРВ-СГ+СВО-ЗВ	0,069	0,019

Системы регенерации воды в таблице 2:

СРВ-К – система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги;

СПК-У – система приема и консервации урины;

СОВ – система обеспечения водой для электролизного получения кислорода;

СОВ-С – система обеспечения водой для электролизного получения кислорода, включая воду из реактора Сабатье;

СВО-ЗВ – система обеспечения водой запасов;

СРВ-У – система регенерации воды из урины;

СРВ-УК – система регенерации воды из урины с извлечением воды из концентрата солей;

СРВ-СО – система сушки отходов;

СРВ-СГ – система регенерации санитарно-гигиенической воды.

Сравнение энергомассовых показателей систем регенерации воды, полученных за 15 лет эксплуатации (14 780 человеко-суток) РС МКС (вариант 1.1), с результатами расчетов по рекомендуемым соотношениям приведено в таблице 3. Как видно, количество доставленной воды достаточно близко совпадает с расчетом по данным таблицы 1. С учетом того, что фактический расчетный показатель небаланса воды на МКС примерно на 0,1 л/чел.сутки меньше, чем в таблице 1, вследствие доставки некоторого количества кислорода с атмосферой кораблей посещения, расчетные  $(2,1-0,1)$  л/чел.сутки  $\times 14780$  чел.суток = 29 560 л и фактические (29 920 л) значения объема доставляемой воды практически совпадают.

Следует также отметить хорошее совпадение расчетной эквивалентной массы группы систем регенерации по п. 1.1 (4336 кг) с эквивалентной массой, определенной с учетом фактических доставок оборудования систем СВО на станцию (4246 кг). В связи с уникально малым потреблением электроэнергии системами СВО (36 Вт) вклад систем энергопитания и терморегулирования в эквивалентную массу весьма мал – всего 36 кг.

Таблица 3

Расчет массо- и энергозатрат на водообеспечение российского сегмента МКС за 15 лет полета с 02.11.2000 г. по 01.11.2015 г. (14 780 человеко-суток)

№	Источник воды	Муст, кг	Мзип, кг	Впродукта, л (кг)	Кп, кг/кг (кг/л)	Мп, кг	Мэкв, кг	Нсреднесут. для 3 человек, Вт
1.1	Сбор и регенерация воды	240	360	52 950	0,07	3700	4336 4246**	36
	Запасы воды	464 л 580 кг	270 л 360 кг*	31 040 29 220**	1,25	38 800	39 742	2 Мсум = 44 100 кг
1.2	Сбор и регенерация воды	360	540	75 450	0,073	5500	6466	66
	Запасы воды	464 л 580 кг	270 л 360 кг*	8540	1,25	10 700	11 642	2 Мсум = 18 110 кг
1.3	Сбор и регенерация воды	410	615	78 620	0,077	6035	7170	108
	Запасы воды	464 л 580 кг	270 л 360 кг*	—	1,25	1840	1842	2 Мсум = 9010 кг

\* нормативный 45-суточный запас с учетом ЗИП оборудования

\*\* фактическое использование доставляемой воды и эквивалентная масса

В эквивалентной массе группы СВО рассчитаны и учтены объем и масса (с учетом массы оборудования) начальных и доставляемых запасов воды по небалансу. Эквивалентная масса этих запасов воды составила для 15-летнего полета МКС 39 760 кг, что в 9 раз больше затрат массы на регенерацию воды, обеспечивающую 38 % водопотребления экипажа. Суммарные затраты массы на водообеспечение составили для РС МКС Мсум. = 44 000 кг.

Расчеты по варианту 1.2, использующие данные по эксплуатации МКС и результаты наземных исследований, показывают, что введение в состав группы СВО системы регенерации воды из урины СРВ-У снижает массу доставок воды на 28 100 кг и (несмотря на некоторое увеличение затрат массы на регенерацию) дает общий выигрыш в затратах массы на СВО – 26 000 кг, снижая их по сравнению с вариантом 1.1 в 2,44 раза.

Расчеты по варианту 1.3 показывают, что введение в состав группы СВО системы регенерации воды из мочи (урины) СРВ-УК с извлечением воды из концентрата солей, системы СОВ-С с разложением диоксида углерода по методу Сабатье с получением воды и системы СРВ-СО сушки отходов, обеспечивающих 100 % регенерацию воды, снижает массу доставок воды до поддержания необходимых запасов на 37 000 кг и (несмотря на некоторое увеличение затрат массы на регенерацию) дает общий выигрыш в затратах массы на СВО – 35 000 кг, снижая их по сравнению с вариантом 1.1 в 4,9 раза.

Расчетные характеристики наиболее вероятного состава группы систем регенерации воды по варианту 2 таблицы 2 для полета экипажа из 6 человек при длительности до 3 лет (6570 чел.суток) представлены в таблице 4. Опорными величинами являются характеристики систем и количество регенерируемой ими воды, на основе которых рассчитывается по аддитивности значение коэффициента перемен-

ной массы комплекса в целом. Расчеты проведены для группы перспективных систем регенерации воды ( $K_p = 0,019$ ). Затраты массы на прием водосодержащих продуктов и регенерацию воды составляют 1400 кг, среднесуточные затраты электрической и сброс тепловой энергии по 255 Вт, т.е. эквивалентная масса, затрачиваемая на регенерацию воды, составляет 1655 кг. При отсутствии регенерации масса аналогичного объема доставляемых запасов воды составила бы 83 000 кг.

Таблица 4

Расчет массо- и энергозатрат на водообеспечение перспективной космической станции с экипажем из 6 человек при длительности полета до 3 лет (6570 человеко-суток)

Источник воды	Муст, кг	Мзип, кг	Vпродукта, л (кг)	$K_p$ , кг/кг (кг/л)	Мп, кг	Мэkv, кг	Нсреднесут. на 3 человек, Вт
Сбор и регенерация воды	495	305	73 650	0,019	1400	1655	255
Запасы воды	464 л 580 кг	540 л 720 кг*	657 л	1,25	823	2125	2 Mсум = 3780 кг

\* нормативный 45-суточный запас с учетом ЗИП оборудования

При расчете доставляемых запасов воды исходили из небаланса по воде 0,1 л/чел.сутки по таблице 1. Первоначально установленные емкости и нормативный запас для 6 человек принимали по аналогии со служебным модулем РС МКС. Предполагалась возможность доставок воды и оборудования на станцию раз в 90 суток. В этом случае масса запасенной и доставляемой воды составляет 2125 кг. Суммарная эквивалентная масса комплекса СВО составляет 3780 кг. Как видно, затраты электрической и тепловой энергии не являются определяющими для малозергоемкой группы систем водообеспечения.

Полученные результаты хорошо совпадают с расчетом, проведенным авторами в статье [3] для варианта использования в СЖО обезвоженной пищи.

Проведенный анализ показывает, что наибольшее влияние на суммарную эквивалентную массу группы СВО оказывает, при прочих равных условиях, небаланс по воде, который напрямую увеличивает массу запасенной и доставляемой воды. Одним из основных источников для регенерации воды является конденсат атмосферной влаги, собираемый в системе кондиционирования воздуха станции. В многомодульной станции, в которой не все модули оснащены средствами конденсации паров атмосферы и сбора конденсата, принципиальным моментом является расчет и организация межмодульной вентиляции, обеспечивающей требуемый термовлажностный режим атмосферы, конденсацию паров только в охлаждаемых устройствах СТР и отсутствие потерь конденсата [5]. В качестве примера можно привести дефицит (примерно 4600 литров) по сбору конденсата атмосферной влаги в СМ МКС за 15 лет полета (по различным причинам, особенно с 2008 года после введения систем регенерации в модуле Node-3) по отношению к расчетному, что привело к значительной дополнительной доставке воды на МКС. Снижение сбора конденсата в СМ частично связано с поддержанием низкой температуры конденсации в американской системе терморегулирования, что связано с особенностью работы американской системы удаления диоксида углерода, требующей подачи охлажденного воздуха. Поэтому в лабораторном модуле АС МКС образуется дополнительный конденсат при снижении количества конденсата в



СМ. Это явление устраняется увеличением расхода воздуха межмодульной вентиляции из АС МКС. Рассмотрение проблем расчета и организации вентиляции многомодульных космических станций и сбора конденсата атмосферной влаги выходит за рамки настоящей статьи и будет рассмотрено отдельно.

### Заключение

1. Предложена структурная развивающаяся схема группы систем водообеспечения, из рассмотрения которой вытекает следующее принципиальное положение: в том случае, если кислород получают путем электролиза воды, степень замкнутости комплекса систем водообеспечения и жизнеобеспечения в целом (коэффициент возврата воды и кислорода для потребления) определяется балансом воды.

2. Разработана методика расчета эквивалентной массы группы систем водообеспечения. Опорными величинами являются характеристики систем и количество регенерируемой ими воды, на основе которых рассчитывается по аддитивности значение коэффициента переменной массы группы систем в целом.

Методика апробирована на данных, полученных при 15-летней эксплуатации российского сегмента Международной космической станции.

3. Основным направлением совершенствования группы СВО является обеспечение максимальной замкнутости по воде и минимальной суммарной эквивалентной массы.

Указанные требования обеспечиваются:

3.1 Максимально полным составом систем регенерации воды в комплексе СЖО.

3.2 Максимальным сбором водосодержащих потоков, включая сбор без потерь конденсата атмосферной влаги за счет организации эффективной межмодульной вентиляции.

3.3 Максимальным коэффициентом извлечения воды в каждой системе регенерации (включая производство воды в системе переработки диоксида углерода).

3.4 Минимальным коэффициентом переменной массы систем.

3.5 Минимальной эквивалентной массой систем, включая массу и объем системы, энергопотребление, сброс тепла и массу запасов воды по коэффициенту извлечения воды в данной системе.

4. Проведенное рассмотрение и полученные соотношения для расчета позволяют формулировать требования к системам и прогнозировать эквивалентную массу группы систем водообеспечения для современных и перспективных пилотируемых станций.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Регенерационные системы жизнеобеспечения экипажей космических станций / Самсонов Н.М., Бобе Л.С., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Курмазенко Э.А., Романов С.Ю., Железняков А.Г., Баранов В.М., Синяк Ю.Е. // Известия РАН. Энергетика. – 2009. – № 1. – С. 61–68.
- [2] Регенерация воды на космических станциях / Бобе Л.С., Кочетков А.А., Самсонов Н.М., Романов С.Ю., Андрейчук П.О., Железняков А.Г., Синяк Ю.Е. // Инженерная экология. – 2013. – № 2. – С. 34 – 49.
- [3] Перспективы развития регенерационного водообеспечения пилотируемых космических станций / Бобе Л.С., Кочетков А.А., Романов С.Ю., Андрейчук П.О., Железняков А.Г., Синяк Ю.Е. // Пилотируемые полеты в космос. – 2014. – № 2(11). – С. 51–60.

- [4] Выбор комплекса жизнеобеспечения для экипажей долговременных космических станций / Гузенберг А.С., Железняков А.Г., Романов С.Ю., Телегин А.А., Юргин А.В. // Космическая техника и технология. – 2015. – № 1. – С. 67–80.
- [5] Космические системы обеспечения: особенности обеспечения токсической безопасности искусственной среды на многомодульных космических станциях / Романов С.Ю., Телегин А.А., Гузенберг А.С., Юргин А.В., Павлова А.Г. // Инженерная экология. – 2013. – № 2 (110). – С. 50–62.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ОКС – орбитальная космическая станция  
«Салют», «Мир» – советские орбитальные космические станции  
МКС – Международная космическая станция  
РС – российский сегмент МКС  
СМ – служебный модуль РС МКС  
СЖО – системы жизнеобеспечения  
СВО – система водообеспечения  
СВО-ЗВ – система водообеспечения водой запасов  
СРВ – система регенерации воды  
СРВ-К – система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги  
СПК-У – система приема и консервации урины  
СОВ – система обеспечения водой для электролизного получения кислорода  
СОВ-С – система обеспечения водой для электролизного получения кислорода, включая воду из реактора Сабатье  
СРВ-У – система регенерации воды из урины  
СРВ-УК – система регенерации воды из урины с извлечением воды из концентрата солей  
СРВ-СО – система сушки отходов  
СРВ-СГ – система регенерации санитарно-гигиенической воды  
СГВ – санитарно-гигиеническая вода  
«Электрон-В» – система электролизного получения кислорода  
«Воздух» – система очистки атмосферы от диоксида углерода  
СБМП – система очистки атмосферы от микропримесей  
СКВ – средства кондиционирования воздуха  
СТР – система терморегулирования  
СЭП – система электропитания  
Кп – коэффициент переменной массы  
Мсум – суммарная эквивалентная масса  
ТГК – твердотопливный генератор кислорода

УДК 629.78 : 523.3

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ЛУННЫХ МИССИЙ

Б.И. Крючков, В.М. Усов, В.И. Ярополов, Ю.Б. Сосюрка,  
С.С. Троицкий, П.П. Долгов

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; докт. мед. наук, проф. В.М. Усов; докт. техн. наук, проф. В.И. Ярополов; канд. техн. наук Ю.Б. Сосюрка; канд. воен. наук С.С. Троицкий; канд. техн. наук П.П. Долгов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье в свете перспектив развития пилотируемой космонавтики рассматриваются особенности профессиональной деятельности экипажей пилотируемых космических комплексов (ПКК) на Луне, определяемые новыми факторами и условиями обитания на ней человека, новыми целями и задачами освоения Луны, а также сценариями полетов. Учитывается опыт профессиональной деятельности космонавтов, полученный при осуществлении полетов на отечественных ПКК, Международной космической станции (МКС), а также опыт деятельности астронавтов в рамках программы «Аполлон».

**Ключевые слова:** профессиональная деятельность космонавтов, Луна, лунная инфраструктура, функции космонавтов, виды деятельности, виды исследований, структура деятельности.

### **On the Features of Professional Activity of Cosmonauts When Implementing Lunar Missions. B.I. Kryuchkov, V.M. Usov, V.I. Yaropolov, Yu.B. Sosyurka, S.S. Troitsky, P.P. Dolgov**

The paper studies the features of professional activity of crews aboard manned lunar complexes determined by new habitability conditions and factors, by new objectives and tasks of human Moon exploration and by mission scripts, considering the development prospects of manned space exploration. Professional experience of cosmonauts, obtained when implementing flights aboard domestic spacecraft and the International Space Station as well as professional experience of astronauts, obtained within the framework of the Apollo Program is taken into account.

**Keywords:** professional activity of cosmonauts, the Moon, lunar infrastructure, functions of cosmonauts, types of activity, types of studies, activity structure.

### **Перспективы освоения Луны**

Луна представляет интерес не только как площадка для практического использования землянами ее природных ресурсов, мониторинга Земли и космоса, обеспечения энергетикой, использования в целях экологической безопасности и др., но и как плацдарм для освоения человеком дальнего космоса [1, 3, 4, 5, 24, 25].

Уникальность Луны определяется рядом факторов, которые присущи только ей, причем с учетом относительно близкого расположения к Земле:

- сохранность геологических условий (процессов) на Луне в неизменном виде с момента ее образования;
- отсутствие магнитного поля;
- нахождение вне воздействия магнитосферы Земли;
- отсутствие атмосферы;
- относительно низкий сейсмический шум;

- низкие температуры на теневой стороне;
- наличие ископаемых ресурсов.

При соответствующем оснащении Луны научным инструментарием, она может стать уникальным комплексом, имеющим важнейшее значение для изучения фундаментальных проблем Солнечной системы.

Наибольший интерес могут представлять научные приборы для астрофизических, геологических, астрономических, сейсмологических и физико-химических исследований. Необходимость выноса в космос телескопов для исследования различных небесных объектов объясняется искажениями, вызываемыми атмосферой Земли, которые негативно сказываются на наблюдениях в оптическом (0,3–0,6 мкм), ближнем инфракрасном (0,6–2 мкм) и радио (1 мм–30 м) диапазонах.

Прорабатываются идеи развертывания целой сети (системы) крупноразмерных низкочастотных радиотелескопов в интересах создания радиоастрономической картины Вселенной. Однако использование сложных и крупногабаритных научных приборов возможно только с началом пилотируемых миссий. Без участия человека в обеспечении длительной и надежной эксплуатации таких приборов не обойтись, о чем наглядно свидетельствует опыт эксплуатации телескопа «Хаббл».

Еще одна интересная задача исследования дальнего космоса с поверхности Луны – изучение высокоэнергетических частиц солнечного ветра и космических лучей из открытого космоса [9]. Поскольку у Луны нет атмосферы, а большая часть ее орбиты проходит за пределами магнитосферы Земли, она является удобной площадкой для изучения процессов на Солнце и галактического космического излучения.

На Луне могут быть созданы системы мониторинга радиационной и астероидной опасности, которые будут использоваться при освоении человеком дальнего космоса. Они должны информировать экипажи межпланетных пилотируемых космических аппаратов (ПКА), а также персонал управления этими полетами на Земле о надвигающейся опасности с целью выработки защитных мер. Кроме того, такие системы могут быть элементами комплексов, противодействующих астероидной или радиационной опасности как на Луне, так и на Земле.

Программа освоения Луны должна в качестве одной из целей предусматривать отработку технологий, которые будут востребованы при подготовке полетов человека к Марсу. В числе базовых технологий могут быть названы следующие:

- новые транспортные системы, в том числе способные безопасно перемещать экипаж и необходимый инструментарий на большие расстояния;
- новые двигательные установки (в том числе электрореактивные, ядерные, лазерные);
- технологии деятельности в специальных напланетных скафандрах;
- технологии геологических исследований, включая методы бурения на больших глубинах и методы анализа грунта без доставки на Землю;
- системы преобразования и передачи солнечной энергии;
- роботизированные системы;
- технологии создания и эксплуатации трансформируемых, в том числе надувных конструкций и др.

Отрабатывать эти технологии и операции на Луне с участием человека гораздо легче, чем на других удаленных объектах.

Начиная с 2012 года, специалисты НАСА и России разрабатывают предложения по использованию в рамках пилотируемых программ точек либрации Луны L1 и L2. При этом рассматриваются как задачи исследования Луны, так и задачи отработки в этих точках технологий полетов в дальний космос [18].

Луна уже многократно использовалась как стартовая площадка для запусков возвращаемых на Землю беспилотных и пилотируемых космических аппаратов. С Луны могут осуществляться беспилотные, а затем и пилотируемые миссии в дальний космос. Иными словами, она может служить в качестве космодрома.

Осуществлять с Луны полеты в дальний космос во много раз легче, чем с Земли. Отношение первых космических скоростей для Земли и Луны  $V_1^z/V_1^l$  показывает, что для выведения одного и того же ПКА на орбиту Луны ракета должна сообщать ему скорость в 4,7 раз меньше, чем на Земле. Чтобы корабль вышел за пределы орбиты Луны, ему нужно сообщить вторую космическую скорость  $V_2^l$ . Соответственно  $V_2^z$  и  $V_2^l$  также отличаются в 4,7 раза.

Использование ресурсов Луны возможно по нескольким направлениям. К ним можно отнести добычу полезных веществ (воды, металлов, кремния, газов, гелия-3 и др.), металлургическое и химическое производство и др. На втором и третьем этапах – получение гелия-3 и доставка его на Землю, добыча водорода, необходимого для полноценного функционирования производственной базы, получения ракетных топлив, использования в системах жизнеобеспечения.

Луна является «свидетелем» 4,2–4,5 миллиарда лет истории Солнечной системы. Она «законсервировала» эту историю лучше, чем какое-либо другое небесное тело. В тот период Земля была еще молодой, и если Луна образовалась из ее обломков, тогда на ней должно остаться почти в первоначальном виде множество следов той эпохи, поскольку на Луне, в отличие от Земли, не было эрозий, пылевых бурь, влияния магнитного поля и пр. [1, 24]. Таким образом, Луну можно использовать для того, чтобы понять, как эволюционировала Солнечная система.

Пребывание человека на Луне позволит освоить способы жизнедеятельности в дальнем космосе, обучиться жизни в чужом мире. При этом возможно решение следующих задач:

- создание напланетной инфраструктуры, включающей, кроме собственно жилых и рабочих модулей, также телекоммуникационные системы, системы энергообеспечения, транспортные и робототехнические системы, заправочные системы, стартовые комплексы, научные комплексы;

- экспериментальная отработка систем жизнеобеспечения (СЖО) с высокой степенью замкнутости по воде и кислороду, высокой надежностью и технологичностью, освоение способов технического обслуживания и ремонта их космонавтами в условиях длительного автономного применения на большом расстоянии от Земли и др.

В обобщенном виде возможные направления освоения Луны в интересах исследований, производства материалов и полетов человека на Марс, астероиды и другие тела Солнечной системы показаны на рис. 1.

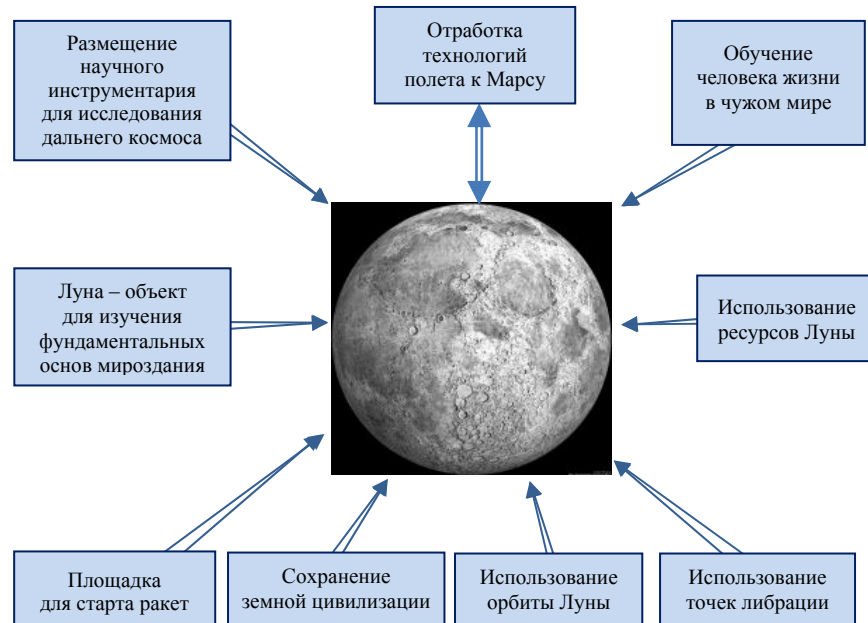


Рис. 1. Направления освоения и использования Луны в рамках пилотируемых космических программ

### Сценарии полетов на Луну

Первые пилотируемые полеты к Луне и на Луну осуществлялись человеком на автономных ПКА в рамках программы «Аполлон». Начало нового этапа освоения Луны в XXI веке будет также связано с полетами автономных кораблей. В ближайшей перспективе ими могут стать российский пилотируемый транспортный корабль нового поколения (ПТК НП), американский «Орион», возможно – модификации китайского корабля «Шеньчжоу».

С их помощью могут быть осуществлены различные схемы полетов к Луне и на Луну:

- облет Луны (без выведения на орбиту искусственного спутника Луны (ОИСЛ));
- полет к Луне с выведением на ОИСЛ;
- посадка на Луну (автономно или в интересах работ по созданию лунной базы);
- полет в точку либрации L2 (в том числе для посещения находящейся в ней космической базы-станции);
- полет на лунную орбитальную станцию (ЛОС), транспортные операции по схеме «ЛОС–Луна–ЛОС»;
- полет к Луне с выведением на ОИСЛ для доставки грунта с помощью беспилотного взлетно-посадочного комплекса (БВПК) и др.

В рамках каждой из приведенных схем может быть реализовано несколько типовых сценариев. В общем случае в зависимости от целей полетов к Луне, уровня развития ракетно-космической техники (РКТ), выбранных схем построения лунной

инфраструктуры число типовых сценариев (типовых миссий) может быть достаточно велико. Так, в работе [2] представлено 19 сценариев формирования лунной инфраструктуры с использованием 23 различных космических средств. При этом рассматриваются одно- и многопусковые схемы выведения ПКК с использованием ракет-носителей (РН) среднего, тяжелого и сверхтяжелого классов.

Каждому из возможных сценариев будет соответствовать свой тип и характер деятельности космонавтов, участвующих в их осуществлении. Для определения функций и видов деятельности космонавтов любой из сценариев может быть представлен в виде составляющих его базовых структурных элементов. В качестве примера в таблице 1 представлены результаты декомпозиции 6 различных сценариев полетов на Луну, возможных на первом этапе ее освоения, с выделением для них базовых структурных элементов, определяющих виды деятельности космонавтов.

Таблица 1

Базовые структурные элементы возможных сценариев полетов ПКА к Луне и на Луну

№ п/п	Типовые сценарии	Облет Луны	Полет к Луне с выведением на ОИСЛ	Посадка на Луну	Полет в точку Лагранжа	Полет на ЛОС. Транспортные операции по схеме «ЛОС–Луна–ЛОС»	Полет к Луне с выведением на ИСЛ для доставки грунта с помощью БВПК
1	Старт ПКА, выведение и выход на околоземную орбиту ожидания ИСЗ	+	+	+	+	+	+
2	Полет на орбите ожидания ИСЗ	+	+	+	+	+	+
3	Стыковка ПКА с (РБ)*	+	+	+	+	+	+
4	Ориентация и разгон ПКА до скорости, достаточной для перелета к Луне	+	+	+	+	+	+
5	Движение ПКА по траектории полета к Луне	–	+	+	+	+	+
6	Полет по траектории близкого (дальнего) облета Луны (без выведения на ОИСЛ)	+	–	–	–	–	–
7	Ориентация и переход ПКА на ОИСЛ	–	+	+	–	+	+
8	Полет (автономный) ПКА на ОИСЛ	–	+	+	–	+	+
9	Стыковка–расстыковка с лунным взлетно-посадочным модулем (ЛВПМ)	–	–	+	–	+	+
10	Полет ПКА в составе ЛОС	–	–	–	–	+	+
11	Полет по гало-орбитам или орбитам Лиссажу в точке $L_2$	–	–	–	+	–	–

Окончание таблицы 1

№ п/п	Типовые сценарии Структурные элементы	Облет Луны	Полет к Луне с выведением на ОИСЛ	Посадка на Луну	Полет в точку Лагранжа	Полет на ЛОС. Транспортные операции по схеме «ЛОС–Луна–ЛОС»	Полет к Луне с выведением на ИСЛ для доставки грунта с помощью БВПК
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
12	Снижение и посадка на поверхность Луны	-	-	+	-	+	-
13	Деятельность экипажа на поверхности Луны		-	+	-	-	-
14	Деятельность экипажа на борту ЛОС		+	+	-	+	+
15	Дистанционное управление объектами на Луне (роботами, луноходами и др.)		-	+	+	+	+
16	Взлет с Луны		-	+	-	+	-
17	Стыковка ЛВПМ с ПКА		-	+	-	+	+
18	Ориентация и разгон ПКА до скорости, достаточной для перелета к Земле		+	+	+	+	+
19	Орбитальные переходы из точек Лагранжа $L_2$ в $L_1$ (и обратно)		-	-	+	-	-
20	Движение ПКА по траектории полета к Земле		+	+	+	+	+
21	Вход в атмосферу Земли		+	+	+	+	+
22	Посадка ПКА на Землю		+	+	+	+	+
23	Покидание экипажем ПКА. Эвакуация с места посадки		+	+	+	+	+
24	Решение целевых задач в полете		+	+	+	+	+
Обозначения: + структурный элемент имеется в данном сценарии - структурный элемент отсутствует в данном сценарии * возможен полет в составе комплекса с разгонным блоком (РБ)							

Используя представленный набор базовых структурных элементов, можно сформировать любой другой промежуточный типовой сценарий полета к Луне в дополнение к рассмотренным в таблице 1 и разработать соответствующую конкретному сценарию «модель» деятельности космонавтов. Содержание и частоту повторений базовых элементов в различных сценариях целесообразно учитывать как на ранних стадиях проектирования «лунных» ПКА, так и при разработке требований к подготовке экипажей лунных миссий.



### Факторы и условия, влияющие на профессиональную деятельность космонавтов на Луне

Факторы и условия существенным образом влияют на качество профессиональной деятельности операторов любых сложных человеко-машинных систем (СЧМ), в том числе и ПКК [6, 8, 11, 16, 17].

В общем случае условия профессиональной деятельности космонавтов можно охарактеризовать двухкомпонентным вектором

$$\hat{Q}_{усл} = \hat{Q}_{усл<2>}(\hat{B}_{<i>}, \hat{D}_{<j>}),$$

где  $\hat{B}_{<i>} = \langle \hat{b}_{<1>}, \hat{b}_{<2>}, \dots, \hat{b}_{<i>} \rangle$  – вектор неуправляемых условий;

$\hat{D}_{<j>} = \langle \hat{d}_{<1>}, \hat{d}_{<2>}, \dots, \hat{d}_{<j>} \rangle$  – вектор управляемых условий.

Неуправляемые условия, по сути, определяются природными факторами. Для Луны – это факторы ее положения в космическом пространстве, геолого-географические факторы, а также факторы собственно космического пространства, влияющие на деятельность экипажей на Луне или ОИСЛ. На рис. 2 представлены структура и состав основных факторов и условий, определяемых вектором  $\hat{B}_{<i>}$ .

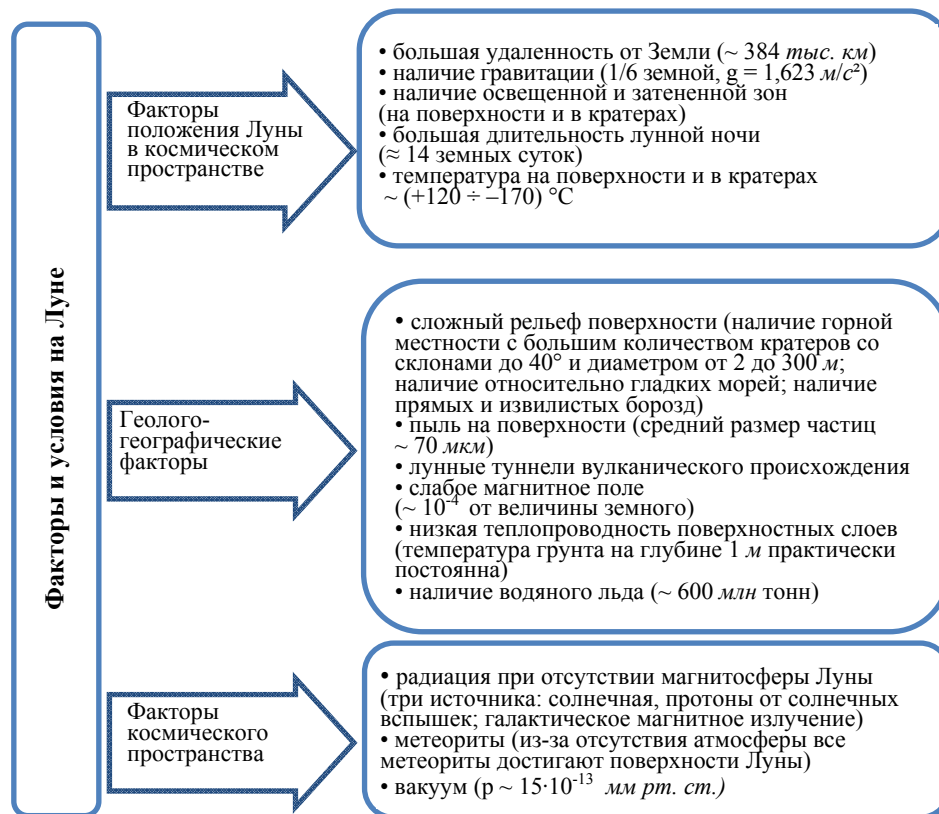


Рис. 2. Структура и состав факторов и условий, влияющих на профессиональную деятельность космонавтов на Луне

Вектор управляемых условий  $\vec{D}_{<j>}$  определяется факторами среды обитания, искусственно создаваемой в герметичных отсеках напланетных лунных космических комплексов (НЛКК) и скафандрах для работы на Луне. К ним относятся микроклимат, акустические шумы, различные излучения, состав воздушной среды, микроорганизмы, размеры обитаемых помещений.

Несмотря на то что организм человека имеет огромные резервы и может переносить различные условия окружающей среды за счет функциональной перестройки его систем [17, 21], нельзя допускать приближение параметров среды обитания к пределам переносимости человека.

Степень влияния условий деятельности операторов СЧМ на качество их работы наглядно представлена в таблице 2, которая построена авторами [16] на основании большого числа экспериментов.

Таблица 2

Влияние свойств рабочей среды на характеристики оператора

Характеристики	Вид рабочей среды			
	Комфортная	Относительно комфортная	Экстремальная	Сверхэкстремальная
$M(\tau)$ – математическое ожидание времени выполнения операций	1,0	1,1...1,2	1,2...1,5	1,5...2,5
$\sigma(\tau)$ – среднее квадратическое отклонение времени выполнения операций	(0,15...0,3) $M(\tau)$	(0,3...0,5) $M(\tau)$	(0,5...0,7) $M(\tau)$	(0,7...1,3) $M(\tau)$
$P_n$ – вероятность безошибочного выполнения операций	1,0	0,95...0,9	0,9...0,7	отказ
$P_{зад.}$ – вероятность своевременного выполнения операций	1,0	0,95...0,8	0,8...0,6	0,3

Материалы этой таблицы использовались при математическом моделировании обслуживания экипажами бортовых систем (БС) орбитальной космической станции (ОКС) и не противоречат результатам практической деятельности космонавтов [23].

Они же могут использоваться и на первых этапах моделирования профессиональной деятельности лунных экипажей в различных штатных или нештатных ситуациях, когда еще недостаточно экспериментального материала, определяющего реальные условия в отсеках НЛКК.

Существенная доля факторов и условий деятельности человека на Луне является новой по отношению к условиям полетов на орбите искусственного спутника Земли (ОИСЗ). Влияние многих из них изучено недостаточно или не изучено вовсе. Например, воздействие на человека гипомангнитной среды (отсутствие магнитного поля). В настоящее время проводятся лишь первые исследования с человеком в данной области [22]. Однако уже они показывают отрицательное влияние гипомангнитных условий на некоторые физиологические характеристики испытуемых.

В силу влияния лунной гравитации ( $g = 1,623 \text{ м/с}^2$ ), при выполнении внекорабельной деятельности (ВКД) изменится по отношению к деятельности космонавта на ОИСЗ не только биомеханика перемещений, но и биодинамика локомоторной активности человека в целом. При этом действие гравитации будет усугубляться

Таблица 3

Относительный прирост времени на выполнение элементов операторской деятельности

Условия работы	Без скафандра		В скафандре для ВКД	
	1 g	1/6 g	1 g	1/6 g
Выполняемая операция				
Стыковка (расстыковка) электроразъемов типа ШР	100 %	136 %	162 %	254 %
Стыковка (расстыковка) байонетных разъемов	100 %	152 %	421 %	614 %
Заворачивание болта	100 %	137 %	168 %	305 %
Навинчивание гайки на закрепленный болт	100 %	118 %	166 %	276 %
Полный цикл забора лунного грунта	100 %	139 %	497 %	564 %

влиянием скафандров, что подтверждалось уже в первых экспериментах на самолетах-лабораториях в условиях полетов при 1/6 g (табл. 3).

Влияние лунной гравитации проявляется в увеличении времени выполнения операций по соединению всех исследованных типов разъемов и типов крепежа. Подобный эффект отмечается и при моделировании полного цикла забора лунного грунта. Результаты экспериментальных исследований, проведенных на самолете-летающей лаборатории, показали, что прирост времени за счет влияния лунной гравитации для разных работ составил от 67 до 193 %, в среднем 120 %, прирост времени вследствие ограничений, создаваемых аналогом скафандра для наплетной деятельности, составил от 118 до 462 %, в среднем – 266 %.

Негативное влияние на качество деятельности космонавтов такого фактора, как освещенность, показано в [8] при выполнении специальных экспериментов в гидроневесомости: трудозатраты на перемещение по конструкции увеличивались от 4 до 17 %, на выполнение сложных работ – от 82 до 387 %. Ошибочные действия по контролю работы систем скафандра возрастали на 12 %, по считыванию показаний приборов – на 18 %. Отсутствие реакции на появление нештатных ситуаций (НшС) увеличивалось на 19 %.

Нюансы влияния освещенности на Луне при выполнении ВКД будут определяться наличием светлой и темной сторон и большой длительностью лунной ночи (ее продолжительность составляет ~14 земных суток). Кроме того, поскольку из-за отсутствия атмосферы на Луне не происходит рассеяние света, возникает резкая контрастность при переходе от освещенных зон работы к затененным. Затененные места оказываются очень темными, что создает опасности для космонавта как при перемещениях, так и при ориентации.

Одним из новых факторов, который, несомненно, скажется на качестве работ и безопасности пребывания экипажа на Луне, является ее большая удаленность от Земли. Экипажам на Луне придется работать в условиях относительно высокой степени автономности – невозможны срочная доставка комплектов ЗИПа, экстренная, как на ОИСЗ, эвакуация в случае аварии или заболевания космонавтов. Возможности связи с ЦУПом на Земле будут также хуже, чем на ОИСЗ – радиосигнал с Луны до Земли и обратно проходит с задержкой 2,56 с, а на обратной стороне Луны связь с Землей невозможна вообще, если не создана специальная система лунных спутников-ретрансляторов.

Существует еще целый ряд факторов и условий, которые требуют пристального внимания при учете их влияния на деятельность лунных экипажей. К ним относятся: сложный рельеф местности, в том числе наличие кратеров с крутыми склонами (до  $40^\circ$ ), а также вертикальных и горизонтальных туннелей вулканического происхождения; радиация; метеориты; лунная пыль и др.

### Структура деятельности astronauts в программе «Аполлон»

Анализ структуры деятельности astronauts в программе «Аполлон» позволяет в первом приближении оценить виды деятельности экипажа по нескольким сценариям облета Луны и посадки на ее поверхность.

Всего в рамках программы «Аполлон» было выполнено 11 космических полетов. Из них 2 вокруг Земли, 9 к Луне. В числе последних – 3 полета на ПКА «Аполлон-8», «Аполлон-10» и «Аполлон-13» (аварийный полет) осуществлены по схеме облета Луны, остальные 6 с посадкой на Луну. На рис. 3 показана типовая блок-схема действий astronauts при облете Луны с выходом на ОИСЛ. Наиболее сложными операциями для экипажа в таком сценарии были операции, связанные с переходом ПКА на промежуточную ОИСЛ, с последующим переходом с нее на траекторию полета к Земле. При их осуществлении от astronauts требовалась прецизионная работа по управлению двигательными установками, в том числе на обратной стороне Луны в условиях отсутствия связи с Землей. Такую же значимость имеют операции перестыковки отсеков лунного комплекса на ОИСЛ. При полетах новых транспортных ПКА по траекториям облета Луны последовательность и структура действий экипажей будут схожими с представленными на данном рисунке. С точки зрения безопасности будущих полетов, кроме того, следует учесть особую роль

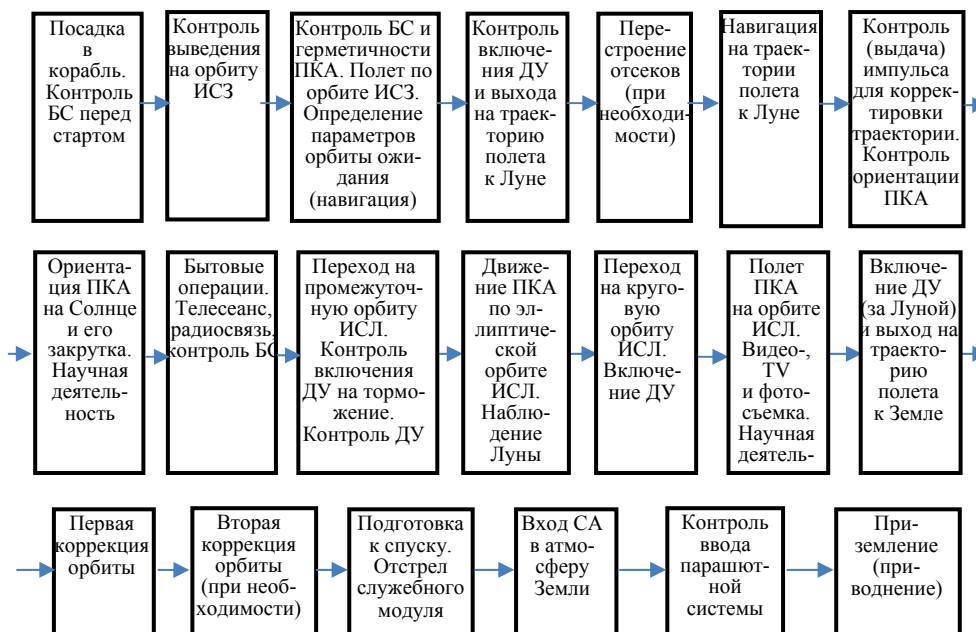


Рис. 3. Типовая блок-схема действий экипажа ПКА «Аполлон» при облете Луны (с выходом на ОИСЛ)

операторской деятельности на этапах выхода ПКА на траекторию полета к Луне, коррекции перелетных орбит и входа в атмосферу Земли.

Посадку на поверхность Луны в рамках программы «Аполлон» совершили 6 пилотируемых лунных модулей (ПЛМ). В ходе каждой из этих миссий были выполнены выходы на поверхность Луны. На рис. 4 представлена последовательность и структура действий экипажа ПКА «Аполлон-11», совершившего первую высадку астронавтов на Луну. Последующие полеты кораблей с номерами 12, 14, 15, 16, 17 выполнялись фактически по той же схеме. В рамках сценариев с высадкой на Луну следует отметить новые наиболее важные элементы деятельности экипажа, такие как переходы с начальной эллиптической орбиты на почти круговую с дальнейшим переходом на периселений высотой около 14,5 км и гашением орбитальной скорости до высоты 2–2,5 км. Далее астронавтами выполнялся ручной спуск ПЛМ на Луну, в ходе которого осуществлялся разворот посадочного модуля с выбором места посадки.

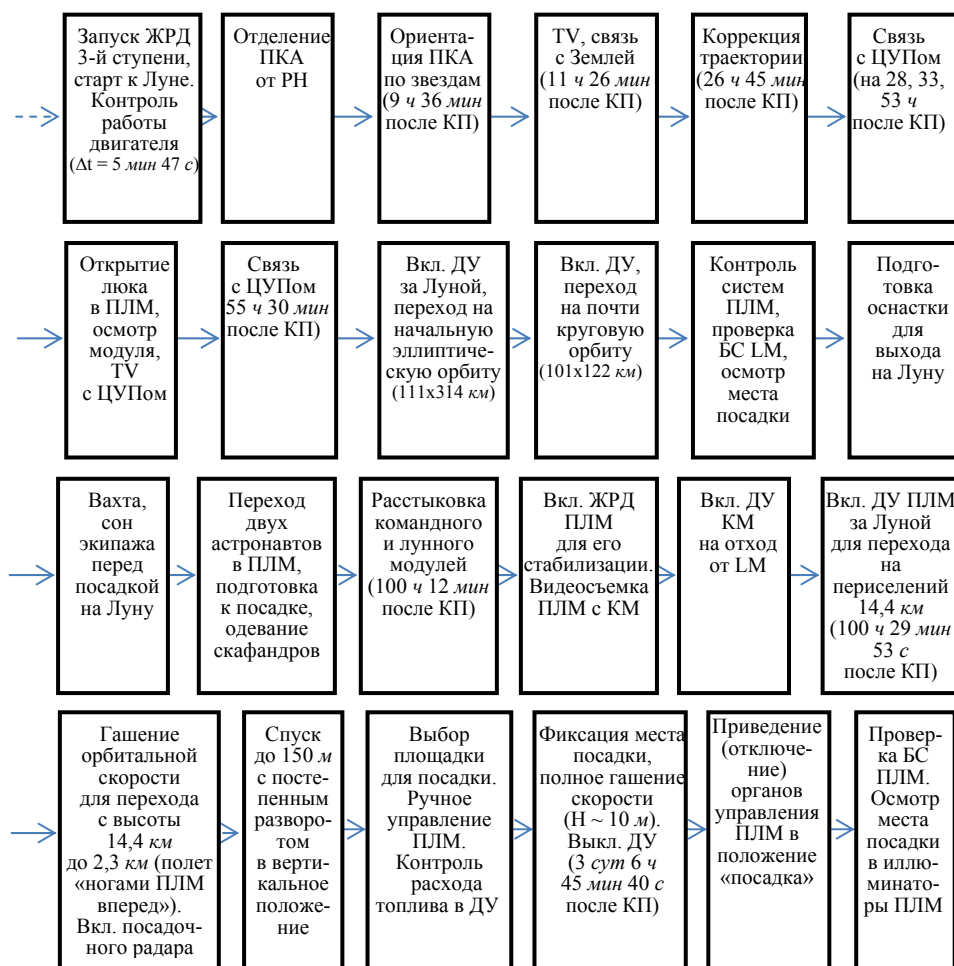
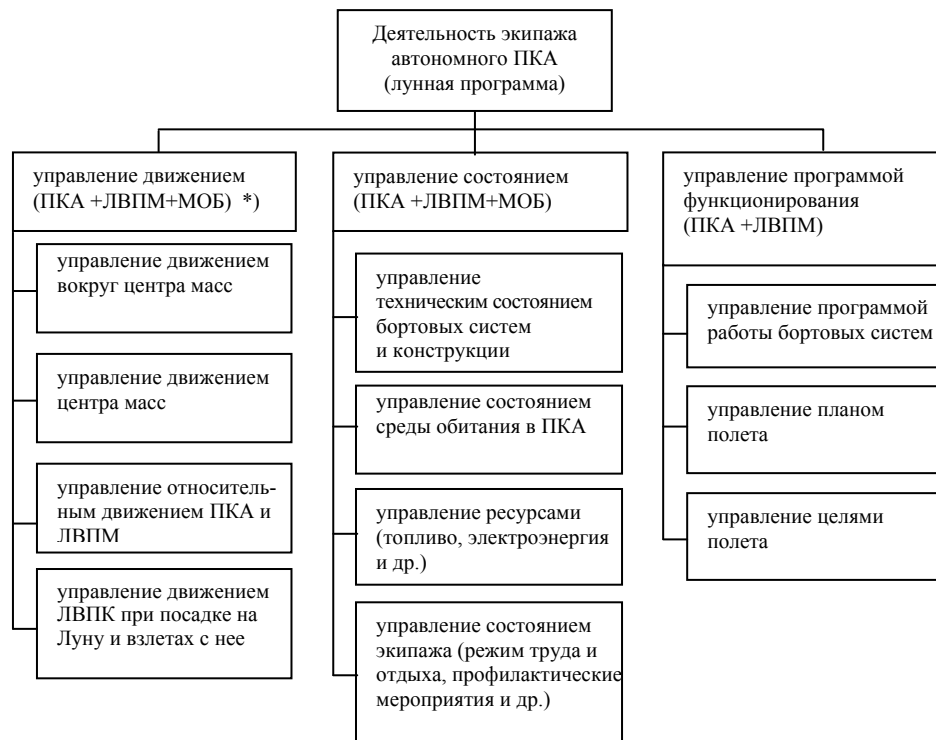


Рис. 4. Блок-схема действий экипажа «Аполлон-11» при посадке на Луну (ДУ – двигательная установка, КМ – командный модуль, КП – контакт подъема)

Операции посадки на Луну и взлета с нее по действиям экипажей «Аполлон» будут во многом схожи с действиями космонавтов на первых этапах реализации лунных программ. Подготовка экипажей к их выполнению должна будет осуществляться на специально созданных для этого технических средствах. При этом должны учитываться как опыт орбитальных полетов ПКА на ОИСЗ, так и опыт пилотируемой программы «Аполлон».

Типовая структура деятельности экипажей ПКА «Аполлон» и других автономных ПКА, выполняющих полеты к Луне, может рассматриваться (рис. 5) как реализация во взаимосвязи следующих видов управления: движением ПКА, его состоянием, программой функционирования (включая решение целевых задач).



\*) МОБ – межорбитальный буксир

Рис. 5. Типовая структура деятельности экипажа автономного ПКА при выполнении полета на Луну

### Особенности деятельности космонавтов при реализации лунных программ

Виды деятельности космонавтов при выполнении орбитальных и лунных миссий во многом схожи в общих чертах и сводятся к следующим:

- управление движением соответствующего ПКА;
- управление состоянием эксплуатируемого ПКА;
- решение целевых задач (выполнение комплексной программы научных исследований и экспериментов; отработка новых космических технологий, добыча и переработка лунных ресурсов);

- участие в создании (построении, сборке) космической инфраструктуры (орбитальной – на ОИСЗ, ОИСЛ или напланетной – на Луне);
- работа с доставляемым оборудованием (разгрузочно-погрузочные работы (РПР), инвентаризация доставляемых и удаляемых грузов, транспортировка по поверхности Луны);
- управление робототехническими комплексами (орбитальными, напланетными, в т.ч. антропоморфного типа);
- проведение испытаний ПКК, а также их отдельных модулей, бортовых систем и оборудования;
- выполнение динамических операций с буксирами и РБ на различных этапах полета.

В силу большого перечня сценариев, возможных при осуществлении перспективных полетов к Луне и на Луну, целесообразно выделить характерные особенности деятельности экипажей, отличающие работу космонавтов в лунных программах от традиционной при полетах по ОИСЗ.

Рассмотрим эти особенности по двум направлениям, которые будут характерны для любого из реализуемых сценариев. Первое – сборка и эксплуатация НЛКК, второе – выполнение целевых задач на нем экипажем лунной экспедиции. В данном случае при сборке и эксплуатации НЛКК рассматриваются все этапы его создания, технического обслуживания, ремонта, модернизации и использования по назначению (рис. 6). Как видно из схемы, ключевые особенности деятельности экипажей в данном случае связаны с перелетами по трассе «Земля–Луна–Земля», взлетно-посадочными операциями, спецификой строительства лунной инфраструктуры, высокой автономностью деятельности космонавтов и соображениями безопасности.

Существенны отличия в деятельности экипажей и при выполнении целевых задач. Это связано как со спецификой условий деятельности на Луне, так и с ожидаемым перераспределением задач научных исследований на Луне по отношению к таковым на ОИСЗ.

На рис. 7 показана в качестве примера выполнения целевых задач на ОИСЗ диаграмма распределения научных экспериментов на МКС по направлениям исследований на стационарном участке ее функционирования (2015 г., экспедиция МКС-39/40) [19]. По сути, эта структура является типовой. От экспедиции к экспедиции отмечаются лишь небольшие отличия.

На НЛКК для экипажей появляются иные приоритеты научных исследований. В интересах их предварительной оценки были рассмотрены различные программы деятельности космонавтов на Луне, включающие более 120 различных задач [3, 4, 5, 7, 24]. На рис. 8 приведены результаты этого оценивания. Из него видно, что, например, такое научное направление как «Исследование Земли и космоса» остается важнейшим и на Луне (объединяет разделы астрономии, физики, гелиофизики и наблюдений Земли), однако на его объемы может приходиться около 29 % всех задач экипажа, что приблизительно в 3 раза больше, чем на МКС. Геологические исследования и разработка полезных ископаемых становятся принципиально новым и, наряду с астрофизическими исследованиями, приоритетным видом деятельности космонавтов на Луне. На них может приходиться около 16 % работ. Исследование возможностей человека в космосе, его жизнеобеспечение и медицинское обеспечение на Луне будут иметь еще большую значимость, чем на сегодняшнем этапе длительных полетов на МКС, что связано в целом с новизной полетов на Луну, большой удаленностью лунной базы от Земли и высокой автономностью работ космонавтов.

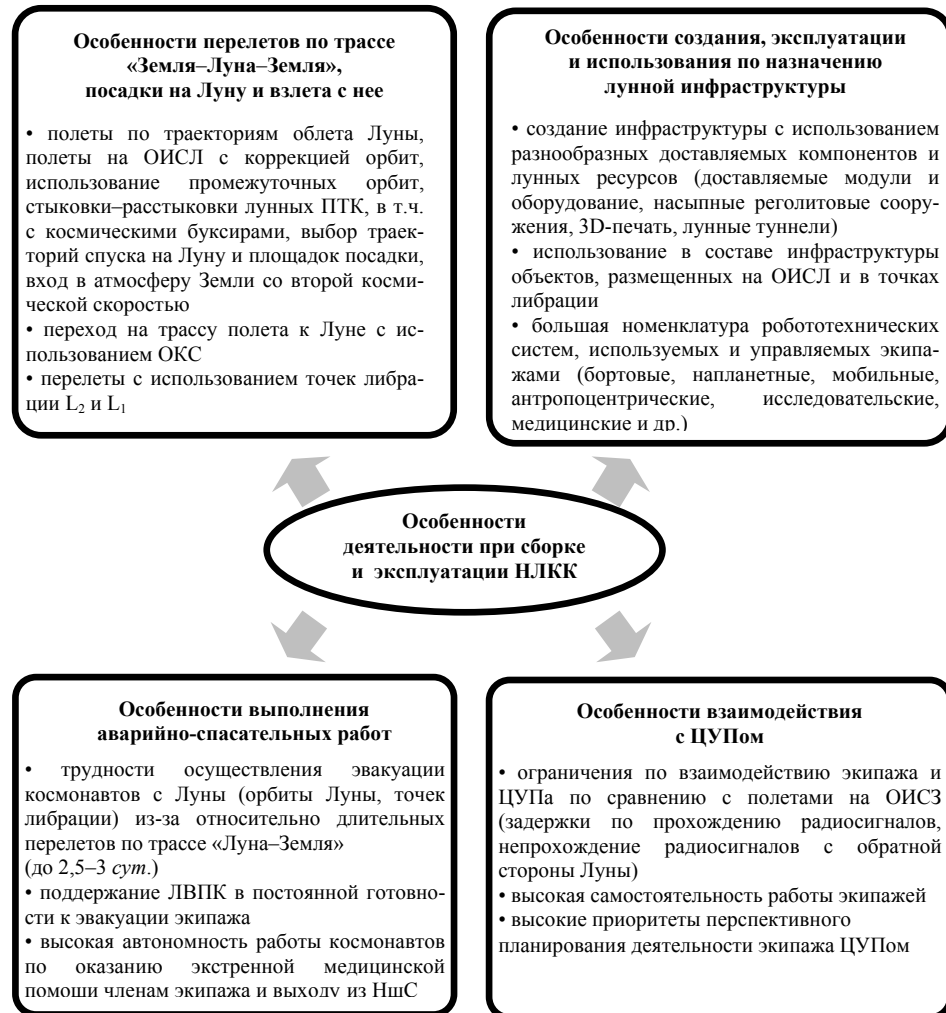


Рис. 6. Особенности деятельности экипажей при создании и эксплуатации лунной инфраструктуры

Объем задач экипажей НЛКК по медицинской сфере деятельности и обеспечению нормальных условий обитаемости человека может достигать 20–25 % от всех работ. Существенный объем деятельности космонавтов на Луне придется на отработку новых технологий (20–37 %), что будет связано как собственно с освоением Луны, так и с использованием ее для отработки технологий полетов на Марс. По направлению «Космическая биология и биотехнология» на НЛКК не ожидается столь высокой значимости исследований, как на орбитах ИСЗ, поскольку одним из важнейших условий их реализации является отсутствие гравитации. Образовательные космические эксперименты (КЭ), работа со СМИ и др. аспекты гуманитарной сферы будут схожи по объемам с аналогичными задачами при полетах на ОКС.



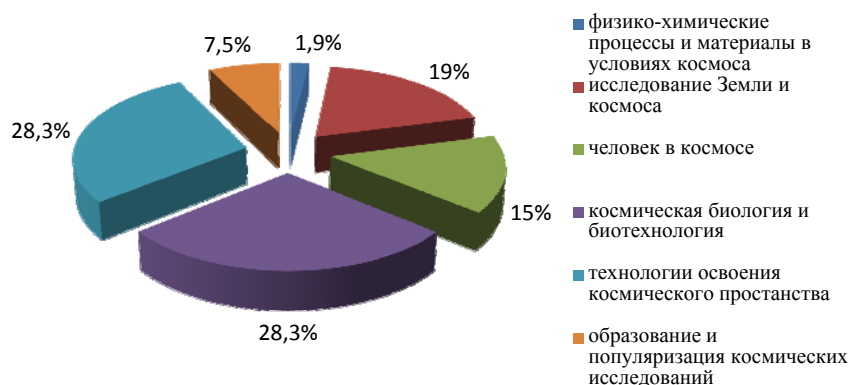


Рис. 7. Направления научных исследований на МКС

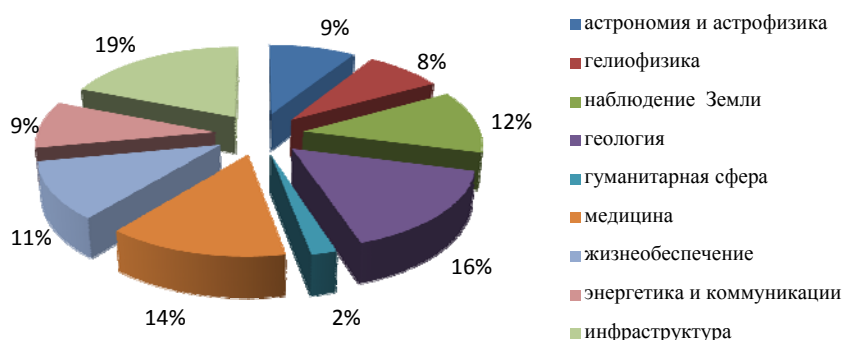


Рис. 8. Области деятельности экипажа на Луне

В обобщенном виде особенности деятельности космонавтов на Луне при выполнении научно-прикладных исследований (НПИ), отработке новых перспективных технологий и проведении процессов опытно-экспериментального производства представлены на рис. 9. Особенности деятельности экипажей НЛКК должны учитываться на этапах отбора и подготовки космонавтов, а также при организации деятельности экипажей лунных комплексов.

Рассмотрим для двух наиболее перспективных видов исследований на Луне (астрофизические и геологические) типовые функции и структуру деятельности космонавтов в ходе их осуществления. Для их оценивания необходимо выявить задачи и способы исследований, а также применяемый инструментарий, что было выполнено с использованием работ авторов [1, 3, 5, 7, 9, 24]. Как видим (рис. 10), подавляющее число функций космонавтов при этом предполагает многоплановую напланетную ВКД в условиях 1/6g с большим объемом транспортных операций, монтажно-демонтажных, ремонтных и разгрузочно-погрузочных работ.

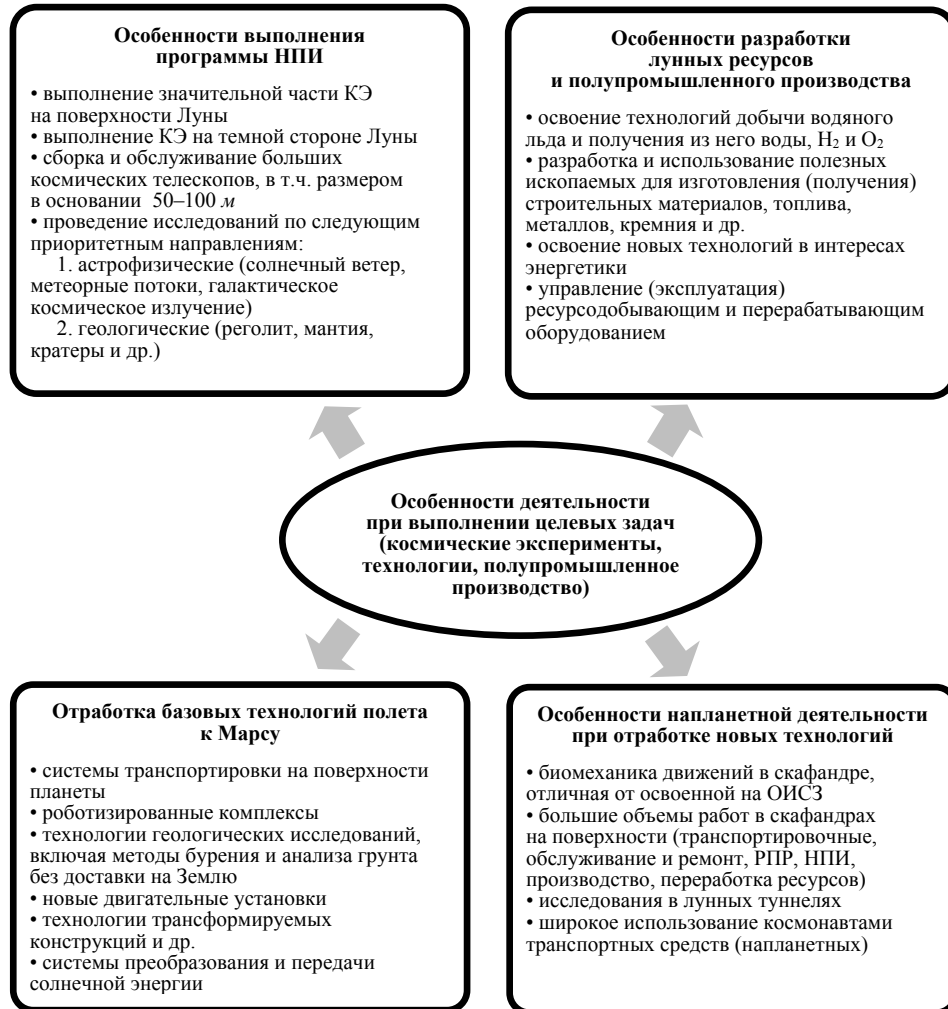


Рис. 9. Особенности деятельности экипажей лунных комплексов при выполнении целевых задач

На рис. 11 представлен вариант структуры деятельности космонавтов при проведении астрофизических исследований с использованием большого телескопа, рассматриваемого в работе [9]. По содержанию эта деятельность в основном не отличается от обычных процедур эксплуатации СЧМ [6, 12, 23]. В то же время, характерным при ее осуществлении является наличие больших объемов прецизионной работы, что ранее было присуще лишь внутрикорабельной деятельности космонавтов. При обслуживании телескопа «Хаббл» прецизионные операции также имели место [11].

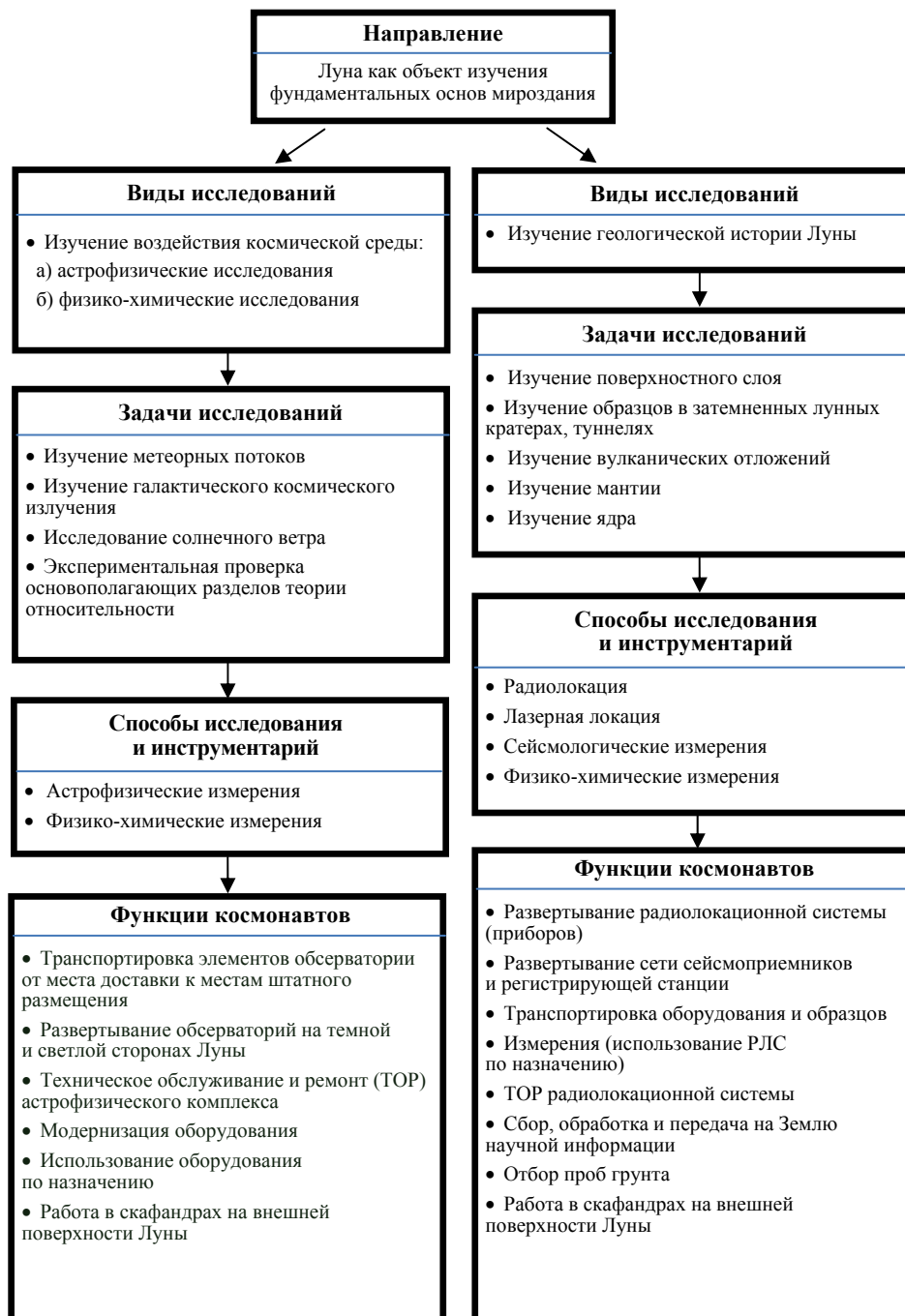


Рис. 10. Виды исследований и функции космонавтов на Луне

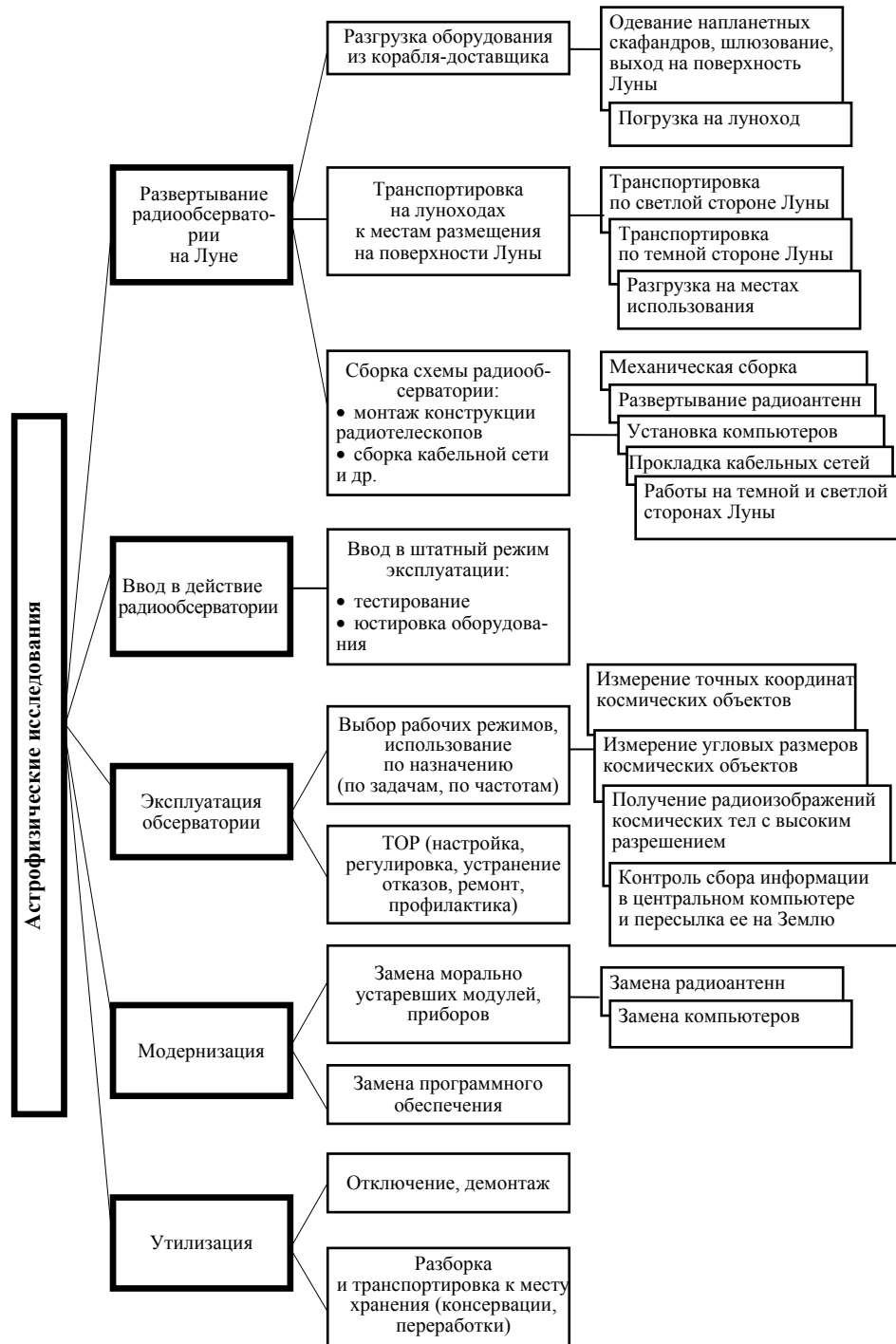


Рис. 11. Структура деятельности космонавтов на Луне при проведении астрофизических исследований

## **От анализа деятельности экипажей МКС к оцениванию структуры деятельности космонавтов на Луне**

Главные цели создания орбитальных пилотируемых комплексов типа «Салют», «Мир», МКС с одной стороны и напланетных лунных с другой в общих чертах совпадают. И те, и другие являются, по сути, постоянно действующими научно-исследовательскими и промышленно-экспериментальными космическими лабораториями, работающими в интересах развития науки, экономики, образования, социальной сферы.

Рассмотрим наиболее характерные структурные элементы деятельности экипажей МКС в ретроспективе оценивания деятельности космонавтов НЛКК.

### ***а) Внутрикорабельная деятельность***

Внутрикорабельная деятельность осуществляется внутри герметичных отсеков космических комплексов. Очевидно, что модули НЛКК будут создаваться, исходя из принципа максимальной преемственности используемого и отработанного оборудования на МКС.

На НЛКК не будет необходимости использования целого ряда систем, присущих орбитальным ПКК. Например, таких, как управления движением, навигации, двигательных установок (типа корректирующей двигательной установки (КДУ) или объединенной двигательной установки (ОДУ)), систем сближения, контроля орбиты и др. В то же время практически с теми же задачами на НЛКК должны функционировать системы жизнеобеспечения, энергопитания, бортовых измерений и автоматизации, отображения информации и другие. Технический облик этих систем будет определяться как уровнем развития техники, так и новыми условиями на Луне. На обслуживание упомянутых постоянно действующих систем в ходе длительной эксплуатации МКС затрачивается значительное количество времени космонавтов. Так на техническое обслуживание и инвентаризацию уходит 11–15 % от общего рабочего времени экипажа, на ремонт – около 6 %, разгрузочно-погрузочные работы – 5–6 %, работу с медицинским оборудованием – 3–4 %. На решение целевых задач полета – программу НПИ затрачивается до 30 % рабочего времени.

В силу преемственности технических решений и состава оборудования, при принятом на МКС режиме труда и отдыха, объемы и структура трудозатрат экипажа на обслуживание БС НЛКК и выполнение НПИ будут схожими, особенно на первом этапе эксплуатации НЛКК. Ожидаемые изменения в компоновке и составе БС НЛКК не приведут к принципиальным отличиям в структуре деятельности экипажей по сравнению с околоземными ОКС. В то же время, перераспределение объемов трудозатрат возможно из-за увеличения времени на медицинское обеспечение экипажа и поддержание уровня его физической подготовленности.

Существенное перераспределение структуры работ экипажа лунной базы должно произойти с появлением новых функциональных модулей, таких как медицинский, складской, модуль-оранжерея, и развертыванием на Луне научной и производственной инфраструктуры.

### ***б) Внекорабельная деятельность***

ВКД на ОКС можно рассматривать в качестве определенного аналога напланетной деятельности космонавтов на поверхности Луны. Однако несомненно, что ее задачи, структура и объемы на Луне будут отличаться от подобных характеристик на орбитальных станциях.

Эти отличия на первых этапах будут связаны с созданием напланетной инфраструктуры НЛКК, на последующих – с ее эксплуатацией и использованием для выполнения программ НПИ и задач полупромышленного освоения Луны.

В ходе ВКД на ОКС обычно выполняются комплексные задачи полета – как в интересах НПИ, так и для обеспечения работоспособности станции и модернизации ее оборудования. В работе [10] приведены данные по структуре ВКД на отечественных ОКС. На их дооснащение и техническое обслуживание приходится 49 % задач ВКД, на научные программы – 29 %, на ремонтно-восстановительные работы (РВР) и ликвидацию НшС – 22 %.

Средняя продолжительность одного выхода в открытый космос (ОК) на РС МКС составляет около 6,3 часа, а в целом трудозатраты экипажа на обеспечение одного выхода (с учетом подготовительно-заключительных операций) составляют около 101 часа, т.е. ~13 % располагаемого (рабочего) полетного времени экипажа (табл. 4).

Таблица 4

Типовые характеристики объемов ВКД на РС МКС

Экспедиция МКС		34/35	35/36	37/38	39/40	41/42	Средние значения по 10 ВКД
Кол-во ВКД за экспедицию		1	3	3	2	1	
Номер ВКД и продолжительность работы космонавтов в ОК		ВКД-32 6 ч 37 мин	ВКД-33 6 ч 35 мин	ВКД-36 5 ч 50 мин	ВКД-38 7 ч 23 мин	ВКД-40 3 ч 41 мин	6,3 ч
			ВКД-34 7 ч 29 мин	ВКД-37 8 ч 07 мин	ВКД-39 5 ч 10 мин		
			ВКД-35 5 ч 58 мин	ВКД-37А 6 ч 08 мин			
Суммарный объем трудозатрат на ВКД	час	142,5 (БИ-1) 69,0 (БИ-4)	207,1 (БИ-4) 208,7 (БИ-2)	57,3 (КЭ) 38,1 (БИ-2) 7,96 (БИ-4)	69,7 (БИ-1) 77,4 (БИ-2)	72,9 (КЭ) 48,5 (БИ-1) 12,8 (БИ-2)	101,2 ч
Суммарная доля затрат космонавта на ВКД от располагаемого (рабочего) времени за экспедицию	%	18,9 (БИ-1) 10,7 (БИ-1)	27,4 (БИ-4) 27,7 (БИ-2)	7,5 (КЭ) 5,0 (БИ-2)	9,0 (БИ-1) 10,0 (БИ-2)	9,4 (КЭ) 6,3 (БИ-1)	13,2 %

На 1 час ВКД приходится в целом около 16 часов трудозатрат экипажа РС МКС (2,2 % его рабочего времени). Средняя частота выходов ВКД на РС МКС составляет 1 выход на каждые 4 месяца полета станции.

При эксплуатации НЛКК следует ожидать увеличения в разы и частоты, и времени работы экипажей на поверхности Луны, что обуславливается рядом причин:

1. Большая часть лунной инфраструктуры НЛКК будет находиться на ее поверхности, а значит, ее сборка и обслуживание потребуют напланетной ВКД.

2. Значительный объем исследований экипажей лунной миссии будет связан с работами на поверхности Луны (изучение геологии Луны, забор проб грунта,

сейсмологические измерения, физико-химические измерения, транспортировка образцов и др.).

3. Потребуется сборка, обслуживание и использование больших радиообсерваторий на поверхности Луны [9]. Примеры сборки и обслуживания космических телескопов и других больших конструкций показывают, что даже в условиях орбитальных полетов объемы ВКД были достаточно большими. Так, при обслуживании телескопа «Хаббл» астронавты выполнили 22 выхода в ОК, затратив на них 158,5 ч при средней продолжительности одного выхода около 7,2 ч. При монтаже и обслуживании фермы «Софора» космонавты комплекса «Мир» выполнили 8 выходов в ОК общей продолжительностью около 50 часов, при средней длительности одного выхода 6,25 ч.

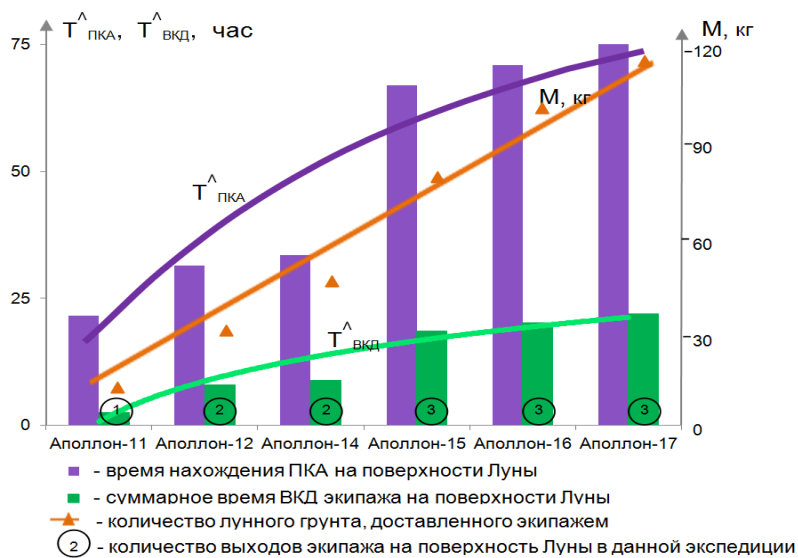


Рис. 12. Внекорабельная деятельность экипажей ПКА «Аполлон»

Рассмотрим в качестве примера, как осуществлялись первые напланетные работы на Луне в рамках программы «Аполлон» (миссии № 11, 12, 14, 15, 16, 17). Как видно из рис. 12, время пребывания ПКА на поверхности Луны (от первой миссии до последней) возросло в 3 раза, число выходов увеличилось от 1 до 3, количество доставленного грунта – в 6 раз. Суммарное время пребывания экипажа на Луне в рамках ВКД составляло для данных миссий 2,4; 8,3; 9,5; 19,0; 21,3; 23,7 часа соответственно (в среднем 8,4 часа на 1 выход). Общее время ВКД миссии по отношению ко времени пребывания ПКА на поверхности Луны составляло в процентах соответственно: 10,5; 25,9; 27,6; 27,1; 28,6; 30,3. Таким образом, астронавты последней миссии «Аполлон-17» находились на открытой поверхности Луны почти треть времени пребывания на ней корабля. Характерным для данной программы было постепенное наращивание возможностей космонавтов по ВКД как по времени пребывания на Луне, так и по сложности выполняемых работ.

При оценивании полетов КК «Аполлон» на Луну следует учитывать, что все миссии этой программы были краткосрочными и на их результаты можно ориентироваться лишь при экспедициях подобной продолжительности. При длительном

пребывании экипажей НЛКК на Луне циклограммы ВКД должны будут уточняться в ходе экспериментальной отработки в гидролаборатории, на самолетах-лабораториях, стендах обезвешивания, имитаторах лунных полигонов и в барокамерных комплексах [8].

При организации напланетной ВКД в случае длительного пребывания экипажей на Луне будет необходимо учитывать как опыт программы «Аполлон», так и опыт полетов ОКС по ОИСЗ. Объемы и длительность ВКД, частота выходов космонавтов в ОК, порядок поддержки экипажа ЦУПом, циклограмма деятельности должны формироваться с учетом безусловного обеспечения безопасности работ космонавтов и требований высокой эффективности выполнения операций. На сегодняшнем этапе исследований, когда создаются научно-технические заделы по обеспечению длительного пребывания человека на Луне, необходимо дальнейшее проведение отработки операций ВКД на наземных аналогах ПКА, в условиях, близких к условиям на Луне.

### **Заключение**

К настоящему времени получен большой практический опыт выполнения космонавтами различных задач профессиональной деятельности на околоземных орбитах. Планируемые полеты к Луне в ближайшие десятилетия ставят новые задачи перед экипажами перспективных космических комплексов по их эффективному и безопасному осуществлению.

Функции, виды и задачи профессиональной деятельности космонавтов в этих полетах будут определяться целями выполняемых экспедиций, сценариями их осуществления, конструктивно-технологическими характеристиками ПКА и условиями пребывания человека на Луне или в окололунном пространстве.

На основании опыта предшествующих полетов космонавтов на отечественных ПКА, астронавтов в рамках программы «Аполлон», с учетом планируемых полетов к Луне на автономных ПКА нового поколения структура деятельности их экипажей рассматривается как реализация взаимосвязанных видов управления – движением ПКА, его состоянием и программой функционирования. Такое представление позволяет при любых известных сценариях полета и конструктивно-технологических характеристиках космического корабля перейти к формированию функций и задач экипажа, а затем требований к их отбору и подготовке.

Виды деятельности космонавтов при реализации программы полетов на ОИСЗ и Луне во многом схожи, однако между ними имеются и существенные различия в части их конкретного содержания, процедур выполнения, а также функций при напланетной деятельности экипажей. Разработаны структурные схемы, определяющие особенности деятельности экипажей при сборке и эксплуатации лунной инфраструктуры и выполнении целевых задач на поверхности Луны.

Показано сходство и различие в структуре научных исследований, выполняемых экипажами МКС, и перспективных лунных напланетных комплексов. Для наиболее актуальных направлений исследований на Луне, а именно, изучения геологии Луны и астрофизических исследований, разработаны блок-схемы, позволяющие выявить типовые функции космонавтов при их реализации.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Под ред. В.П. Легостаева, В.А. Лопоты. – М.: РКК «Энергия», 2011. – С. 584.



- [2] Крикалев С.К., Сапрыкин О.А. Пилотируемая лунная инфраструктура и коммерциализация полетов к Луне // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(18). – 2016. – С. 47–62.
- [3] Краффт А. Эрике. Будущее космической индустрии. – М.: Машиностроение. 1979. – 200 с.
- [4] Крючков Б.И., Курицын А.А., Ярополов В.И. Концепции, направления и перспективы развития мировой пилотируемой космонавтики. – НИИЦПК имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок. 2013. – 257 с.
- [5] Брюханов Н.А., Легостаев В.П., Лобыкин А.А. и др. Использование ресурсов Луны для исследования и освоения Солнечной системы в XXI веке // Космическая техника и технологии. – № 1(4). – 2014. – С. 3–14.
- [6] Анохин А.Н., Острейковский В.А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 2011. – 344 с.
- [7] 181 Things to do on the Moon. Marshall Space Flight Center, NASA, February 17, 2007.
- [8] Юзов Н.И., Крючков Б.И., Шувалов В.А. Внекорабельная деятельность космонавтов. – РГНИИЦПК, 1998. – 376 с.
- [9] Largest Telescope would be out of this World. <http://www.space.com/5248>.
- [10] Цыганков О.С. 50 лет трудовой деятельности в открытом космосе // Материалы 50-х научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга, 2015. – С. 28–35.
- [11] Крючков Б.И. Техническое обслуживание и ремонт в космосе. – НИИЦПК, 2010. – 257 с.
- [12] Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
- [13] Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
- [14] Крючков Б.И., Карпов А.А., Усов В.М. Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 32. – С. 125–151.
- [15] Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. – МО СССР, 1989. – 660 с.
- [16] Мозин В.А., Улитин Ю.Г. Поправочные коэффициенты для временных и надежностных показателей оператора СЧМ при воздействии факторов внешней среды. В сб. Эффективность и надежность систем «человек–техника». – М.: Высшая школа, 1975. – С. 77–78.
- [17] Адамович Б.А., Горшенин В.А. Жизнь вне Земли. – М.: МФПК «Технология – индустрия», 1997. – 591 с.
- [18] Рафтери М., Деречин А. Исследовательская платформа в точке либрации «Земля–Луна» // Обзор космических новостей НИИЦПК. – № 3. – 2012. – С. 6–23.
- [19] Скворцов А.А., Артемьев О.Г. Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-39/40 при выполнении программы космического полета // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(14). – 2015. – С. 23–35.
- [20] Ярополов В.И., Крючков Б.И., Сосюрка Ю.Б., Ларин А.Г. Руководство для специалистов по научно-техническому сопровождению разработки пилотируемых космических аппаратов (комплексов). – НИИЦПК имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок. 2013. – 238 с.
- [21] Космическая биология и медицина. В 2-х томах. Том 1. Медицинское обеспечение длительных полетов. – ГНЦ РФ–ИМБП РАН, 2001. – 600 с.
- [22] Гурфинкель Ю.И., Васин А.Л., Сасонко М.Л. Реакция сердечно-сосудистой системы человека на кратковременное воздействие нулевого магнитного поля. Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» – Звездный городок, 2015. – С. 376–377.
- [23] 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. – РГНИИЦПК, 1998. – 244 с.
- [24] Минчин С.Н., Улубеков А.Т. Земля–космос–Луна. – «Машиностроение», 1972. – 244 с.
- [25] Космонавтика XXI века / Под ред. Академика РАН Чертока Б.Е. – М.: Изд-во «РТСофт», 2010. – 864 с.

УДК 629.78.007

**СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ДЛЯ РАБОТЫ С ПЕРСПЕКТИВНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной, **Н.А. Бачмановский**

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

Рассмотрены задачи подготовки, определены требуемые знания и умения космонавтов для работы с перспективной робототехнической системой. Для перспективной робототехнической системы определен требуемый состав тренажерных средств, позволяющий обеспечить подготовку космонавтов к управлению и обслуживанию робототехнической системы на борту перспективного пилотируемого комплекса. Разработаны предложения по структуре тренажерных средств, решаемым задачам, основным требованиям по назначению.

**Ключевые слова:** робототехническая система, внекорабельная деятельность, подготовка космонавтов, тренажер, макет.

**Means of Cosmonaut Training for Work with an Advanced Robotic System. P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy, N.A. Bachmanovsky**

The paper deals with the tasks of training and required knowledge and skills of cosmonauts for work with an advanced robotic system and determines the needed simulators ensuring cosmonaut training for the control and maintenance of a robotic system on the board of a future manned complex. The authors developed proposals on the structure of simulator facilities, tasks, and main requirements.

Keywords: robotic system, extravehicular activity, cosmonaut training, simulator, mockup.

**1. Обоснование задач подготовки**

Применение робототехнических систем (РТС) на борту пилотируемых космических комплексов, в частности, на борту российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС), может повысить эффективность решения некоторых задач внекорабельной деятельности [1, 2]. Одной из основных типовых задач (функций) экипажа при выполнении полета на РС МКС является работа по эксплуатации и обслуживанию бортовых систем РС МКС, в том числе в нештатных ситуациях. Разрабатываемые РТС различного назначения являются подсистемами РС МКС, и эффективность их применения во многом определяется подготовленностью космонавтов к обслуживанию и целевому применению РТС. Поэтому задачи подготовки космонавтов к работе с РТС приобретают актуальность.

Для применения и эксплуатации РТС на борту станции космонавты должны обладать определенными знаниями и умениями. Для работы на борту МКС космонавты должны знать:

- состав, устройство, назначение РТС, применяемых на орбитальной станции;
- задачи, решаемые с помощью РТС;
- конструкцию составных частей;
- принцип действия системы управления;
- технические характеристики;
- основные режимы работы РТС;

- возможные нештатные ситуации и действия по выходу из них;
- правила пользования бортовой документацией;
- правила безопасной работы на внешней поверхности;
- требования по объему, правилам и периодичности выполнения подготовительных работ, технического обслуживания, ремонта и перевода в режим хранения РТС.

Для эксплуатации РТС на борту МКС космонавты должны уметь:

- управлять РТС в различных режимах, в том числе в нештатных ситуациях;
- выполнять работы по подготовке РТС к использованию, техническому обслуживанию;
- тестировать и диагностировать систему управления и отдельные устройства, проводить наладку оборудования и систем РТС;
- распознавать отклонения от штатной работы РТС и своевременно их парировать;
- работать с соответствующей бортовой документацией;
- владеть специфической для РТС терминологией, правильно вести радиодиагностику при работе с РТС, организовывать, координировать и контролировать взаимодействия членов экипажа при работе с РТС.

Требуемые знания космонавты получают в ходе теоретической подготовки. Для подготовки космонавтов к работе с РТС необходимо создание тренажеров, позволяющих космонавтам получать требуемые навыки и умения по управлению РТС.

## **2. Состав средств подготовки космонавтов для работы с РТС при решении различных задач, возлагаемых на робототехническую систему**

Исходя из анализа задач, возлагаемых на РТС, в [2] показано, что для выполнения ими всех своих функций в полном объеме на борту станции необходимо разрабатывать два типа РТС:

- автономная РТС для решения задачи транспортировки полезной нагрузки – робототехническая транспортно-манипуляционная система (РТМС);
- спутник-инспектор (СИ) для решения задач инспекции.

Данные системы принципиально различны по внешнему облику, законам перемещения, конструктивному исполнению. Поэтому представляется целесообразным создавать тренажные средства отдельно для каждого типа РТС.

Исходя из задач, возлагаемых на РТМС, следует, что космонавт должен уметь управлять роботом в штатных и нештатных ситуациях. Основными задачами управления являются:

- ввод исходных данных в программу управления для решения поставленной задачи;
- текущий контроль работы;
- коррекция программы работы;
- реагирование на нештатные режимы работы;
- ручное управление роботом.

В процессе работы на борту РС МКС космонавт осуществляет:

- дистанционное управление и контроль функционирования РТМС из герметичных модулей РС МКС с помощью внутреннего пульта;

– непосредственное физическое взаимодействие с РТМС на внешней поверхности РС МКС при нештатных ситуациях.

В первом случае космонавт взаимодействует с объектом только по видео и по служебной информации, непосредственный физический и визуальный контакт отсутствует. Следовательно, для проведения подготовки не требуется физической модели РТМС, а достаточно наличия цифровой модели. Это упрощает моделирование условий функционирования РТМС, исключается необходимость физического моделирования условий невесомости при работе РТМС. Для этого случая тренажер для подготовки космонавтов может содержать математическую модель РТМС, отражающую с достаточной степенью адекватности динамику подвижных частей, взаимодействие с внешними объектами, логику работы РТМС.

Во втором случае космонавт должен непосредственно физически взаимодействовать с РТМС. Анализ вопросов безопасности применения РТС [3] показал, что при возникновении нештатных ситуаций требуется выход космонавтов в открытый космос и выполнение операций для приведения РТМС к базовой точке (либо внутрь станции). Кроме того, непосредственное взаимодействие осуществляется при выполнении подготовки РТМС к работе и техническом обслуживании внутри станции. Для подготовки космонавтов к выполнению задач такого типа необходимо иметь макеты РТМС с подвижными манипуляторами и захватными устройствами. Для отработки задач подготовки космонавтов, требующих использования отдельных действующих систем РТМС, необходимо иметь функциональный макет РТМС, используемый в нормальных условиях, например, на тренажере «Выход-2» или в классе для практических занятий. Для обеспечения возможности отработки в гидролаборатории задач взаимодействия космонавта в скафандре с РТМС на внешней поверхности станции необходим габаритный макет для гидросреды.

Таким образом, для подготовки космонавтов к работе с РТМС необходимы следующие технические средства подготовки:

- тренажер РТМС;
- функциональный макет РТМС;
- макет РТМС для гидросреды.

В процессе работы на борту РС МКС предполагаются следующие виды взаимодействия космонавта со спутником-инспектором:

- дистанционное ручное и автоматическое управление и контроль функционирования СИ из герметичных модулей РС МКС;
- техническое обслуживание СИ для подготовки его к работе.

Для проведения подготовки по дистанционному ручному и автоматическому управлению и контролю функционирования СИ необходимо иметь тренажер, содержащий математическую модель СИ, отражающий с достаточной степенью адекватности динамику его движения.

Для проведения подготовки по техническому обслуживанию СИ необходимо иметь габаритный образец СИ с действующими разъемами, коммуникациями для зарядки двигательной установки, установки и подключения аппаратуры наблюдения.

Таким образом, для подготовки космонавтов к работе с СИ необходимы следующие технические средства подготовки:

- тренажер спутника-инспектора;
- функциональный макет спутника-инспектора.

### **3. Назначение тренажеров, состав, решаемые задачи**

#### **3.1. Тренажер РТМС**

Тренажер предназначен для отработки практических навыков при выполнении различных режимов управления РТМС с пультов управления.

При проведении тренировок тренажер должен обеспечивать:

- моделирование динамики движения РТМС и изменения видимой поверхности станции при отработке операций, предусмотренных программами полетного задания с учетом ввода управляющих воздействий со стороны оператора;
- отображение визуальной обстановки при выполнении операций в условиях нахождения оператора внутри модуля станции;
- использование штатных средств управления РТМС;
- использование штатных средств отображения информации РТМС;
- подготовку программ выполнения операций РТМС на бортовых средствах;
- ввод нештатных ситуаций в работу РТМС;
- оперативное управление процессом тренировки с записью и воспроизведением отдельных режимов и оценкой операторской деятельности.

Тренажер должен обеспечивать подготовку космонавтов к выполнению следующих задач:

- управление РТМС:
  - в автоматическом режиме управления (соблюдение последовательности выполнения операций);
  - в ручном режиме управления;
  - в режиме непосредственного управления (возможность управления действием каждого механизма манипулятора в отдельности);
  - переход с автоматического режима управления на ручной и обратно;
  - управление РТМС при транспортировке грузов;
  - управление РТМС с имитацией частичной видимости РТМС из гермоотсеков орбитальной станции.

Задачи управления должны быть уточнены после получения исходных данных по системе управления движением РТМС.

В процессе тренировки на тренажере космонавт может отработать управление всеми основными этапами функционирования РТМС при выполнении задач перемещения полезной нагрузки по внешней поверхности станции. Тренажер должен позволять управлять движением РТМС в автоматических и ручных режимах в точном соответствии с процедурами реальной деятельности, которые космонавт будет выполнять на борту орбитальной станции, что позволит повысить качество и эффективность подготовки космонавтов.

#### **3.2. Функциональный макет РТМС**

Функциональный макет РТМС предназначен для проведения тренировок космонавтов на тренажере «Выход-2» или в учебных классах.

Функциональный макет должен иметь массогабаритные характеристики, аналогичные штатному изделию, а также действующие системы и узлы, воздействию на которые предполагается обучать космонавта согласно предполагаемым требованиям по эксплуатации.

При проведении тренировок функциональный макет РТМС должен обеспечивать:

- возможность безлюфтового закрепления на такелажных элементах;
- поддержание конфигурации РТМС при различных положениях манипуляторов, захватывающих устройств (ЗУ) и базового блока (ББ);
- подвижность шарниров манипуляторов;
- возможность открытия штатных крышек и лючков;
- возможность подсоединения штатной контрольно-диагностической аппаратуры;
- возможность замены элементов в расчетных нештатных ситуациях.

Функциональный макет РТМС должен обеспечивать подготовку космонавтов к выполнению следующих операций:

- извлечение РТМС из транспортной упаковки и расконсервация;
- сборка и подготовка к выводу из герметичного отсека;
- обслуживание РТМС в герметичном отсеке;
- ремонт РТМС в герметичном отсеке:
  - замена захватывающих устройств;
  - замена шарниров;
  - замена теле- или видеоаппаратуры;
  - замена систем освещения;
  - замена системы обогрева;
  - замена аккумуляторов;
- подготовка к эвакуации РТМС на месте аварийной остановки:
  - отключение питания РТМС;
  - разъединение захватывающих устройств;
  - отсоединение РТМС от такелажных элементов;
  - складывание манипуляторов в транспортировочное положение;
  - приведение РТМС в транспортировочное положение.

Состав макета:

- макет мобильного робота (функциональные макеты базового блока и манипуляторов);
- пульты управления (внешний, внутренний);
- контрольно-проверочная аппаратура;
- базовая точка;
- такелажные элементы;
- сменные инструменты для ВКД;
- макеты полезного груза:
- инструменты для работы с элементами РТМС;
- инструменты для работы с технологическими элементами макета РТМС;
- комплект транспортной упаковки;
- стапель (подставка);
- комплект эксплуатационной документации.

### 3.3. Макет РТМС для гидросреды

Макет РТМС для гидросреды предназначен для проведения тренировок космонавтов в условиях моделированной невесомости в гидролаборатории.

Макет РТМС должен обеспечивать подготовку космонавтов к выполнению следующих операций:

- размещение и фиксация РТМС в шлюзовом отсеке;

- вывод укладки с РТМС через выходной люк и фиксация страховочными фалами за поручни;
- транспортировка космонавтами укладки с РТМС по поручням к базовой точке;
- установка РТМС на базовую точку;
- приведение РТМС в рабочее положение (раскладывание);
- приведение РТМС в транспортное положение (складывание);
- транспортировка РТМС к выходному люку;
- ввод РТМС в шлюзовой отсек;
- эвакуация РТМС в шлюзовой отсек при возникновении нештатных ситуаций;
- монтаж (демонтаж) базовой точки и такелажных элементов;
- установка сменных инструментов;
- освобождение заклинивших захватных устройств и шарниров при возникновении нештатных ситуациях;
- фиксация РТМС на грузовой стреле (ГСт-М);
- перемещение РТМС в рабочую зону с использованием ГСт-М;
- размещение РТМС в шлюзовой камере;
- возвращение РТМС в шлюзовую камеру с внешней поверхности.

Состав макета:

- макет мобильного робота;
- базовая точка;
- такелажные элементы;
- сменные инструменты для ВКД;
- макеты полезного груза;
- инструменты для работы с элементами РТМС;
- инструменты для работы с технологическими элементами макета РТМС;
- поплавки и грузы для балансировки;
- стапель (подставка);
- комплект эксплуатационной документации.

Для обеспечения достоверного моделирования деятельности космонавта макет должен иметь:

- габаритное соответствие штатному изделию;
- нулевую плавучесть;
- безразличное равновесие в воде;
- минимальное гидродинамическое сопротивление.

Создание условий нулевой плавучести и безразличного равновесия макета предлагается обеспечивать путем применения материалов, обеспечивающих своим составом нулевую плавучесть, а также за счет размещения внутри или снаружи каждого конструктивного элемента макета РТМС пенопласта в виде поплавков, изготовленных индивидуально в зависимости от габаритов и массы конструктивного элемента. Поплавки рекомендуется устанавливать преимущественно в центре масс элементов конструкции макета. Они не должны существенно изменять конструкцию РТМС и влиять на методику отработки операций ВКД. Окончательная балансировка осуществляется в гидролаборатории путем установки дополнительных поплавков и балансировочных грузов (поставляются с макетом РТМС).

В корпусах элементов макета в свободных от оборудования зонах должны быть предусмотрены отверстия для обеспечения протекания воды и предотвращения ее застоя при подъеме на поверхность, а при необходимости – для сушки сжатым воздухом.

### 3.4. Тренажер СИ

Тренажер предназначен для отработки практических навыков при выполнении различных режимов управления СИ с пульта управления с борта орбитальной станции [4].

При проведении тренировок тренажер должен обеспечивать в наземных условиях режимы функционирования, адекватные реальным условиям в космосе, без имитации факторов невесомости.

Тренажер должен обеспечивать подготовку космонавтов к выполнению следующих задач:

- управление движением СИ:
- в автоматическом режиме управления (соблюдение последовательности выполнения операций);
- в ручном режиме управления;
- переход с автоматического режима управления движением на ручной и обратно;
- управление комплексом средств наблюдения:
- разворот полей зрения средств наблюдения и наведение на объект наблюдения;
- изменение детальности изображений объектов;
- оперативное дешифрирование получаемых изображений;
- комплексное дешифрирование изображений, полученных в разных спектральных диапазонах;
- регистрация изображений.

Состав макета:

- пульт инструктора;
- пульт космонавта (рабочее место);
- блок расчета параметров движения спутника;
- блок расчета положения спутника;
- блок формирования зоны наблюдения;
- блок моделей поверхности станции;
- блок формирования целевой информации.

В процессе тренировки на тренажере космонавт может отработать управление всеми основными этапами полета СИ при выполнении задачи наблюдения за внешней поверхностью станции. Тренажер должен позволять одновременно управлять движением СИ и комплексом наблюдения, установленным на нем, в точном соответствии с процедурами реальной деятельности, которые космонавт будет выполнять на борту орбитальной станции, что позволит повысить качество и эффективность подготовки космонавтов.



### 3.5. Функциональный макет СИ

Функциональный макет СИ предназначен для проведения тренировок космонавтов на тренажере «Выход-2» или практических занятий в учебных классах.

Функциональный макет должен иметь массогабаритные характеристики, аналогичные штатному изделию, а также действующие системы и узлы, воздействию на которые предполагается обучать космонавта согласно предполагаемым требованиям по эксплуатации.

При проведении тренировок функциональный макет СИ должен обеспечивать:

- подвижность поворотной платформы;
- возможность открытия штатных крышек и лючков;
- возможность подсоединения штатной контрольно-диагностической аппаратуры;
- возможность проведения контрольно-диагностических процедур, предусмотренных эксплуатационной документацией;
- возможность проведения переконфигурации оптико-электронного комплекса видеонаблюдения (при необходимости);
- возможность замены элементов СИ в расчетных нештатных ситуациях.

Функциональный макет СИ должен обеспечивать подготовку космонавтов к выполнению следующих операций:

- извлечение СИ из транспортной упаковки и расконсервация;
- извлечение и расконсервация пускового устройства;
- размещение и фиксация СИ на базовой точке;
- размещение и фиксация СИ на пусковом устройстве;
- размещение и фиксация СИ в шлюзовом отсеке для вывода на внешнюю поверхность станции;
- расфиксация и извлечение СИ из шлюзового отсека;
- установка и юстировка используемых приборов наблюдения;
- заправка спецжидкостями и газами;
- зарядка аккумуляторных батарей;
- выполнение регламентных работ;
- выполнение работ по ликвидации последствий нештатных ситуаций.

Состав функционального макета СИ:

- макет СИ;
- макет пускового устройства;
- макеты пультов управления СИ и пускового устройства;
- базовая точка;
- макет шлюзовой камеры;
- макеты приборов наблюдения;
- инструменты для работы с подсистемами СИ;
- макеты контрольно-измерительной аппаратуры;
- ступень (подставка);
- комплект эксплуатационной документации.

## Выводы

1. Робототехническая система для выполнения задач внекорабельной деятельности должна состоять из двух подсистем: РТМС и СИ, которые принципиально различны по внешнему облику, законам перемещения, конструктивному исполнению. Поэтому представляется целесообразным создавать тренажные средства отдельно для каждой подсистемы РТС.

2. Исходя из задач, возлагаемых на РТМС, и действий космонавтов при взаимодействии с РТМС, определено, что для подготовки космонавтов к работе с РТМС необходимы следующие технические средства подготовки:

- тренажер РТМС;
- функциональный макет РТМС;
- макет РТМС для гидросреды.

3. Исходя из задач, возлагаемых на СИ, и действий космонавтов при взаимодействии с СИ, определено, что для подготовки космонавтов к работе с СИ необходимы следующие технические средства подготовки:

- тренажер СИ;
- функциональный макет СИ.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Подход к обоснованию задач робототехнических систем для работы в открытом космосе / П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(16). – 2015.
- [2] Подход к построению робототехнических систем для работы в космосе / Г.И. Падалка, П.П. Долгов П.П., А.А. Алтунин // Пилотируемые полеты в космос. – № 4(9). – 2013.
- [3] Вопросы безопасности применения робототехнической системы космического назначения в процессе осуществления внекорабельной деятельности / В.С. Коренной, П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(18). – 2016.
- [4] Тренажер для подготовки космонавтов к управлению малым космическим аппаратом. [Текст]; пат. 158082 Рос. Федерация, МПК G 09 9/08. / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С., заявитель и патентообладатель ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». – № 2015116944/11; заявл. 06.05.15; опубл. 20.12.15, Бюл. № 35. – 2 с.: ил.

УДК 629.78.007

**ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ КЛАССИФИКАТОРА  
НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ  
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ТЕКСТОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ**  
Ю.И. Онуфриенко, В.И. Ярополов, А.А. Курицын

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт РФ Ю.И. Онуфриенко;  
докт. техн. наук, профессор, заслуженный деятель РФ В.И. Ярополов;  
докт. техн. наук, доцент А.А. Курицын  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В данной статье рассматриваются вопросы методического подхода к классифицированию нештатных ситуаций и построению классификатора, требований к системам классификации и кодирования информации, процедуры формирования классификатора, ориентированной на текстологический метод извлечения знаний.

**Ключевые слова:** база данных, космический полет, нештатные ситуации, космонавт, классификатор, текстологический метод извлечения знаний.

**An Approach to the Formation of the Classifier of Off-Nominal Situations  
in Spaceflight by Using the Textual Method of Knowledge Extraction.**  
**Yu.I. Onufrienko, V.I. Yaropolov, A.A. Kuritsyn**

The authors have developed: a methodical approach to the classification of off-nominal situations and to the formation of the classifier, requirements for the classification systems and information coding, a classifier formation procedure, oriented on the textual method of knowledge extraction.

**Keywords:** data base, space flight, off-nominal situations, cosmonaut, classifier, textual method of knowledge extraction.

## **Введение**

Исследования процессов возникновения и развития нештатных ситуаций в процессе выполнения космического полета показывают, что для обеспечения безопасности космических полетов необходим учет нештатных ситуаций (НшС), произошедших на борту ПКА, и их последующее использование в целях создания и эксплуатации космической техники, подготовки космонавтов, который может быть организован с помощью современных компьютерных технологий. Однако в настоящее время отсутствуют автоматизированные информационно-поисковые системы для учета, систематизации, анализа и использования НшС, имевших место в процессе выполнения космических полетов, рассчитанные на их использование специалистами различного профиля.

Для целей создания автоматизированных систем важное значение имеют вопросы классифицирования НшС и кодирования информации.

## **Требования и подход к классификации нештатных ситуаций**

Первостепенную роль при построении архитектуры базы данных (БД), ее пользовательского интерфейса (структуры пользовательского меню) и обеспечении информационного единства автоматизированной информационно-поисковой системы играет использование единой системы классификации и кодирования информации. При этом она должна удовлетворять следующим основным условиям [1–2]:

- обладать достаточной полнотой, т.е. охватывать все объекты классифицируемого множества, исходя из семантики всего возможного состава нештатных ситуаций космических полетов;
- иметь достаточную глубину детализации при классификации, обеспечивающую быстрый и надежный поиск необходимой информации различными категориями пользователей;
- обладать определенной избыточностью, гибкостью и открытостью для обеспечения возможности доработок, расширения множества классифицируемых объектов и внесения необходимых изменений без нарушения структуры классификатора и принципов кодирования;
- обеспечивать однозначную идентификацию поискового объекта и удобство обработки кодовых обозначений с использованием ЭВМ;
- иметь полную совместимость терминологии интерфейса классификатора с терминологией, которая привычна и удобна для пользователя;
- обеспечивать соответствие по объему одномоментно предъявляемой пользователю информации возможностям оперативной памяти человека (человек лучше всего воспринимает информацию объемом  $7 \pm 2$  бита. Это число ( $7 \pm 2$ ) получило название «число Ингве-Миллера»);
- обеспечивать компактность записей.

Целесообразно в качестве основы для формирования классификатора НшС с применением текстологического метода извлечения знаний использовать нештатные ситуации, имевшие место в ходе выполненных космических полетов на орбитальном комплексе «Мир» и на МКС.

Систему кодирования этого классификатора целесообразно строить на основе использования иерархического принципа классификации. При этом предусматривать последовательное разбиение классифицируемого информационного множества на группы, классы и виды признаков, причем каждый объект (нештатная ситуация) может относиться к разным классификационным единицам (признакам). Такая схема классификации в наиболее полной мере позволяет учесть, во-первых, семантику конкретных НшС, которые по своему смысловому содержанию могут иметь одновременно целый набор классификационных признаков, а во-вторых – потребности различных категорий пользователей (разработчиков отдельных систем и оборудования, представителей заказчиков, инструкторов-методистов, космонавтов и др.).

### **Методика формирования классификатора нештатных ситуаций**

Процедура формирования классификатора, ориентированная на текстологический метод извлечения знаний, включает построение структуры терминов (понятий) с учетом их ранжирования и взаимосвязей между ними и заключается в выполнении следующих операций:

1. Проводится обследование потенциальных пользователей БД НшС космических полетов, формируются сценарии работы пользователя с БД и необходимый при этом словарь для создания дружественного интерфейса БД с пользователем.
2. Осуществляется сбор всей необходимой и доступной информации о НшС (в качестве базовой основы для формирования классификатора берутся сведения (фактографические данные) о НшС, имевших место в космических полетах на орбитальных станциях «Мир» и МКС).
3. Фактографические данные по каждой НшС подвергаются анализу на предмет выделения семантически значимых (ключевых) слов и выражений, обо-

значающих понятия, явления, процессы, предметы действия, признаки и т.п. При этом используется объектно-структурный анализ предметной области по направлениям: «КТО», «ЧТО», «ГДЕ», «КОГДА», «ЗАЧЕМ», «КАК» (при каких условиях и обстоятельствах, какие последствия, каким образом), «ОТКУДА», «КУДА», «ПОЧЕМУ» (по какой причине), «СКОЛЬКО».

4. Все выделенные значимые слова и выражения заносятся в перечень.

5. Определяются значения семантически значимых слов и выражений в рамках специальной терминологии, принятой в данной предметной области.

6. Из выделенных семантически значимых слов и выражений (с учетом их повторения в фактографических данных по другим НшС) создается единый словарь терминов предметной области (перечень признаков) с предварительной группировкой их по смыслу (по понятийной близости).

7. Производится разделение общих и частных (специфических) терминов (понятий).

8. Выявляются существенные характеристики терминов (понятий), отличающие их от других.

9. Делается приведение терминов (понятий) к лаконичной записи.

10. Исключаются повторение и избыточность терминов (понятий).

11. Выявляются синонимы и делается выбор эквивалентного им термина (понятия).

12. Выявляются связи между терминами (понятиями), определяется их взаимная подчиненность (выявляются метапонятия и делается детализация понятий).

13. Строится иерархическая структура терминов (понятий) с учетом их ранжирования и взаимосвязей между ними:

13.1. Производится разбиение единого словаря терминов (понятий) на группы по их типовой принадлежности (классификационным признакам). При этом принимается во внимание, что в состав группы по возможности не должно входить число терминов (понятий) более 9, с тем, чтобы не превышать возможности оперативной памяти человека-оператора (пользователя БД). Если в группу попадает большее количество терминов (понятий), то ищется возможность найти дополнительный классификационный признак для разбиения этой группы на две с числом терминов (понятий) по возможности не превышающим 9. Процедура циклически повторяется вплоть до выполнения условия Ингве-Миллера (при разбиении терминов (понятий) на группы следует иметь в виду, что не все из них подлежат такому разбиению в силу их специфических особенностей, например, такие термины (понятия), как номер экспедиции, конфигурация станции, название научной аппаратуры или научного эксперимента).

13.2. Каждой из образованных групп терминов (понятий) присваивается соответствующее классификационному признаку название.

13.3. Образованные группы терминов (понятий) по их названиям разбиваются на классы в соответствии с их классификационными признаками и с учетом потребностей различных категорий пользователей (разработчиков отдельных систем и оборудования, представителей заказчиков, инструкторов-методистов, космонавтов и др.) при их работе с НшС. При этом принимается во внимание, что в состав класса по возможности не должно входить число терминов (понятий) более 9. Если в класс попадает большее количество терминов (понятий), то ищется возможность найти дополнительный классификационный признак для разбиения этого класса на два с числом терминов (понятий) по возможности не превышающим 9. Процедура циклически повторяется вплоть до выполнения условия Ингве-Миллера.

13.4. Каждому из образованных классов присваивается соответствующее классификационному признаку название.

13.5. Образованные классы терминов (понятий) по их названиям разбиваются на виды в соответствии с их классификационными признаками с учетом, как и на предыдущем шаге, потребностей различных категорий пользователей (разработчиков отдельных систем и оборудования, представителей заказчиков, инструкторов-методистов, космонавтов и др.) при их работе с НшС. И здесь также принимается во внимание, что в состав вида по возможности не должно входить число терминов (понятий) более 9. Если в вид попадает большее количество терминов (понятий), то изыскивается возможность найти дополнительный классификационный признак для разбиения этого класса на два с числом терминов (понятий) по возможности не превышающим 9. Процедура циклически повторяется вплоть до выполнения условия Ингве-Миллера.

13.6. Каждому из образованных видов присваивается соответствующее классификационному признаку название.

13.7. Если число видов терминов (понятий) оказывается близким к 9, то процесс классификации завершается.

13.8. В случае если число видов существенно превышает 9, процесс классификации продолжается до момента выполнения условия Ингве-Миллера.

Разрабатываемый в соответствии с описанной процедурой классификатор, по сути, должен представлять собой набор иерархически организованных индексированных ключевых слов (признаков), составляющих основу для построения пользовательского меню.

### Классификатор нештатных ситуаций

Логическая модель предметной области системы обеспечения выполнения пилотируемых космических полетов в нештатных ситуациях формируется из концептуальной модели данной предметной области. Эта логическая модель основана на использовании модели опасности в космосе (МОК) [3–5].

Совокупность всех возможных НшС представлена в МОК в виде БД. Слово-идентификатор для обращения к ней представляет собой вектор, компоненты которого формируются в блоке формирования свойств и признаков НшС (БФСП) МОК.

БФСП представляет собой комплекс взаимосвязанных модулей, каждый из которых генерирует один из признаков НшС  $[t_{ншс}, M_{<q>}, P_{<k>}, K_{<l>}, B_{<n>}, \left\{ t_{ншс}^{\mu_j} \right\}]$ ,

$\tau_p$ ], где  $t_{ншс}$  – момент появления НшС,  $M_{<q>}$  – режим полета,  $t_\mu$  – время режима,  $P_{<k>}$  – причина,  $B_{<n>}$  – источник,  $K_{<l>}$  – категория,  $\Phi_{<m>}$  – неблагоприятные факторы,  $\tau_p$  – резерв времени. Наиболее приемлемым языком для описания этой функции является язык, основанный на фасетной классификации.

Модуль формирования моментов появления НшС (ММП) функционирует на основе учета на каждый текущий момент времени  $\Delta t$  характера и интенсивности потока НшС  $\lambda(t_T)$ , представляющего собой суперпозицию некоторого числа элементарных потоков, обусловленных отказами бортовых систем ПКА ошибками и заболеваниями экипажа, ошибками персонала ЦУПа и т.д. Кроме того, ММП учитывает имеющую место в полете определенную динамику интенсивности НшС в начале полета.

Функционирование модулей циклограмм функционирования бортовых систем ПКА и ракеты-носителя (РН) (МЦФ ПКА и МЦФ РН) осуществляется по аналогичным алгоритмам. При этом ими выдаются следующие данные: текущие значения суммарной интенсивности потока отказов бортовых систем ПКА  $\lambda_c(t_T)$  и суммарной интенсивности потока отказов бортовых систем РН  $\lambda_p(t_T)$ , а также текущие значения векторов условных вероятностей отказа бортовых систем ПКА и РН соответственно  $P_c\langle U \rangle$  и  $P_p\langle U \rangle$ . Для обеспечения работы МЦФ ПКА и МЦФ РН из блока ввода параметров (БВП) в них вводятся данные о количестве бортовых систем ПКА  $\Lambda_c\langle S \rangle$  и количестве бортовых систем РН  $\Lambda_p\langle U \rangle$ , о значениях векторов интенсивностей потоков отказов бортовых систем ПКА и РН соответственно, а также массивы значений моментов начала и окончания каждого задействования для каждой бортовой системы ПКА  $\{t_{cji}^n, t_{cji}^k\}$  и подобные же массивы для бортовых систем РН  $\{t_{pji}^n, t_{pji}^k\}$ .

Единственное отличие в работе указанных модулей заключается в том, что в МЦФ ПКА дополнительно формируется значение вектора работающих на текущий момент времени систем ПКА  $W_{p<S>}$ , которое затем используется в работе модуля циклограммы функционирования Земли (МЦФЗ) и модуля циклограммы деятельности экипажа (МЦДЭ).

Модуль динамики интенсивности отказов бортовых систем ПКА (МДИО) вносит поправку в текущее значение суммарной интенсивности потока отказов бортовых систем, учитывая его увеличение в первые часы полета ПКА. Выходом МДИО является динамическое значение интенсивности потока отказов бортовых систем ПКА  $\lambda_c^{\hat{}}(t_T)$ .

МЦФЗ, используя временные характеристики сеансов связи  $\{t_{cci}^n, t_{cci}^k\}$ , указывающие для каждого сеанса связи момент его начала и конца, а также данные о векторе интенсивности потока ошибок  $\Lambda_{ош.у}\langle S+Q \rangle$ , вносимых персоналом НКУ при управлении полетом ПКА в функционирование систем ПКА и деятельность его экипажа, и векторе работающих систем ПКА  $W_{p<S>}$ , формирует значение суммарной интенсивности указанного потока ошибок на каждый текущий момент времени  $\lambda_{ош.н}(t_T), \lambda_{отк.н}(t_T)$  и значение на этот же момент времени вектора условных вероятностей внесения персоналом НКУ ошибок в системы ПКА или в деятельность экипажа  $P_{ош.н}\langle S+Q \rangle, P_{отк.н}\langle S \rangle$ .

Кроме того, МЦФЗ формирует также значение суммарной интенсивности потока отказов наземных средств управления полетом ПКА и значение вектора условных вероятностей отказов различных видов наземных средств. Для этой цели используется поступающее из БВП значение вектора интенсивностей потоков отказов наземных средств, сказывающихся на работе соответствующих систем ПКА, а также значение вектора работающих систем ПКА  $W_{p<S>}$ .

Модуль формирования временных характеристик сеансов связи (МСС) выполняет в МОК вспомогательные функции, подготавливая, в случае необходимо-

сти, исходные данные для работы МЦФЗ в виде массива времен начала и окончания сеансов связи  $\{t_{cci}^h, t_{cci}^k\}$ . Эти же данные перед началом моделирования могут быть введены в МСС из БВП.

При работе МЦДЭ формируются текущие значения вектора суммарных интенсивностей потоков ошибок членов экипажа  $\Lambda_{z(Q)}(t_T)$ , а также векторов условных вероятностей внесения каждым членом экипажа ошибок в системы ПКА или в собственную деятельность  $P_{ош.эj(S+Q)}$ . Для выполнения этих функций перед началом моделирования в МЦДЭ должны быть введены из БВП данные о количестве членов экипажа, значениях векторов интенсивностей потоков ошибок  $\Lambda_{ош.эj(S+Q)}$ , вносимых членом экипажа в каждую из систем ПКА или в собственную деятельность, а также о массивах значений моментов начала и окончания каждого включения в работу для каждого члена экипажа ПКА  $\{t_{эji}^h, t_{эji}^k\}$ . Кроме того, из МЦФ ПКА в МЦДЭ должно вводиться текущее значение вектора работающих систем ПКА.

Модуль циклограммы заболеваний экипажа (МЦЗЭ) формирует значения вектора суммарных интенсивностей потоков заболеваний членов экипажа  $\Lambda_{z(Q)}(t_T)$  и векторов условных вероятностей заболеваний каждого члена экипажа как по причине нарушения собственного здоровья, так и по причине неблагоприятного воздействия на организм космонавтов некоторых из систем ПКА  $P_{эj(S+Q)}$ . Для обеспечения его работы из БВП вводятся данные о массивах значений моментов начала и окончания каждого пребывания на борту ПКА каждого члена экипажа  $\{t_{эji}^h, t_{эji}^k\}$ , а также о значениях векторов интенсивностей потоков заболеваний каждого члена экипажа по причине нарушения собственного здоровья или в результате неблагоприятного воздействия на его организм систем ПКА  $\Lambda_{эj(S+Q)}$ .

Для учета воздействия внешних факторов на процесс возникновения НшС в состав МОК введен модуль циклограммы воздействия внешних факторов (МЦВ ВФ), выходами которого являются текущие значения вектора интенсивностей потоков воздействий внешних факторов  $\Lambda_{e(w)}(t_T)$  и векторов условных вероятностей проявления воздействия каждого внешнего фактора в работе систем ПКА или в деятельности экипажа  $P_{ej(S+Q)}$ , а также значения коэффициентов неординарности потока НшС для каждого из внешних факторов. В качестве исходных данных для моделирования в МЦВ ВФ из БВП вводятся: массивы значений моментов начала и окончания каждого воздействия каждого внешнего фактора  $\{t_{ext.ji}^b, t_{ext.ji}^e\}$ , количество внешних факторов, вектора интенсивностей потоков появления НшС из различных источников по причине каждого внешнего фактора  $\Lambda_{ej(S+Q)}$ , а также вектора вероятностей степени неординарности потоков НшС для каждого из внешних факторов  $\{E_{ej(R)}\}$ .



Совокупность выходных данных модулей блока динамических характеристик (БДХ) вместе со значением интенсивности потока НшС по причине непредвиденных факторов  $\lambda_{нф}$ , которое поступает непосредственно из БВП, позволяет получить текущие значения вектора интенсивностей потоков НшС  $\lambda(t_T)$ , вызванных разными причинами, векторов вероятностей возникновения НшС из соответствующих источников при условии их появления по каждой из причин, а также коэффициенты неординарности потока НшС для каждой из них.

Полученные значения этих векторов служат исходной информацией для работы модуля формирования причин и источников НшС (МПИ), активизация которого производится в момент появления НшС. МПИ, входящий в состав блока формирования свойств и признаков НшС (БФСП), выполняет свои функции в тесном взаимодействии с модулями БДХ. Сущность этого взаимодействия состоит в том, что БДХ дает разрешение на использование только тех причин и источников НшС, которые соответствуют циклограммам функционирования экипажа, систем ПКА и РН, а также реальной структуре сеансов связи ПКА с Землей и картине воздействия внешних факторов. В результате работы МПИ формируются значения вектора причин появления НшС  $P_{<k>}$  и вектора их источников  $V_{<k>}$ . При этом последний определяется с учетом неординарности потоков НшС.

Эти данные используются в модуле определения категории НшС (МК) для установления факта, является ли данная НшС аварийной или нет. Базовые данные для работы МК в виде матрицы вероятностей возникновения аварийных ситуаций (АС) по определенной причине и из определенного источника вводятся в модуль из БВП  $P_{AC[k,n]}$ . Выходом МК является вектор категорий НшС  $K_{<l>}$ .

Если значение этого вектора соответствует появлению АС, то в работу включается модуль определения состава неблагоприятных факторов (МНФ), также входящий в состав БФСП. Для учета возможности как одиночного, так и группового появления неблагоприятных факторов из БВП в МНФ вводятся значения векторов вероятностей появления различного числа факторов при условии, что источником АС является определенный источник  $P_{\Phi(m)/A_{\beta_j} \cap I_{\phi}}$ . Определение состава неблагоприятных факторов в группе осуществляется исходя из их определенного числа в группе и определенного источника, для чего используются вводимые из БВП значения векторов вероятностей появления факторов в определенном составе, из определенного источника и при их определенном общем числе. Результатом работы МНФ является значение вектора неблагоприятных факторов АС  $\Phi_{<m>}$ .

Содержание НшС, появляющейся из одного и того же источника, может существенно отличаться в зависимости от режима работы ПКА и экипажа, а также от состояния систем и экипажа в момент времени появления НшС. Для того чтобы учесть указанное обстоятельство, в состав МОК введен модуль полетных режимов и операций (МПРО), который, используя данные о моментах начал и окончаний каждого режима ПКА (полетной операции)  $\{t_{\mu j}^n, t_{\mu j}^k\}$ , определяет значение вектора полетных режимов и операций  $M_{<q>}$ , а также время задействованного режима (исчисляемое от его начала)  $\{t_{ншс}^{\mu_j}\}$ , соответствующее моменту появления НшС.

Содержание НшС, появляющейся из одного и того же источника, может существенно отличаться в зависимости от режима работы ПКА и экипажа, а также от состояния систем и экипажа в момент времени появления НшС. Для того чтобы учесть указанное обстоятельство, в состав МОК введен модуль полетных режимов и операций (МПРО), который, используя данные о моментах начал и окончаний каждого режима ПКА (полетной операции)  $\{t_{\mu j}^n, t_{\mu j}^k\}$ , определяет значение вектора полетных режимов и операций  $M_{<q>}$ , а также время задействованного режима (исчисляемое от его начала)  $\{t_{ншс}^{\mu_j}\}$ , соответствующее моменту появления НшС.

Кроме указанных выше, в состав БФСП входит также модуль определения резервов времени в НшС (МРВ). Поскольку в АС резервы времени ограничены всегда, а в безаварийных – нет, то для организации функционирования МРВ тре-

буется знание значений вектора категорий НшС  $K_{<l>}$  и вероятности наличия ограниченных резервов времени в безаварийных НшС  $P(\hat{\tau}_p < T_n / \bar{A}_{AC})$ . С целью учета зависимости значений резерва времени от источника НшС, ее категории и характера АС, проявляющегося в составе неблагоприятных факторов, сопровождающих ее появление, в МРВ вводятся: массив функций распределения резервов времени в безаварийных ситуациях для всех источников НшС, массив функций распределения резервов времени в АС для всех источников НшС и всех значений вектора неблагоприятных факторов АС  $\Phi_{<m>}$ , сформированное в МНФ значение вектора неблагоприятных факторов. Выходом МРВ является значение резерва времени в данной НшС  $\tau_p$ .

Для обеспечения инвариантности МОК к типу ПКА и возможности моделирования в широком диапазоне начальных условий в ее состав введены: БВП и блок ввода начальных условий (БВНУ).

Соответствие представленной в данной модели функции описания НшС  $F_{ОП}(A): [t_{ншс}, M_{<q>}, t_{\mu}, P_{<k>}, B_{<n>}, K_{<l>}, \Phi_{<m>}, \tau_p]$ , а также других элементов структурного базиса НшС: функции динамики НшС  $F_{Д}(A)$ , функции состояния НшС  $F_{С}(A)$  и функции выхода НшС  $F_{В}(A)$  разработанному классификатору с набором ключевых слов (признаков), было представлено в [5]. Данное соответствие предназначено для отображения логической модели предметной области в физическую модель банка данных автоматизированной информационной системы.

Анализ нештатных ситуаций, имевших место в ходе выполнения космических полетов на орбитальном комплексе «Мир» и на МКС, с применением разработанной методики позволил сформировать классификатор нештатных ситуаций космических полетов, который определяет структуру базы данных и составляет основу для построения пользовательского меню. Он представляет собой 4-уровневую систему классификации иерархически организованных терминов и понятий, имеющую в общей сложности 3844 признака, распределенных по 408 группам, из которых 26 находится на 1-м уровне, 254 – на 2-м уровне и 128 – на 3-м уровне. При этом среднее количество признаков в группе равно 8,96, что свидетельствует о выполнении базового эргономического требования – условия Ингве-Миллера. Классификатор является открытым и может совершенствоваться (изменяться, дополняться, уточняться) в процессе эксплуатации базы данных.

## **Структура верхних уровней классификатора нештатных ситуаций**

### **1. Полет**

- 1.1. Основная экспедиция
- 1.2. Полет корабля «Шаттл»
- 1.3. Экспедиция посещения

### **2. Персонал**

- 2.1. Наземный персонал
- 2.2. Экипаж

### **3. Элемент космического комплекса**

- 3.1. Элемент космического комплекса

### **4. Конфигурация станции**

- 4.1. Международная космическая станция
- 4.2. Станция «Мир»

**5. Модуль**

- 5.1. *Международная космическая станция*
- 5.2. *Станция «Мир»*

**6. Отсек**

- 6.1. *Международная космическая станция*
- 6.2. *Станция «Мир»*

**7. Зона**

- 7.1. *Бытовые зоны*
- 7.2. *Зоны бортового оборудования*
- 7.3. *Зоны иллюминаторов*
- 7.4. *Зоны люков*
- 7.5. *Зоны посадки КА*
- 7.6. *Зоны размещения коммуникаций*
- 7.7. *Зоны элементов конструкции КА*
- 7.8. *Поверхностные зоны КА*
- 7.9. *Пространственные зоны КА*
- 7.10. *Рабочие зоны экипажа*

**8. Система**

- 8.1. *Ассенизационное устройство (АСУ)*
- 8.2. *Бортовая кабельная сеть (БКС)*
- 8.3. *Бортовой инструмент (приспособления)*
- 8.4. *Бортовой рацион питания*
- 8.5. *Бортовые тренажеры*
- 8.6. *Бортовые ЭВМ*
- 8.7. *Бытовое оборудование*
- 8.8. *Вертолет ПСК*
- 8.9. *Вещества*
- 8.10. *Видеоаппаратура*
- 8.11. *Возвращаемая баллистическая капсула (ВБК)*
- 8.12. *Грузовая стрела (ГСТ)*
- 8.13. *Грузы*
- 8.14. *Двигательные установки*
- 8.15. *ЗИП*
- 8.16. *Иллюминаторы*
- 8.17. *Источники питания*
- 8.18. *Киноаппаратура*
- 8.19. *Конструкция КА*
- 8.20. *Космонавт*
- 8.21. *Крепеж*
- 8.22. *Кресло космонавта*
- 8.23. *Люки*
- 8.24. *Материалы*
- 8.25. *Медицинское оборудование*
- 8.26. *Надувная кровать*
- 8.27. *Научная аппаратура (НА)*
- 8.28. *Органические образования*
- 8.29. *Палатка на месте посадки*
- 8.30. *Покрытия*
- 8.31. *Полетная одежда и обувь*

- 8.32. Расходные материалы
- 8.33. Расходные средства индивидуального пользования
- 8.34. Система бортовых измерений (СБИ)
- 8.35. Система вентиляции
- 8.36. Система водообеспечения (СВО)
- 8.37. Система обеспечения жизнедеятельности (СОЖ)
- 8.38. Система ориентации и управления движением (СОУД)
- 8.39. Система ориентации солнечных батарей (СОСБ)
- 8.40. Система освещения
- 8.41. Система приземления
- 8.42. Система регенерации воды из конденсата (СРВ-К)
- 8.43. Система регенерации воды из урины (СРВ-У)
- 8.44. Система регулирования давления
- 8.45. Система связи
- 8.46. Система стыковки и внутреннего перехода (ССВП)
- 8.47. Система терморегулирования (СТР)
- 8.48. Система управления бортовым комплексом
- 8.49. Система иллюминации и обеспечения выхода
- 8.50. Система энергопитания (СЭП)
- 8.51. Скафандр выходной
- 8.52. Скафандр спасательный
- 8.53. Солнечная батарея
- 8.54. Средства информационного обеспечения деятельности экипажа
- 8.55. Средства личной гигиены
- 8.56. Средства наблюдения
- 8.57. Средства обеспечения безопасности
- 8.58. Средства профилактики
- 8.59. Средства фиксации
- 8.60. Средство перемещения в космосе (СПК)
- 8.61. Телевизионный комплекс (ТВК)
- 8.62. Упаковочная тара
- 8.63. Фотоаппаратура
- 8.64. Экранно-вакуумная теплоизоляция

#### **9. Момент появления**

- 9.1. Виток
- 9.2. Дата и время (мск)

#### **10. Полетная операция**

- 10.1. Баллистическое обеспечение
- 10.2. Борьба с конденсатом
- 10.3. Борьба с пылью
- 10.4. Внекорабельная деятельность (ВКД)
- 10.5. Динамические операции
- 10.6. Запуск и выведение на орбиту
- 10.7. Инвентаризация
- 10.8. Кинофотовидеосъемка
- 10.9. Контроль состояния станции
- 10.10. Медицинское обеспечение
- 10.11. Монтажные работы
- 10.12. Обеспечение безопасности

- 10.13. Обеспечение жизнедеятельности
- 10.14. Перемещение космонавтов
- 10.15. Пересменка экипажа
- 10.16. Питание
- 10.17. Планирование и проведение операций
- 10.18. Пользование АСУ
- 10.19. Проведение визуально-инструментальных наблюдений (ВИН)
- 10.20. Проведение исследований и экспериментов
- 10.21. Профилактика влияния невесомости
- 10.22. Работа с бортовой документацией
- 10.23. Работа с грузами
- 10.24. Работа с иллюминаторами
- 10.25. Работа с креслом
- 10.26. Работа с люками
- 10.27. Работа со скафандрами
- 10.28. Работа с ЭВМ
- 10.29. Самообслуживание
- 10.30. Связь
- 10.31. Спуск и посадка
- 10.32. Техническое обслуживание и ремонт
- 10.33. Управление системами

**11. Причина НшС****12. Признаки НшС**

- 12.1. Общие признаки
- 12.2. Специфические признаки

**13. Условия возникновения**

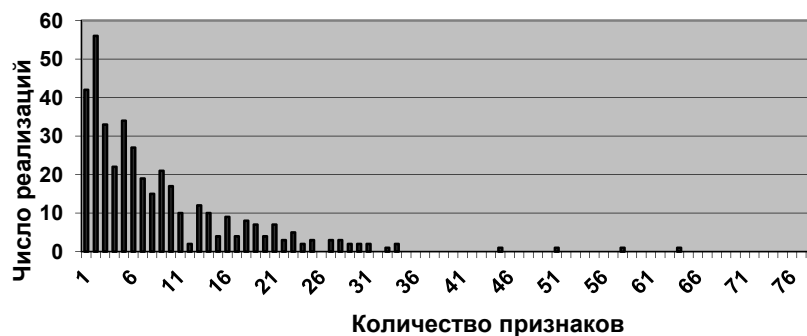
- 13.1. Внешние факторы
- 13.2. Грузы
- 13.3. Иллюминаторы
- 13.4. Конструкция станции
- 13.5. Конфигурация станции
- 13.6. Материалы
- 13.7. Операции (действия)
- 13.8. Организация работ
- 13.9. Отображение информации и сигнализация
- 13.10. Планирование деятельности
- 13.11. Подготовка к полету
- 13.12. Полетная одежда
- 13.13. Размещение оборудования (космонавтов)
- 13.14. Режим работы экипажа
- 13.15. Режим функционирования оборудования
- 13.16. Ресурсы
- 13.17. Световая обстановка
- 13.18. Связь
- 13.19. Состав оборудования
- 13.20. Состав экипажа
- 13.21. Состояние оборудования
- 13.22. Состояние ПКА
- 13.23. Условия деятельности

- 13.24. *Условия наблюдения*
- 13.25. *Условия отдыха*
- 13.26. *Характеристики бортовой документации*
- 13.27. *Характеристики космонавта*
- 13.28. *Характеристики крепежа*
- 13.29. *Характеристики оборудования*
- 13.30. *Характеристики полета*
- 14. Последствия**
  - 14.1. *Безопасность*
  - 14.2. *Внутренняя атмосфера*
  - 14.3. *Внутренняя среда станции*
  - 14.4. *Деятельность экипажа (наземного персонала)*
  - 14.5. *Оборудование*
  - 14.6. *Полет*
  - 14.7. *Размещение*
  - 14.8. *Режим труда и отдыха*
  - 14.9. *Ресурсы*
  - 14.10. *Связь*
  - 14.11. *Состояние экипажа*
- 15. Степень повторяемости**
- 16. Категория**
- 17. Неблагоприятные факторы**
  - 17.1. *Групповые*
  - 17.2. *Одиночные*
- 18. Частота появления**
- 19. Сложность**
  - 19.1. *Степень автономности действий*
  - 19.2. *Степень дефицита времени*
  - 19.3. *Степень загрузки экипажа*
  - 19.4. *Степень неожиданности*
  - 19.5. *Степень неопределенности*
  - 19.6. *Степень предусмотренности*
  - 19.7. *Степень распространения*
  - 19.8. *Степень сложности деятельности*
  - 19.9. *Уровень сложности нештатной ситуации*
- 20. Резерв времени**
- 21. Способ выхода**
  - 21.1. *Ассенизационное устройство*
  - 21.2. *Бортовая документация*
  - 21.3. *Бытовое оборудование*
  - 21.4. *Визуально-инструментальные наблюдения*
  - 21.5. *Внекорабельная деятельность*
  - 21.6. *Внутренняя атмосфера*
  - 21.7. *Выполнение операций*
  - 21.8. *Грузы*
  - 21.9. *Динамические операции*
  - 21.10. *Иллюминаторы*
  - 21.11. *Инструмент*
  - 21.12. *Кабели*

- 21.13. Кинофотовидеоработы
- 21.14. Конденсат
- 21.15. Люки
- 21.16. Маркировка
- 21.17. Медицинское обеспечение
- 21.18. Обеспечение безопасности
- 21.19. Оборудование
- 21.20. Освещение
- 21.21. Пересменка
- 21.22. Персональный компьютер
- 21.23. Питание
- 21.24. Полетная одежда
- 21.25. Проведение исследований и экспериментов
- 21.26. Профилактика влияния невесомости
- 21.27. Пульты (органы управления)
- 21.28. Пыль
- 21.29. Работы в процессе спуска и на месте посадки
- 21.30. Разъемы
- 21.31. Распределение функций в экипаже
- 21.32. Ремонтно-восстановительные работы
- 21.33. Связь
- 21.34. Сепарация воздуха и жидкости
- 21.35. Система вентиляции
- 21.36. Система обеспечения жизнедеятельности
- 21.37. Система регенерации воды из урины
- 21.38. Система терморегулирования
- 21.39. Система энергопитания
- 21.40. Скафандр выходной
- 21.41. Средства личной гигиены
- 21.42. Средства фиксации
- 21.43. Управление системами
- 21.44. ЦУП
- 21.45. Шум
- 22. Затраты времени на выход**
- 23. Затраты ресурсов на выход**
- 24. Средства, потребовавшиеся для выхода**
- 25. Значимость**
  - 25.1. Катастрофическая
  - 25.2. Чрезвычайная
  - 25.3. Существенная
  - 25.4. Несущественная
  - 25.5. Потенциально возможная
  - 25.6. Нулевая
- 26. Способ предотвращения**
  - 26.1. Доставка на борт станции необходимого оборудования и средств
  - 26.2. Совершенствование бортового рациона питания
  - 26.3. Совершенствование бортовых средств информационного обеспечения экипажа
  - 26.4. Совершенствование информационного обеспечения экипажа с Земли

- 26.5. Совершенствование использования внутр. пространства станции
- 26.6. Совершенствование используемых материалов, веществ и покрытий
- 26.7. Совершенствование маркировки оборудования
- 26.8. Совершенствование методик выполнения полетных операций
- 26.9. Совершенств. организ. работы персонала, готовящего КА к запуску
- 26.10. Совершенствование организации работы персонала ПСС
- 26.11. Совершенствование организации работы персонала ЦУПа
- 26.12. Совершенствование организ. работы производственного персонала
- 26.13. Совершенствование организации работы экипажа
- 26.14. Совершенствование планирования программы полета
- 26.15. Совершенствование полетной одежды и обуви космонавтов
- 26.16. Совершенств. порядка и ср-в инвентариз. экипажем борт. оборуд.
- 26.17. Совершенствование программного обеспечения ЭВМ
- 26.18. Совершенств. программы и организации подготовки космонавтов
- 26.19. Совершенств. процедур взаимодействия экипажа и персонала ЦУПа
- 26.20. Совершенств. процедур контроля состояния станции экипажем
- 26.21. Совершенствование процедур планирования работ ЦУПом
- 26.22. Совершенствование размещения бортового оборудования
- 26.23. Совершенствование состава бортового оборудования
- 26.24. Совершенствование состава расх. материалов, инструмента и ЗИПа
- 26.25. Совершенств. состава средств обеспечения безопасности экипажа
- 26.26. Совершенств. способов использования бортового оборудования
- 26.27. Совершенств. способов обмена опер. информ. между космонавтами
- 26.28. Совершенств. схем и конструкции борт. и назем. оборудования

Результаты оценки степени соответствия классификатора эргономическим требованиям по числу признаков в группе (не более 9) приведены на рисунке.



Число реализаций в классификаторе различного количества признаков

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что классификатор на 68 % соответствует указанным требованиям (из 396 реализаций только 127 превышает по количеству признаков 9). При этом среднее количество признаков в группе равно 8,96. Это говорит о достаточно хорошем структурировании классификатора.



Следует отметить, что классификатор является открытым и может совершенствоваться (изменяться, дополняться, уточняться) в процессе эксплуатации базы данных НшС космических полетов.

### **Заключение**

На основании анализа НшС, имевших место в ходе выполненных космических полетов на орбитальном комплексе «Мир» и на МКС, логической модели предметной области организационной системы обеспечения пилотируемых космических полетов в нештатных ситуациях, структурного базиса нештатной ситуации, требований, предъявляемых к базе данных нештатных ситуаций, разработан классификатор базы данных нештатных ситуаций. Принятая в классификаторе система кодирования основана на использовании иерархического принципа классификации с последовательным разбиением классифицируемого информационного множества на группы, классы и виды признаков, причем каждый объект (нештатная ситуация) может относиться к разным классификационным единицам (признакам). Процедура формирования классификатора ориентирована на текстологический метод извлечения знаний.

Анализ оценки степени соответствия классификатора базы данных нештатных ситуаций эргономическим требованиям по числу признаков в группе свидетельствует о том, что классификатор на 68 % соответствует указанным требованиям, что подтверждает достаточное структурирование классификатора.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Алешин А.В., Дедков Д.К., Крючков Б.И., Рудченко А.Д., Сосюрка Ю.Б., Ярополов В.И. Нештатные ситуации космических полетов. Математическое моделирование. Прикладные аспекты. – Звездный городок Московской области: РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1998. – 244 с.
- [2] Тищенко А.А., Ярополов В.И. Моделирование при обеспечении безопасности космических полетов. – М.: Машиностроение, 1981. – 189 с.
- [3] Курицын А.А. Методы и средства автоматизированного управления технологическим процессом комплексной подготовки экипажей орбитальных пилотируемых комплексов. Монография. – Звездный городок Московской области: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2011. – 279 с.
- [4] Курицын А.А. Математическая формализация и решение многокритериальной нелинейной задачи планирования программы тренировок экипажей орбитального пилотируемого комплекса на комплексных и специализированных тренажерах // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 1(3). – С. 49–59.
- [5] Ярополов В.И., Курицын А.А. Пространственно-временная модель состояния орбитального пилотируемого комплекса // Пилотируемые полеты в космос. – 2014. – № 3(12). – С. 47–52.

УДК 574.682

**СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ  
ЗАМКНУТЫХ БИОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
НА РАСЧЕТНУЮ «ДОЛЮ ЧЕЛОВЕКА»**

А.А. Тихомиров, С.А. Ушакова

Докт. биол. наук, профессор А.А. Тихомиров; канд. биол. наук С.А. Ушакова  
(ИБФ СО РАН, г. Красноярск)

В работе рассматриваются вопросы целесообразности создания экспериментальных моделей замкнутых биолого-технических систем жизнеобеспечения космического назначения и возможности использования в них ряда технологий, включая окисление органических отходов, для организации высокозамкнутого круговорота веществ.

**Ключевые слова:** биолого-технические системы жизнеобеспечения, замкнутость массообмена, световые технологии, круговорот веществ, биологическое окисление растительных отходов, минерализация экзометаболитов человека, фототрофное звено, гетеротрофное звено.

**Creation of the Experimental Models of Closed Biological Life Support Systems per a Calculated "Human Share". A.A. Tikhomirov, S.A. Ushakov**

The paper considers the reasonability of creating experimental models of closed biological life support systems for space application and the possibilities of using a number of technologies including oxidation of organic waste in order to ensure the high cycle of matter.

**Keywords:** biological life support systems, closure of mass exchange, light technologies, cycle of matter, biological oxidation of plant waste, mineralization of human exometabolites, phototrophic element, heterotrophic element

**Введение**

В настоящее время с помощью пилотируемой космонавтики успешно осваивается околоземное космическое пространство. В среднесрочной перспективе активно обсуждаются пилотируемые полеты на Марс, включая создание марсианских баз. Для миссий в средний космос необходимо обеспечить космонавтов возобновляемыми источниками кислорода и пищи, так как взять их в запас на весь длительный период экспедиции не представляется возможным. Попытка представить возможную роль замкнутых биолого-технических систем жизнеобеспечения (БТСЖО) в общей структуре систем жизнеобеспечения на примере развертывания марсианской станции дана в работе [10]. Таким образом, для будущих длительных космических миссий все более актуальным становится создание замкнутых БТСЖО. Эта идея получила мировое признание, и прототипы космических БТСЖО были созданы в ведущих космических державах: России, США, Китае, Японии. Серьезным сдерживающим фактором активного создания БТСЖО с участием человека является высокая стоимость создания таких сооружений, а также высокие требования к безопасности человека в таких системах. В этой ситуации перспективным путем для развития работ по созданию будущих БТСЖО является создание их экспериментальных моделей, в которых организован круговоротный процесс с расчетной долей человека. В таких моделях при относительно небольших финансовых вложениях появляется возможность отработки круговоротных

процессов высокой степени замкнутости с последующим использованием полученного научного задела в будущих реальных БТСЖО с включением человека. В ИБФ СО РАН активно развиваются исследования по созданию экспериментальных моделей БТСЖО с расчетной долей человека. Для воспроизводства высокозамкнутого круговоротного процесса в таких моделях необходимо создать технологии эффективного окисления растительных отходов и экзосметаболитов человека для последующего вовлечения их минерализованных компонентов во внутрисистемный массообмен. Необходимость разработки биологического метода окисления растительных отходов высших растений была связана с тем, что для обеспечения высокой степени замкнутости по массообмену перспективным является использование именно высших растений как основы фотосинтезирующего звена – регенератора атмосферы и поставщика пищи для человека. Эта идея была реализована при выполнении экспериментов по длительному многомесячному автономному пребыванию экипажа из двух человек в уникальном в мире комплексе БИОС-3 [1]. Из всех искусственных биологических экосистем жизнеобеспечения, созданных ранее, только БИОС-3 позволил в автономном режиме обеспечить жизнь экипажа из 2–3 человек в течение 4–6 месяцев за счет замыкания цикла по воде и газу почти на 100 % и пище более чем на 50 % [11].

Для дальнейшего повышения величины замкнутости круговоротных процессов в БТСЖО, а следовательно, длительности ее автономного существования, необходима разработка научных основ технологий, способствующих вовлечению в массообменные процессы как можно большего числа отходов, связанных с жизнедеятельностью человека. Цель настоящей работы – показать, как эти вопросы исследуются и решаются в рамках создания высокозамкнутых экспериментальных моделей БТСЖО в ИБФ СО РАН.

### **Создание новых световых технологий культивирования высших растений**

Независимо от масштабов создаваемой экспериментальной модели, замкнутой БТСЖО исключительно важным условием обеспечения заданных скоростей, направленности и замкнутости круговоротных процессов является создание оптимального светового режима для выращивания растений. Режим освещения растений должен отвечать таким требованиям, как эффективное использование лучистой энергии, высокая продуктивность с ограниченных площадей, согласованность интегральной (для всего звена растений) скорости фотосинтеза со скоростью потребления  $O_2$  и выделения  $CO_2$  человеком и другими гетеротрофными компонентами системы, соответствие биохимического состава урожая потребностям человека в растительных компонентах пищи и т.д. Одним из эффективных способов решения данной задачи является использование более высоких уровней облученности для культивирования ценозов светолюбивых растений [6]. В частности, исследования светового насыщения фотосинтетической продуктивности фитоценозов на примерах пшеницы и редиса показало, что существует возможность более чем в 2 раза увеличить эти показатели [3, 4]. Это, в свою очередь, позволит при тех же посевных площадях увеличить число членов экипажа, либо создавать более компактные БТСЖО без изменения численности членов экипажа.

Таким образом, использование повышенных уровней облученности является перспективным путем либо для уменьшения весовых характеристик системы, либо для увеличения количества членов экипажа без существенных изменений раз-

меров системы. Это утверждение предполагает, что с повышением интенсивности света возрастает не только продуктивность в расчете на съедобную биомассу, но и количество выделяемого при фотосинтезе кислорода, который потребляется человеком. Иными словами, в условиях БТСЖО интенсивность света является доступным и экологически чистым способом управления величиной урожая растений и производством кислорода. При световом управлении фототрофным звеном БТСЖО кроме величины урожая и производства кислорода еще необходимо учитывать направленность ростовых и органообразовательных процессов, во многом определяющих биохимические и вкусовые качества полученной растительной продукции. Поэтому кроме энергетической эффективности излучения для получения сбалансированной по качественному и количественному показателям растительной продукции важное значение имеет спектральный состав света. Ранее нами было показано, что для ценозов различных видов растений, где формируется реальный урожай съедобной биомассы, световое насыщение по продуктивности может иметь различия по спектральному составу света [7]. Однако надо иметь в виду, что фототрофное звено в БТСЖО представлено не одним, а целым набором видов растений. Требования разных видов растений к спектральному составу света для максимизации их продуктивности могут отличаться [8]. Кроме того, все эти растения произрастают в БТСЖО в виде фитоценозов, то есть не отдельных растений, а их сообществ. Такие сообщества могут иметь сложную многоярусную структуру (например, ценозы пшеницы или ценозы огурца) [5], а некоторые виды растений, наоборот, образуют ценозы относительно простой структуры, которую можно принять за монослойный ценоз. На практике трудно представить, что для каждого из таких разновидовых ценозов с различной структурой распределения листовой поверхности можно подобрать наиболее подходящие по спектру световые потоки, чтобы добиться наиболее эффективного усвоения ФАР и максимальной продуктивности. Для реализации такой идеи потребовалось бы разместить над растениями и внутри ценозов источники света с различным спектром излучения, что практически невозможно. В такой ситуации наиболее оптимальным решением будет использование источников белого света, который обеспечивает гарантированно высокий урожай для ценозов растений различных видов. Действительно, обладая набором всех необходимых длин волн как для обеспечения фотосинтеза, так и процессов роста и развития, белый свет снабжает световой энергией не только верхние, но и средние и приземные листовые слои в фитоценозах различной плотности и, таким образом, поддерживает участие листьев разных ярусов в процессе фотосинтетической продуктивности.

Имеется и еще одно обстоятельство в пользу использования в СЖО для выращивания растений именно белого света. Оно связано с тем, что, как правило, выращивание растений фототрофного звена совмещено с пребыванием человека в СЖО. Использование белого света создает благоприятную световую среду не только для растений, но и для глаза человека. Использование в СЖО света со спектром излучения, смещенным в коротковолновую или длинноволновую части, неблагоприятно сказывается на зрении человека. В этом случае искажается цветопередача, глаза быстро утомляются и при длительном пребывании в такой световой среде человек испытывает дискомфорт, снижается острота зрения. Таким образом, наиболее перспективным для СЖО является применение белого света. Поэтому использование излучения для интенсификации продуктивности фототрофного звена с высшими растениями связано в первую очередь с повышением интенсивности белого света. В этой связи световая среда в различных типах БТСЖО в ИБФ СО

РАН, начиная с экспериментальных модельных систем, рассчитанных на долю человека, и заканчивая полномасштабными искусственными экосистемами, включающими человека, формировалась за счет источников белого света.

### **Технологии окисления органических отходов для их вовлечения в круговоротный процесс**

Для резкого увеличения степени замкнутости круговоротных процессов в БТСЖО нового поколения в ИБФ СО РАН в последние два десятилетия разрабатывались научные основы биологического окисления растительных отходов в почвоподобном субстрате (ППС) [12, 14] и физико-химические методы окисления жидких и твердых выделений человека, а также способы их сопряжения для организации замкнутого круговоротного процесса в экспериментальной модели биологической системы, рассчитанной на долю человека. Это связано с тем, что идея создания высокозамкнутой БТСЖО с использованием высших растений (БИОС-3) в свое время не была доведена до конца, так как в БИОС-3 несъедобная растительная биомасса и твердые выделения человека высушивались и складировались, а жидкие выделения человека подвергались дистилляции и также складировались, что снижало общую замкнутость массообменных процессов. Поэтому одной из важнейших задач повышения степени замкнутости массообмена является резкое повышение эффективности утилизации растительных отходов и экзометаболитов человека.

В настоящее время в ИБФ СО РАН для экспериментальных моделей БТСЖО проблема «биологического» окисления и последующего включения в круговоротный процесс растительных отходов решается за счет создания гетеротрофного звена, включающего грибы, черви и микроорганизмы. Продуктом такого «биологического» сжигания растительных отходов является почвоподобный субстрат (ППС) [12, 14]. Он позволяет заменить нейтральный субстрат и обеспечить растения минеральными элементами, которые в искусственных системах предыдущих поколений поставлялись из запасов. В общем виде динамика процесса формирования ППС и его участие в круговоротном процессе представлена на рис. 1. В ее основе лежат следующие этапы. Начальный (свежеприготовленный) ППС используется для выращивания пшеницы. ППС может использоваться для выращивания растений несколько раз, но затем начинает истощаться и возникает недобор урожая. Чтобы этот процесс минимизировать, необходимо в использованный ППС (конечный ППС) добавлять остаточный субстрат. В основе получения свежего ППС лежит процесс переработки соломы и остаточного ППС с помощью гриба вешенки, микрофлоры и калифорнийских червей. Взрослая вешенка используется как добавка в пищу человека, численность червей саморегулируется за счет степени доступности для них пищевых ресурсов. Никакие специальные запасы веществ для поддержания этих процессов в БТСЖО не требуются и поэтому круговоротные процессы не нарушаются. В процессе биологического окисления соломы высвобождаются минеральные соединения, полностью обеспечивающие рост растений на ППС, которые, растворяясь в воде, образуют питательный раствор для растений (ирригационный раствор). Дополнительные минеральные вещества для выращивания растений могут быть получены при добавлении в ППС после выращивания растений мелко размолотой биомассы несъедобной части выросших на ней растений. Поэтому достаточно длительная технология получения ППС с использованием гриба вешенки необходима только для получения первоначального (свежего) ППС, а затем длительное время работоспособность ППС может

поддерживаться за счет внесения в него перемолотой несъедобной биомассы. Из рис. 1 видно, что в ирригационный раствор могут также добавляться минерализованные физико-химическим путем экзометаболические продукты человека. В этом случае может быть использован общий бак с питательным раствором, либо отдельные баки для полива отдельных видов растений. Это обусловлено аллелопатическим взаимодействием растений, а также особенностями их требований к минеральному составу питательного раствора. При добавлении в ирригационный раствор минерализованных экзометаболических продуктов человека может потребоваться нитрификатор, переводящий аммонийную форму азота в нитратную. Хотя аммонийные формы азота являются хорошим удобрением для растений, однако их водные растворы, хотя бы незначительно, но выделяют аммиак, что недопустимо для замкнутых СЖО с человеком. Как известно, нитратные формы азота хорошо усваиваются растениями в виде удобрений.

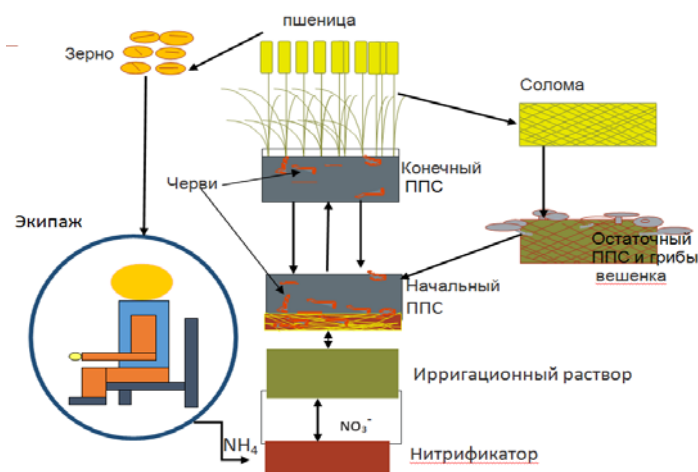


Рис. 1. Схема формирования ППС в массообменном процессе экспериментальной модели БТСЖО за счет использования метода «биологического сжигания» соломы

Другая проблема – полное вовлечение во внутрисистемный массообмен жидких и твердых выделений человека – разрабатывается в ИБФ СО РАН за счет использования оригинального физико-химического метода окисления экзометаболических продуктов человека, а также за счет сопряжения этого и указанного выше биологического метода окисления. Новый физико-химический способ окисления органических отходов был разработан в ИБФ СО РАН [9]. Он основан на использовании перекиси водорода, которая может быть получена из внутрисистемной воды [2]. В отличие от других физико-химических способов, основанных на этом принципе, данный способ не предусматривает использования высоких температур и давлений, является энергоэкономичным, экологически чистым и безопасным для использования в системе. Кроме того, такая физико-химическая минерализация экзометаболических продуктов человека не требует взятия в запас исходных продуктов для протекания реакции, а конечные продукты реакции легко включаются в круговоротный процесс.

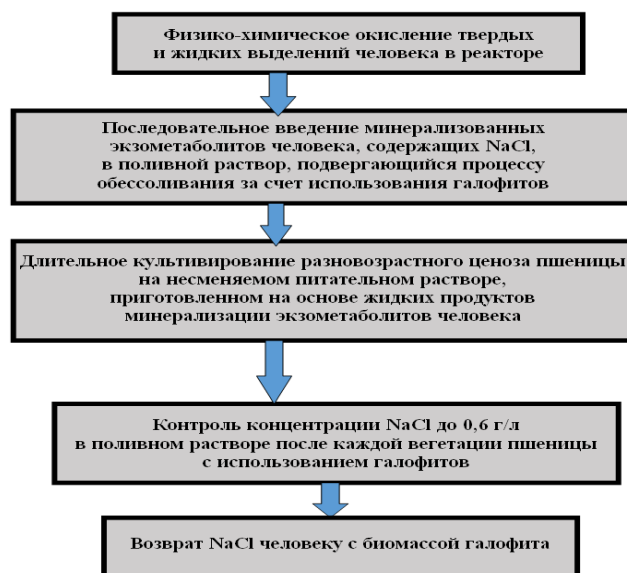


Рис. 2. Основные этапы вовлечения минерализованных экзометаболитов в круговоротный процесс замкнутых экспериментальных моделей БТСЖО

Исключение составляет NaCl, входящий в состав жидких выделений человека. Уже в небольших концентрациях NaCl вызывает отравление большинства видов зеленых растений. Поэтому, если не принять дополнительных технологических мер, минерализованный раствор, полученный после такой физико-химической обработки, не может быть использован для приготовления питательного раствора для полива растений. В ИБФ СО РАН разработана специальная технология, в которой для снижения концентрации NaCl в растворе используется съедобное овощное растение *Salicornia Europaea*, способное накапливать NaCl до 50 % от биомассы [9]. Полученный после этого питательный раствор с пониженным содержанием NaCl может быть использован для выращивания других высших растений. Основные этапы этого процесса представлены на рис. 2. В дальнейшем растения *Salicornia Europaea* используются человеком в пищу в виде добавки к салатам или другим блюдам. Таким образом, удается вернуть NaCl человеку и замкнуть цикл этого вещества в БТСЖО. Этот способ возврата NaCl человеку является ярким примером сопряжения физико-химического и биологического методов минерализации органического вещества для его вовлечения в круговоротный процесс.

Другим таким примером, апробированным при создании экспериментальных моделей БТСЖО, является использование фермента уреазы для разложения мочевины. Дело в том, что в процессе физико-химической минерализации жидких выделений человека разлагается только незначительная часть мочевины, а остальная часть находится в реакторной жидкости. Для полного разложения мочевины нами была использована известная реакция ее разложения за счет использования уреазы, полученной из бобов сои. Этот вид растений является очень перспективным для создания полноценной растительной диеты человека в БТСЖО. Поэтому та-

кой источник уреазы не требует создания специальных запасов в БТСЖО и не подрывает уровень замкнутости круговоротных процессов.

Разработанные технологии биологического и физико-химического окисления органических отходов легли в основу создания серии экспериментальных моделей, замкнутых БТСЖО на расчетную долю человека. Расчетная доля человека определялась по количеству кислорода, выделяемого в сутки высшими растениями фототрофного звена системы. Как известно, суточное потребление кислорода человеком в норме составляет около 0,835 кг/сутки (или выделение CO<sub>2</sub> около 1 кг/сутки). По результатам исследований в БИОС-3 такие требования в расчете на человека могут быть достигнуты при использовании специально подобранного многовидового разновозрастного конвейера ценозов высших растений на площади около 20 м<sup>2</sup> при облученности 150–180 Вт/м<sup>2</sup> фотосинтетически активной радиации со спектром излучения, близким к солнечному (излучение ксеноновых ламп ДКсТВ-6000). Для создания экспериментальных моделей замкнутых БТСЖО в ИБФ СО РАН использовали герметичные объемы с общей посевной площадью около 3,5 м<sup>2</sup>. При условии сохранения видовой и возрастной структуры используемых фитоценозов, а также параметров светового режима, можно было теоретически рассчитывать на создание экспериментальных моделей БТСЖО с расчетной долей человека около 0,18. Однако на практике пропорциональное уменьшение указанных характеристик достигнуть крайне сложно, поэтому расчетный коэффициент колебался для разных моделей в диапазоне 0,05–0,07. Тем не менее, хотя расчетные коэффициенты оказались ниже, чем предполагаемые, это не повлияло на главный научный результат работы – конструирование круговоротных процессов с повышенной степенью замкнутости за счет использования новых технологий биологического и физико-химического окисления органических отходов. В частности, экспериментальные модели БТСЖО с нарастающей степенью сложности и замкнутости круговоротных процессов позволили решить следующие задачи:

а) экспериментально подтверждена возможность использования технологии биологического сжигания растительных отходов за счет включения ППС в искусственную замкнутую экосистему (2000–2002 гг.);

б) показана возможность адаптации высших растений к использованию в круговоротном процессе элементов минерального питания за счет окисления в ППС растительных отходов и минерализованных экзометаболитов человека (2006–2008 гг.);

в) на примере построения высокозамкнутой экспериментальной модели БТСЖО показана возможность вовлечения в круговорот NaCl и показаны биологические методы его извлечения из жидких выделений человека для последующего включения в пищевой рацион (2006–2009);

г) показана возможность комбинированного использования биологического, физико-химического и нейтрального субстратов в экспериментальных моделях БТСЖО для создания высокозамкнутого круговоротного процесса (2009–2011 гг.).

### **Заключение**

Разработанные и апробированные на отмеченных выше экспериментальных моделях технологии показали свою перспективность для последующего использования в полномасштабных БТСЖО с человеком. В процессе использования эти технологии постоянно подвергались доработке и совершенствованию. Разумеется,



что и сами экспериментальные модели БТСЖО весьма упрощены и еще далеки от совершенства. В частности, фототрофное звено в таких моделях было представлено только частью растений, что не позволяло говорить о сбалансированной диете. Не все продукты физико-химического окисления органических отходов (в первую очередь газовые компоненты) были вовлечены в круговоротный процесс. Из-за отсутствия системы шлюзов процесс длительной герметизации был невозможен, что не позволяло оценить в длительном накопительном режиме возможность появления тех или иных загрязнителей и оценить их воздействие на растения. Все это указывает на недостаточную замкнутость и определенную упрощенность разработанных ранее моделей. В связи с этим в настоящее время в ИБФ СО РАН при поддержке гранта 14-14-00599 РФФИ создается более полная и адекватная экспериментальная модель БТСЖО, в которой предпринимаются меры для устранения вышеуказанных недостатков, что позволяет рассчитывать на повышение степени адекватности результатов моделирования будущих БТСЖО с высокой степенью замкнутости массообменных процессов. В частности, к настоящему времени разработаны высокоинтенсивные световые режимы культивирования растений фототрофного звена на базе использования современных светодиодных облучателей повышенной мощности с линзовой оптикой. Экспериментально подтверждена целесообразность использования для выращивания растений фототрофного звена излучения по спектру близкого к равноэнергетическому (белого света) в сравнении с излучением, подобным по спектру усредненной кривой поглощения зеленого листа (так называемый «фитоспектр»). Обновлено и расширено фототрофное звено высших растений. В частности, введена группа высших растений, включая растения сои, расширяющая и улучшающая растительную диету для человека. Принципиально важным является полное сопряжение работы физико-химической установки по минерализации отходов с атмосферой камер по выращиванию растений, то есть газовые компоненты этой установки после необходимой очистки попадают в общую атмосферу системы, не вызывая отклонений газового состава от нормы, что, в частности, подтверждает экологическую чистоту разработанного физико-химического метода минерализации отходов и возможность встраивания его газовых компонентов во внутрисистемный массообмен. Разрабатываемая экспериментальная модель БТСЖО прошла успешную апробацию в тестовом режиме и в ближайшее время запланирована ее длительная (несколько месяцев) эксплуатация для понимания формирования динамических характеристик круговоротных процессов и факторов, их обеспечивающих.

Работа (кроме материала, изложенного в разделе «Заключение») выполнена в рамках Государственного задания ИБФ СО РАН по теме № 56.1.4. на 2013–2020 годы. Результаты исследований, изложенных в разделе «Заключение», получены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект 14-14-00599) в ИБФ СО РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лисовский Г.М. Замкнутая система: человек–высшие растения [Текст] / Под ред. Г.М. Лисовского. – Новосибирск: Наука, 1979. – 160 с.
- [2] Колягин Г.А. Электросинтез пероксида водорода из кислорода в газодиффузионном электроде в растворах, минерализованных экзометаболитов [Текст] / Г.А. Колягин, В.Л. Корниенко, Ю.А. Куденко, А.А. Тихомиров, С.В. Трифонов // Электрохимия. – 2013. – Т. 49. – № 10. – С. 1120–1124.

- [3] Полонский В.И. Продуктивность и биохимический состав пшеницы при высоких облученностях ФАР в светокультуре [текст] / В.И. Полонский, Г.М. Лисовский, И.Н. Трубачев // Физиология растений. – 1977. – Т. 24. – № 4. – С. 718–724.
- [4] Тихомиров А.А. Влияние световых режимов на продуктивность и качество урожая редиса [текст] / А.А. Тихомиров, Золотухин И.Г., Сидько Ф.Я // Физиология растений. – 1976. – Т. 23. – № 3. – С. 502–507.
- [5] Тихомиров А.А. Уровни организации фотосинтетического аппарата и управление продукционным процессом в фитоценозах в условиях светокультуры [Текст] / А.А. Тихомиров, Г.М. Лисовский // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. – № 3. – С. 461–466.
- [6] Тихомиров А.А. Светокультура растений [Текст] / А.А. Тихомиров, В.П. Шарупич, Г.М. Лисовский. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 202 с.
- [7] Тихомиров А.А. Спектральный состав света и продуктивность растений [Текст] / А.А. Тихомиров, Г.М. Лисовский, Ф.Я. Сидько. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. – 168 с.
- [8] Тихомиров А.А. Фитоценоз как биологический приемник оптического излучения // Светотехника. – 1998. – № 4. – С. 22–24.
- [9] Тихомирова Н.А. Продукционный процесс растений *Salicornia Europaea* как потенциального компонента фототрофного звена БСЖО [Текст] / Н.А. Тихомирова, С.А. Ушакова, Г.С. Калачева // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – № 1. – С. 27–35.
- [10] Tikhomirov A.A. Biological Life Support Systems for a Mars Mission Planetary Base: Problems and Prospects / A.A. Tikhomirov, S.A. Ushakova, N.V. Kovaleva., B. Lamaze, M. Lobo, Ch. Lasseur // Adv. Space Res. – 2007. – Vol. 40. – PP. 1741 – 1745.
- [11] Gitelson J.I. Manmade Closed Ecological Systems [Текст] / J.I. Gitelson, H.M. Lisovsky, R. McElroy. – London: Taylor and Frangis, 2003. – 402 p.
- [12] Gros J.-B., Soil-like Substrate for Plant Growing Derived from Inedible Plant Mass: Preparing, Composition, Fertility [Текст] / Gros J.-B., Lasseur C., Tikhomirov A.A., Manukovsky N.S., Ushakova S.A., Zolotukhin I.G., Gribovskaya I.B., Kovalev V // Acta Hort. (ISHS) – 2004. – V. 644. – PP. 151–155.
- [13] Kudenko Yu.A. Mineralization of Wastes of Human Vital Activity and Plants in LSS [Текст] / Yu.A. Kudenko, I.A. Gribovskaya, R.A. Pavlenko // Acta Astronautica. – 1997. – Vol. 41. – № 3. – PP. 193–196.
- [14] Manukovsky, N. S. Waste Bioregeneration in Life Support CES: Development of Soil Organic Substrate / N.S. Manukovsky, V.S. Kovalev, V.Ye. Rygalov and I.G. Zolotukhin // Adv. Space Res. – 1997. – Vol. 10. – PP. 1827–1832.

УДК 159.9:629.786

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ  
ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КОСМОНАВТОВ  
С ПОМОЩЬЮ АНТРОПОМОРФНЫХ  
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
В ДЛИТЕЛЬНОМ АВТОНОМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ**

В.Г. Сорокин, В.И. Гушин, Д.М. Швед, О.О. Рюмин

Канд. воен. наук, доцент В.Г. Сорокин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)  
Докт. мед. наук В.И. Гушин; канд. мед. наук Д.М. Швед (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)  
Канд. мед. наук О.О. Рюмин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

На основе задач психологической поддержки космонавтов, которые могут возлагаться на антропоморфные робототехнические системы в ходе выполнения длительного автономного космического полета, определяются некоторые возможности по исключению психологических проблем, предоставлению информации для эффективной жизнедеятельности в полете, поддержанию необходимого эмоционального и рабочего тонуса, нейтрализации состояния психологической неопределенности.

**Ключевые слова:** антропоморфная робототехническая система, автономный космический полет, космонавты, психологическая неопределенность, психологическая поддержка космонавтов, эмоциональный и рабочий тонус.

**Some Aspects of Psychological Support of Cosmonauts by Using  
Anthropomorphous Robotic Systems in Long-Duration Autonomous  
Spaceflight. V.G. Sorokin, V.I. Gushchin, D.M. Shved, O.O. Ryumin**

The paper describes some opportunities to eliminate psychological problems, provide information for efficient in-flight life-sustaining activity, keep the required affective and working tone, neutralize the state of psychological uncertainty by means of psychological support, entrusted to anthropomorphous robotic systems during long-duration autonomous space missions.

**Keywords:** anthropomorphous robotic system, autonomous space flight, cosmonauts, psychological uncertainty, psychological support of cosmonauts, affective and working tone.

## **Введение**

Психологическая поддержка космонавтов определяется как комплекс методов, средств и мероприятий, применяемых для поддержания у них эмоционального и рабочего тонуса, предупреждения (компенсации) депривационных эффектов необычной для человеческого организма среды обитания, обеспечения благоприятного психологического климата на борту пилотируемого космического комплекса (ПКК) в течение длительного орбитального или автономного космического полета [3]. Целью психологической поддержки космонавтов является облегчение у них процессов социальной, психологической и профессиональной адаптации к воздействующим факторам длительного орбитального или автономного космического полета.

В настоящее время психологическая поддержка космонавтов в условиях длительного орбитального космического полета является одним из основных направлений медицинского обеспечения здоровья экипажей российского сегмента Международной космической станции (РС МКС). Это обусловлено тем, что космонавт в космическом полете взаимодействует с чрезвычайно сложной и насыщенной информационной средой, влияющей на его жизнедеятельность. Вместе с

тем, согласно теории информационного стресса академика М.М. Хананашвили [14, 15], патологическое состояние в вегетосоматической сфере (состояние дистресса) может сформироваться у космонавта как в случае необходимости обработки больших объемов информации при дефиците времени, так и в условиях дефицита необходимой информации.

Вследствие этого определено, что достижение цели психологической поддержки космонавтов в составе экипажей ПКК и членов экипажей гермокамерных экспериментов может заключаться в создании благоприятной для них информационной среды [8, 9]. С учетом этого определения в ГНЦ РФ–ИМБП РАН проведены исследования, основанные на изучении потребностей членов экипажей в различном информационном контенте и их реакций на поступающую информацию. В результате проведенных исследований разработана концепция медико-психологического мониторинга [7, 9]. В соответствии с данной концепцией производится разработка и применение технических средств психологической поддержки, основным предназначением которых является передача и предоставление различного информационного контента космонавтам, выполняющим длительный орбитальный космический полет на РС МКС, позволяющая компенсировать связанные с длительным пребыванием в искусственной среде гермообъема неблагоприятные эффекты сенсорной депривации и монотонии.

Одним из основных технических средств психологической поддержки на борту РС МКС является система «АГАТ», включающая в себя информационный накопитель большой емкости (1,5–2,5 ТБ), монитор и систему беспроводной передачи информации на персональные планшетные компьютеры космонавтов. Таким образом, космонавты имеют доступ к большой, периодически обновляемой (в соответствии с их потребностями и предпочтениями) базе медиа-контента, включающего фильмы, музыку, книги и изображения.

Вместе с тем, технические средства психологической поддержки космонавтов, используемые на борту РС МКС в настоящее время, могут рассматриваться как базовый вариант, который должен уточняться и расширяться по мере продвижения проектов перспективных космических экспедиций в дальний космос с выполнением длительных автономных космических полетов. Необходимость расширения средств психологической поддержки космонавтов связана с необходимостью исключения психологических проблем, характерных для функционирования длительно действующих автономно малых групп людей и в условиях вынужденного неблагоприятно сложившимися взаимоотношениями в экипаже «одиночества в группе» в течение длительного орбитального и автономного космического полета [12, 13].

Расширение набора средств психологической поддержки космонавтов возможно за счет использования возможностей перспективных антропоморфных робототехнических систем (АРТС) космического назначения. Данным АРТС могут быть приданы не только функции, связанные с техническим обслуживанием бортовых систем, аппаратуры и поддержкой деятельности экипажа ПКК, но и функции, связанные с информационной и психологической поддержкой космонавтов [1]. Необходимо отметить, что речь в данном случае идет о психологической поддержке позитивного состояния космонавта, а не о поддержке конкретно выполняемого вида профессиональной деятельности (внутри- или внекорабельной).

**Задачи психологической поддержки космонавтов, возлагающиеся на антропоморфные робототехнические системы в длительном автономном космическом полете**

В результате выполненной в ЦПК имени Ю.А. Гагарина в 2015 году составной части опытно-конструкторской работы «ППТС» (Перспектива – ТП, ЭП – ЦПК) (2-й раздел) были определены задачи психологической поддержки космонавтов, возлагающиеся на антропоморфные робототехнические системы в условиях длительного автономного (или межпланетного) полета:

- минимизация социально-психологических проблем, характерных для функционирования длительно действующих автономно малых групп людей;
- предоставление информации, кроме служебной, значимой для эффективной жизнедеятельности космонавта в полете;
- поддержание у космонавтов необходимого эмоционального и рабочего тонуса;
- нейтрализация состояния психологической неопределенности на протяжении длительной автономной (межпланетной) космической экспедиции.

Успешному решению этих задач способствует то, что в настоящее время активно развивается социальная робототехника (social robotics), представляющая собой междисциплинарное направление исследований, посвященное разработке робототехнических систем, обладающих возможностью либо предназначенных для социального взаимодействия с людьми [19]. Разработанные в рамках подходов социальной робототехники и гуманитарной информатики, робототехнические системы получают распространение на коммерческом рынке и применяются в различных сферах (социальная защита, психологическая реабилитация и др.). Важным аспектом применения социальных роботов является психологическая поддержка в условиях все более часто возникающего у индивидуума в современном мире вынужденного одиночества внутри микросоциума (семьи, профессиональной группы), что является особенно актуальным в контексте перспективных длительных автономных и межпланетных космических полетов и создания обитаемых станций на космических объектах [13].

Вместе с тем, в настоящее время производится разработка и экспериментальные исследования АРТС, предназначенные для выполнения различных работ на борту ПКК (Robonaut-2 (NASA) и SAR-400 (401) (НПО «Андроидная техника»), в том числе и для информационной и психологической поддержки космонавтов [17, 18]. Определенный опыт использования робототехнических устройств в целях психологической поддержки астронавтов имеет Японское космическое агентство (JAXA). Так, на борту американского сегмента (АС) МКС апробировано робототехническое устройство «Kirobo», созданное при участии Токийского университета и компаний Dentsu Inc. и Toyota. «Kirobo» обладает системами распознавания, анализа и синтеза речи, аудио- и видеозаписи, распознавания и имитации эмоций [16]. Таким образом, при разработке робота решались задачи восполнения информационного и эмоционального дефицита, социально-культурной изоляции. Однако следует отметить, что данное устройство не является АРТС, поскольку не предназначено для выполнения антропоморфных действий и не имеет инфраструктуры управления ею с человеко-машинным интерфейсом.

Несомненно одно – применение на борту ПКК в условиях длительного автономного (или межпланетного) полета АРТС, обладающих соответствующим

«машинным интеллектом», позволит в будущем дополнительно расширить спектр технических средств и возможностей психологической поддержки космонавтов.

Технология психологической поддержки космонавтов с использованием АРТС в условиях длительного автономного (или межпланетного) полета основывается на построении совокупности мероприятий, осуществляемых для решения вышеуказанных задач, с учетом результатов исследований и их реализации ГНЦ РФ–ИМБП РАН. Решение этих задач означает построение комплекса профилактических и коррекционных мероприятий для оказания помощи космонавтам с использованием АРТС, благодаря проведению которых у космонавта могут складываться мыслительные и моторные психофизиологические функции [4], благотворно влияющие на качество выполнения программы космического полета, а также компенсируется дефицит социального взаимодействия, включая эмоциональные контакты. При этом под психофизиологическими функциями понимается совокупность мыслительных и моторных действий, направленных на достижение цели космического полета [5]. К мыслительным относится вид действий, в результате которых продукт действий остается во внутреннем плане. К моторным относится вид действий, в результате которых продукт действий проявляется в физическом движении космонавта.

При проектировании технологии психологической поддержки космонавтов с помощью АРТС необходимо определить характеристику психологического содержания каждого действия, осуществляемого для решения вышеуказанных задач, по следующим критериям [5].

1. Наличие или отсутствие в памяти космонавта соответствующей энграммы (энграмма – психическое образование, совокупность изменений в нервной ткани, обеспечивающих сохранение результатов воздействия деятельности на человека) предопределяет выполнение:

- а) действий прямого замыкания – при наличии энграммы;
- б) трансформирующих действий – при отсутствии энграммы.

2. Назначение действий космонавта предусматривает:

- а) основные действия (элемент деятельности, в результате выполнения которого достигается конкретная, осознаваемая космонавтом, цель);
- б) сервисные действия (сознательная регуляция процесса преобразования информации или соединение отдельных действий в целостную структуру деятельности).

Действия прямого замыкания – мыслительные и моторные – осуществляются в подсознательной области в непосредственной памяти автоматически без актуально осознаваемых операций.

К мыслительным действиям прямого замыкания относятся действия с информационным материалом (наименованиями, понятиями, образами, моделями, программами, планами действий):

- симультанное (одномоментное) опознание;
- непосредственная актуализация;
- произвольное запоминание;
- повторение.

К моторным действиям прямого замыкания относятся:

- произвольные реакции;
- сенсомоторные реакции;
- непосредственно актуализируемые речевые ответы;

- внешний поиск сигнала;
- поисковые движения.

При проектировании технологии психологической поддержки космонавтов с помощью АРТС необходимо использовать временные и вероятностные характеристики выполнения моторных действий прямого замыкания, которые могут быть получены из справочной литературы или путем простейших экспериментов [5].

Трансформирующие действия – мыслительные и моторные – выполняются в оперативной памяти под контролем сознания и могут быть репродуктивными и продуктивными. Репродуктивные действия – осознанные преобразования воспринятого или актуализированного информационного материала по известным космонавту программам. Продуктивные действия – творческий поиск неизвестного ранее решения [5].

К мыслительным репродуктивным действиям относятся:

- развернутое восприятие при первичном формировании образов, понятий, программ;
- поиск в памяти;
- логические действия (умозаключение);
- сознательное запоминание, связанное с перестройкой первично воспринятого или актуализированного материала;
- вычислительные действия.

К моторным репродуктивным действиям относятся:

- многокомпонентные осознанно регулируемые движения;
- речевые высказывания, формируемые путем сознательного подбора слов и предложений.

К мыслительным репродуктивным действиям относятся творческие акты:

- интуитивные решения;
- поиск в памяти по неявным признакам;
- случайные ассоциации, дающие неожиданный полезный по отношению к цели деятельности результат.

К мыслительным сервисным действиям относятся:

- регуляция внимания (сознательная концентрация или распределение внимания);
- переключение внимания;
- пауза для отдыха в микроинтервалах времени;
- повторение для сохранения информации в оперативной памяти.

Таким образом, задачи психологической поддержки космонавтов, возлагающиеся на антропоморфные робототехнические системы, могут быть решены построением комплекса сценариев, состоящих из совокупности действий различной классификации по виду и психологическому содержанию, закладываемых в АРТС, и созданием методик по использованию этих сценариев.

### **Решение задачи минимизации психологических проблем, характерных для функционирования длительно действующих автономно малых групп людей**

Решение задачи минимизации психологических проблем, характерных для функционирования длительно действующих автономно малых групп людей, возможно с помощью АРТС, оснащенной комплексом профилактических (коррекционных) мероприятий, обеспечивающих психологическую поддержку космонавту [12, 13].

Комплекс профилактических (коррекционных) мероприятий, обеспечивающих психологическую поддержку, предназначен для нейтрализации симптомов, которые могут возникнуть у космонавтов в длительном автономном космическом полете:

- нарушение самочувствия;
- эмоциональные расстройства;
- снижение работоспособности;
- снижение профессиональной мотивации;
- межличностные конфликты, приводящие к социальной изоляции.

Данные симптомы могут быть вызваны стрессом, то есть состоянием психического напряжения, возникающим у космонавта во время космического полета и обусловленного процессом деятельности в наиболее сложных, трудных условиях для жизнедеятельности человека и при особых обстоятельствах.

Среди возникающих в ходе длительного космического полета стрессов можно выделить следующие их виды, имеющие психологическую природу: информационный стресс, эмоциональный стресс, коммуникативный стресс. Информационный стресс может появляться в результате информационных перегрузок, возникающих в результате нарушения самочувствия и (или) снижения работоспособности, когда космонавт не справляется с задачей, не успевает ориентироваться в информационном пространстве и принимать необходимые решения. Эмоциональный стресс может появляться в результате эмоциональных расстройств и (или) межличностных конфликтов, возникающих в нештатных ситуациях космического полета, в условиях опасности, угрозы, обиды, конфликтных ситуаций. При этом следует особо отметить, что часто стрессорами могут являться словесные раздражители, получаемые от партнеров по экипажу. Коммуникативный стресс может появляться в результате внутрикорабельной (или внекорабельной) деятельности в процессе делового общения, и может проявляться в конфликтном, манипулятивном поведении, неумении (или нежелании) воспринимать и адекватно реагировать на критические замечания. Особо следует выделить стресс, связанный с дефицитом коммуникации («не с кем поговорить»), связанный с нарушением межличностных отношений в группе и возникновением социальной изоляции индивида внутри экипажа [13].

Теоретической базой для создания и применения комплекса профилактических (коррекционных) мероприятий, которым оснащается АРТС, служат основополагающие представления о функциональной системе психической адаптации и механизмах адаптированной и дезадаптированной психической деятельности человека [2, 11]. Особенностью этого комплекса должно являться то, что его применение с использованием АРТС будет обеспечивать психологическую поддержку позитивного состояния космонавта вне зависимости от выполняемого им вида профессиональной деятельности в космическом полете.

Комплекс профилактических (коррекционных) мероприятий должен включать сценарии, закладываемые в АРТС, состоящие из действий прямого замыкания (побуждающих космонавта на моторные действия прямого замыкания) и из трансформирующих действий (побуждающих космонавта на мыслительные и моторные репродуктивные действия и мыслительные сервисные действия).

Сценарии, включающие действия прямого замыкания, побуждающие космонавта на моторные действия прямого замыкания, должны включать:

- комплекс расслабляющей гимнастики, побуждающий к произвольным реакциям;



- комплекс лечебной (или специальной) гимнастики, побуждающий к сенсомоторным реакциям;
- комплекс частных отвлеченных бесед, побуждающих к непосредственно актуализируемым речевым ответам;
- плановое (или запрограммированное) переключение на стороннюю деятельность, побуждающее к внешнему поиску сигнала и поисковым движениям.

Сценарии, включающие трансформирующие действия, побуждающие космонавта на мыслительные и моторные репродуктивные действия и на мыслительные сервисные действия, должны включать:

- творческие алгоритмы по организации рабочего времени, побуждающие космонавта на поиск в памяти; логические действия (умозаключение); сознательное запоминание, связанное с перестройкой первично воспринятого или актуализированного материала; вычислительные действия; повторение для сохранения информации в оперативной памяти;
- арт-терапию, побуждающую у космонавта развернутое восприятие (при первичном формировании образов, понятий, программ); многокомпонентные, осознанно регулируемые движения; речевые высказывания, формируемые путем сознательного подбора слов и предложений;
- психологическую разгрузку через прослушивание музыкальных произведений, побуждающую у космонавта регуляцию внимания (сознательную концентрацию или распределение внимания); переключение внимания;
- психотерапевтическую беседу-диалог, позволяющую выговориться, проговорить вслух испытываемые негативные переживания;
- сон-паузу – для отдыха в определенных интервалах времени.

Сценарии, предназначенные для решения задачи минимизации психологических проблем, характерных для функционирования длительно действующих автономных малых групп людей, входящие в комплекс профилактических (коррекционных) мероприятий, закладываемые в АРТС, должны использоваться в соответствии со специально созданными методиками по их использованию.

### **Решение задачи предоставления информации, кроме служебной, значимой для эффективной жизнедеятельности космонавта в полете**

Решение задачи предоставления информации, кроме служебной, значимой для эффективной жизнедеятельности космонавта в полете, возможно с помощью активизации индивидуальных механизмов психологического преодоления психогенных эффектов, выступающих в качестве регуляторов адаптивного поведения космонавта – с использованием АРТС.

Активизация индивидуальных механизмов психологического преодоления необходима с той точки зрения, что многие психогенные эффекты как непатологические невротические феномены, так и невротические реакции, возникающие у космонавта в результате длительных космических полетов, связаны с недостаточностью или полным отсутствием необходимой, значимой для индивида информации (помимо служебной), прежде всего, связанной с компенсацией дефицита позитивных социальных контактов. Кроме того, необходимо учитывать особенности адаптивного поведения человека в длительном автономном космическом полете: осуществление социально-психологической адаптации на микроуровне, ее подразделение на интро- и экстронаправление, наличие эзотерической и эмпирической составляющих, распад изначально единой группы на подгруппы и появление в ней «чужаков» [13].

Вместе с тем, длительный автономный космический полет связан не только с напряженной работой космонавта, но и является периодом реально проживаемой им жизни. В связи с этим, активизация индивидуальных механизмов психологического преодоления психогенных эффектов, с учетом особенностей адаптивного поведения человека в длительном автономном космическом полете, может считаться важным аспектом обитаемости ПКК [6]. Это обусловлено тем, что эта активизация направлена на удовлетворение человеческих потребностей: культурных, эстетических, информационных, социальных (потребности в одобрении и поддержке, заботе) и т.п., то есть на обеспечение космонавта информацией неслужебного характера с использованием АРТС.

Для активизации индивидуальных механизмов психологического преодоления психогенных эффектов, с учетом особенностей адаптивного поведения человека в длительном автономном космическом полете, должен быть создан комплекс обеспечения космонавта информацией неслужебного характера, удовлетворяющий не только чисто информационные потребности в рамках досуга (как это делает система «АГАТ»), но и не до конца удовлетворяемые в рамках малой автономной группы потребности в общении, заботе, внимании, опеке [13].

Комплекс обеспечения космонавта информацией неслужебного характера должен включать сценарии, удовлетворяющие его культурные, социальные, эстетические, информационные потребности, закладываемые в АРТС и состоящие из действий прямого замыкания (побуждающих космонавта на мыслительные и моторные действия прямого замыкания) и из трансформирующих действий (побуждающих космонавта на мыслительные и моторные репродуктивные действия, творческие акты и мыслительные сервисные действия).

Сценарии, включающие действия прямого замыкания, побуждающие космонавта на мыслительные и моторные действия прямого замыкания, могут включать:

- набор развлекательных аудио- и видеоблоков (музыка, театральные постановки, литература, картинная галерея и т.д.) с учетом индивидуальных интересов;
- развлекательные диалоговые наборы (вопрос–ответ) с учетом индивидуальных интересов.

Сценарии, включающие трансформирующие действия, побуждающие космонавта на мыслительные и моторные репродуктивные действия, творческие акты и мыслительные сервисные действия, могут включать:

- набор художественно-эстетических аудио- и видеоблоков (классическая музыка, классические театральные постановки, классическая литература, изобразительное искусство и т.д.) с учетом индивидуальных интересов;
- индивидуальный набор образовательных программ;
- тематические диалоговые наборы (самоуважение, самоактуализация, самодостаточность и т.д.) с учетом индивидуальных интересов;
- набор постоянно обновляемых информационных блоков (политика, общественная жизнь, спорт, экономика и т.д.).

Сценарии, обеспечивающие социально-коммуникативные потребности, включающие трансформирующие действия, побуждающие космонавта на проявление внимания, психотерапевтического диалогового общения в плане дренирования испытываемых негативных переживаний. АРТС должна провоцировать космонавта к ее «одушевлению», превращению в объект проявления чувств, общения и заботы (аналогичную реакцию у космонавтов вызывают, например, выращиваемые на МКС растения), дефицит которых может быть особо чувствителен в условиях длительного автономного полета [13].

Следует особо подчеркнуть, что реализация данных сценариев с помощью АРТС имеет перед существующей системой компьютерной психподдержки, основанной на использовании носителя данных типа «АГАТ», такое важнейшее преимущество, как использование для их реализации голосового интерфейса антропоморфного робота. Применение АРТС для информирования и контакта с членом экипажа с использованием синтезированного женского голоса (результаты исследований подчеркивают преимущества использования в голосовых интерфейсах именно этой тембровой зоны звукового спектра, не создающей тревоги и перевозбуждения [20]), позволит активизировать мало задействованные зоны коры головного мозга, в настоящее время перегруженного у космонавта визуальной информацией. В результате, степень восприимчивости информации реципиентом, ее терапевтический (самораскрытие) и поддерживающий психо-эмоциональный тонус воздействия должны существенно (в несколько раз) вырасти (см. ниже).

Сценарии, удовлетворяющие культурные, социально-коммуникативные, эстетические, информационные потребности космонавта, входящие в комплекс обеспечения информацией неслужебного характера, закладываемые в АРТС, должны использоваться в соответствии со специально созданными методиками по использованию этих сценариев.

### **Решение задачи поддержания у космонавтов необходимого эмоционального и рабочего тонуса**

Решение задачи поддержания у космонавтов необходимого эмоционального и рабочего тонуса возможно предупреждением (компенсацией) депривационных эффектов среды обитания, обеспечения благоприятного психологического климата на ПКК – в контуре взаимодействия «экипаж ПКК–АРТС» в течение длительного космического полета [3].

Особенностью возникновения депривационных эффектов в длительном автономном космическом полете является то, что они могут возникнуть как на индивидуальном (сравнение с одним человеком), так и на групповом (сравнение интруппы с аутгруппой) уровнях. При этом структуру депривации образуют когнитивный и аффективный компоненты. Когнитивный компонент – осознание человеком того, что его положение или положение интруппы хуже, чем положение других людей или группы. Аффективный компонент включает в себя злость, фрустрацию, депрессию. Таким образом, устранение когнитивного и аффективного компонентов может способствовать воспрепятствованию возникновения депривационных эффектов в длительном автономном космическом полете. Устранение когнитивного и аффективного компонентов может быть достигнуто использованием факторов, оказывающих не только специфическое, но и неспецифическое действие.

К факторам, оказывающим специфическое действие, относится общая информация об актуальных текущих событиях внутри и вне ПКК, о проблемах ВнутКД и ВнеКД, о выполненных (за определенный период) работах, о качестве выполненных работ, о выполнении детального плана полета, о передовиках и порядке их стимулирования. Общая информация должна способствовать поддержанию оптимального уровня активации головного мозга и создания определенного количества стимулов. Общая информация должна создавать определенный рабочий тонус, который даже в условиях крайне монотонных и примитивных работ, помимо обеспечения оптимальной работоспособности и положительного отношения к работе, может способствовать дальнейшему духовному сближению космонавтов.

К факторам, оказывающим неспецифическое действие, относится дополнительная информация в виде сценариев, состоящих из набора различных шуточных реплик на разнообразные темы, набора разнообразных фраз интеллектуального характера (с подробным описанием того, что делать нужно, чего делать не стоит, и как это все может повлиять на дальнейшую жизнь). Особо следует выделить поддерживающие разговор короткие высказывания и междометия, позволяющие моделировать диалог и поддерживать общение. Кроме того, дополнительная информация может выдаваться и путем невербального общения космонавта с АРТС. Дополнительная информация должна учитывать особенности и предпочтения каждого члена экипажа, а также его тип характера и темперамента. Дополнительная информация должна создавать определенный эмоциональный фон, который будет способствовать поддержанию коммуникабельных отношений между космонавтами.

Для поддержания у космонавтов эмоционального и рабочего тонуса (в длительном автономном космическом полете) должен быть создан соответствующий комплекс психологических методов, средств и мероприятий. Кроме того, необходимо построение сценариев, закладываемых в АРТС, состоящих из действий прямого замыкания, побуждающих космонавта на коммуникативные, мыслительные и моторные действия прямого замыкания. Сценарии поддержания диалогового общения могут быть построены на основе известных принципов активного слушания, реализуемого с помощью АРТС.

Сценарии, удовлетворяющие условию поддержания у космонавтов необходимого эмоционального и рабочего тонуса, входящие в соответствующий комплекс, закладываемые в АРТС, должны использоваться в соответствии со специально созданными методиками по использованию этих сценариев.

### **Решение задачи нейтрализации состояния психологической неопределенности на протяжении длительной автономной (межпланетной) космической экспедиции**

Решение задачи нейтрализации состояния психологической неопределенности на протяжении длительной автономной (межпланетной) космической экспедиции с использованием АРТС возможно нейтрализацией стресс-факторов, возникающих у космонавта вследствие монотонии.

Под монотонией (от греч. monos – один, единый и tonos – напряжение, ударение) понимается функциональное состояние человека, возникающее при однообразной работе. Характеризуется монотония снижением тонуса и восприимчивости, ослаблением сознательного контроля, ухудшением внимания и памяти, стереотипизацией действий, появлением ощущений тревоги, скуки и потери интереса к работе.

Функциональное состояние космонавта, обусловленное монотонией в длительном автономном космическом полете, может характеризоваться следующими признаками:

– постоянное ощущение тревоги вследствие косвенной опасности для жизни (радиация, метеориты, возможность опасного контакта с новыми формами жизни и прочее);

– снижение тонуса и восприимчивости, ослабление сознательного контроля, ухудшение внимания и памяти вследствие депрессии, возникающей за счет автономности функционирования и необходимости принятия решений;

- стереотипизация действий и потеря интереса к выполняемой работе вследствие ее однообразия (а в определенные периоды полета – полного ее отсутствия);
- ощущение скуки вследствие ограниченного круга формального и неформального общения, ограниченного списка занятий и развлечений;
- однообразии восприятия вследствие отсутствия в визуальной картине привычных пространственных ориентиров (например, на поверхности Земли).

Для поддержания функционального состояния космонавта в позитивном поле необходимо разработать метод персонафицированного конструирования программного обеспечения АРТС – с учетом мнения и предпочтений каждого члена экипажа.

Для нейтрализации стресс-факторов, обусловленных монотонией, целесообразно создать комплекс поддержки функционального состояния космонавта, направленный против монотонии, который должен включать сценарии развлекательных и досуговых процедур, сценарии восстановления профессиональных операторских функций и навыков, сценарии комплексной работы с наземными и бортовыми средствами.

Сценарии развлекательных и досуговых процедур целесообразно формировать из совокупности трансформирующих действий, побуждающих у космонавтов мыслительные и моторные репродуктивные действия и мыслительные сервисные действия. Следует еще раз подчеркнуть значимость использования женского тембра голоса АРТС при реализации развлекательных и досуговых, а также психотерапевтических сценариев, предназначенных для снятия тревоги и неопределенности.

Сценарии развлекательных и досуговых процедур могут включать:

- набор веселых отечественных и зарубежных фильмов, побуждающих космонавта к поиску в памяти, речевым высказываниям, многокомпонентным осознанно регулируемым движениям;
- набор смешных фотографий, видеороликов, киносюжетов, побуждающих космонавта к развернутому восприятию образов и понятий, случайным ассоциациям, дающих полезный результат, регуляции внимания, переключению внимания;
- набор отечественных и зарубежных фильмов по категориям (фантастические, детективы, боевики, исторические, романтические), побуждающих космонавта к развернутому восприятию образов, понятий, программ, поиску в памяти, логическим действиям, сознательному запоминанию, вычислительным действиям, многокомпонентным осознанно регулируемым движениям, речевым высказываниям, интуитивным решениям, поиску в памяти по неявным признакам, случайным ассоциациям, регуляции внимания, переключению внимания;
- набор ребусов и кроссвордов, побуждающих космонавта к поиску в памяти, логическим действиям, сознательному запоминанию, вычислительным действиям, речевым высказываниям, интуитивным решениям, случайным ассоциациям, регуляции внимания, переключению внимания;
- набор пословиц, поговорок, басен разных народов мира, побуждающих космонавта к поиску в памяти, речевым высказываниям, развернутому восприятию образов, понятий, программ, логическим действиям, сознательному запоминанию, вычислительным действиям, интуитивным решениям, поиску в памяти по неявным признакам, случайным ассоциациям, регуляции внимания, переключению внимания.

Сценарии восстановления профессиональных операторских функций и навыков космонавтов целесообразно формировать из совокупности коммуникативных, мыслительных и моторных действий прямого замыкания, а также мысли-

тельных и моторных репродуктивных трансформирующих и мыслительных сервисных действий.

Сценарии восстановления профессиональных операторских функций и навыков космонавтов могут включать:

- набор операций по комплексной тренировке к выполнению полетных операций, действий в нештатных ситуациях и в аварийных ситуациях на ПКК;
- набор операций по комплексной тренировке к выполнению ручных динамических режимов полета ПКК (ручное причаливание и перестыковка, ручное сближение, ручной управляемый спуск);
- набор операций по комплексной тренировке к выполнению действий после посадки пилотируемого космического аппарата (ПКА) в экстремальных условиях.

Данные наборы операций должны побуждать космонавта к развернутому восприятию программ, поиску в памяти, логическим действиям, сознательному запоминанию, вычислительным действиям, многокомпонентным осознанно регулируемым движениям, интуитивным решениям, поиску в памяти по неявным признакам, случайным ассоциациям, дающих неожиданный полезный результат, регуляции внимания, переключению внимания, повторению для сохранения информации в оперативной памяти.

Сценарии комплексной работы космонавтов с наземными и бортовыми средствами для поддержания ощущения постоянной взаимосвязи с родными, друзьями, рабочим коллективом, находящимися на Земле.

Сценарии комплексной работы космонавтов в настоящее время включают:

- набор семейных фотографий, фильмов, видеозаписей, по мере возможности пополняемых с использованием наземных средств;
- набор фотографий, фильмов, видеозаписей с друзьями и представителями рабочего коллектива, находящимися на Земле;
- набор фотографий, фильмов, видеозаписей красивых и памятных мест;
- набор фотографий, фильмов, видеозаписей архитектурных памятников и картин художников.

Данные наборы должны побуждать космонавта к развернутому поиску в памяти, логическим действиям, сознательному запоминанию, поиску в памяти по неявным признакам, случайным ассоциациям, регуляции внимания, переключению внимания, паузам для отдыха в микроинтервалах времени, повторению для сохранения информации в оперативной памяти.

Отдельно следует отметить новые психотерапевтические возможности подачи данной информации, представляемые средствами виртуальной реальности. Они существенно, на совершенно другом уровне высокодетального моделирования трехмерной реальности, повышают эффект присутствия человека в искусственной информационной среде, и на этой основе позволяют гораздо более полноценно имитировать присутствие в родных местах, вместе с близкими людьми посетить любимую дачу, половить рыбу, посетить один из знаменитых музеев. Это представляется особенно ценным для космонавта, особенно остро испытывающего в автономном длительном полете феномен «отрыва от Земли» [13].

Сценарии, предназначенные для решения задачи нейтрализации состояния психологической неопределенности на протяжении длительной автономной (межпланетной) космической экспедиции, входящие в комплекс поддержки функционального состояния космонавта, закладываемые в АРТС, должны использоваться в соответствии со специально созданными методиками по использованию этих сценариев.

### **Специальные возможности, которыми должны обладать антропоморфные робототехнические системы с функциями психологической и информационной поддержки космонавтов в длительном автономном космическом полете**

Мы полагаем, что АРТС, в число функций которых входят информационная и социально-психологическая поддержка космонавтов в длительном автономном космическом полете, должны обладать следующими специальными возможностями:

- распознавание речи;
- частотный анализ речи (с целью определения эмоционального состояния космонавта);
- распознавание образов (определение расположения космонавта, опознавание космонавта по его внешности, а также анализ мимики);
- синтез речи (для имитации устного общения);
- функции аудио- и видеозаписи (регулируется космонавтом);
- наличие собственного канала связи с ЦУПом, возможность обмена данными с группой ПП, загрузки блоков новостей для выдачи по запросу космонавта;
- работа в двух режимах: групповом (взаимодействие с несколькими членами экипажа) и конфиденциальном (индивидуальное взаимодействие с космонавтом);
- индивидуализация (возможность изменения модели коммуникативного поведения робота, тембра синтезированной речи и других характеристик в соответствии с предпочтениями и личностными особенностями космонавта);
- работа с базой медиа-контента (книги, музыка, фильмы и т.д.), выдачи по запросу космонавта;
- адаптация коммуникативного поведения к ситуационному контексту и психоэмоциональному состоянию космонавта;
- обеспечение эффекта дистанционного присутствия (телеприсутствия) собеседника, взаимодействия с ним (аудиовизуальная связь с пребывающим на Земле человеком с отображением видеоизображения лица собеседника на дисплее).

Наличие данных специальных возможностей обусловлено тем, что вербальная коммуникация в режиме диалога подразумевает, как минимум, имитацию АРТС в роли активного, внимательного слушателя. Периодическое выражение согласия, переспрашивание, открытые вопросы и прочие проявления внимания повышают психологическую открытость говорящего, что способствует вербализации психоэмоционального состояния и, таким образом, само по себе оказывает психотерапевтическое воздействие. Вместе с тем, АРТС должна заранее адаптироваться к характеристикам голоса каждого космонавта. Кроме того, космонавт должен иметь возможность заранее, до полета, задать желаемые особенности коммуникативного поведения АРТС с целью индивидуализации взаимодействия. Адаптивность коммуникативной подсистемы антропоморфного робота подразумевает возможность ограниченного самообучения в течение периода взаимодействия с космонавтом (например, с использованием алгоритмов машинного обучения). Таким образом, можно существенно повысить индивидуальность и, как следствие, качество взаимодействия в формате психологической поддержки.

### **Заключение**

Рассматривая некоторые аспекты психологической поддержки космонавтов в длительном автономном (межпланетном) космическом полете с помощью АРТС, в контексте соответствующих задач, можно констатировать следующее.

Несмотря на то, что существующая и постоянно совершенствующаяся система психологической поддержки космонавтов в процессе длительных полетов по орбите Земли практически полностью отвечает решению поставленных перед ней задач обеспечения психологического благополучия и работоспособности экипажей, необходимо уже сегодня решать задачи психологической поддержки космонавтов в длительных автономных (межпланетных) космических экспедициях. Использование АРТС при проведении мероприятий психологической поддержки экипажей межпланетных ПКК является перспективным направлением повышения эффективности профессиональной деятельности космонавтов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сорокин В.Г., Сохин И.Г. Возможные области применения антропоморфных роботов-помощников экипажей в отсеках перспективных пилотируемых комплексов // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 4(17).
- [2] Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. – М., 1975.
- [3] Бурназян А.И., Газенко О.Г. Психологическая поддержка. Справочник по космической биологии и медицине. – М., 1983.
- [4] ГОСТ В 29.04.002-84. Алгоритм и структура деятельности оператора. Общие эргономические требования.
- [5] ГОСТ РВ 29.04.006-2005. Деятельность оператора образцов вооружения и военной техники. Общие положения.
- [6] ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования.
- [7] Дистанционное наблюдение и экспертная оценка: общение и коммуникация в задачах медицинского контроля / П.В. Симонов, В.И. Мясников. – М.: Наука, 1982.
- [8] Козеренко О.П. Психологическая поддержка // Справочник по космической биологии и медицине. – М.: Медицина, 1983. – С. 208–210.
- [9] Психологическая поддержка экипажей МКС / Козеренко О.П., Баранова М.В., Мирзаджанов Ю.А., Кузнецова Е.П. // Космическая биология и медицина. – Т. 2. – М.: ГНЦ РФ–ИМБП РАН, 2011. – С. 168–172.
- [10] Крючков Б.И., Усов В.М. Антропоцентрический подход в организации совместной деятельности космонавтов ПКК и робота-помощника антропного типа // Пилотируемые полеты в космос. – 2012. – № 3(5).
- [11] Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. – М., 1975.
- [12] Мясников В.И., Козеренко О.П. Профилактика психоэмоциональных нарушений в длительном космическом полете средствами психологической поддержки // Космическая биология. – 1981. – Т. 15, № 2.
- [13] Основные результаты психофизиологических исследований в проекте Марс-500 / Ушаков И.Б., Моруков Б.В., Бубеев Ю.А., Гушин В.И., Виноходова А.Г., Швед Д.М. // Вестник Российской Академии наук. – 2014. – Т. 84, № 3. – С. 212–221.
- [14] Хананашвили М.М. Информационные неврозы. – М.: Медицина, 1978. – 118 с.
- [15] Хананашвили М.М. Биологически положительный и отрицательный психогенный (информационный) стресс // Дизрегуляторная патология. – М.: Медицина, 2002. – С. 295–306.
- [16] <http://kibo-robot.jp/en/robot/type1.html>.
- [17] <http://robonaut.jsc.nasa.gov/default.asp>.
- [18] <http://orbitalsystems.ru/проекты/sar-401/>.
- [19] Kanda T., Ishiguro H. Human-Robot Interaction in Social Robotics. CRC Press, 2012. 372 pp.
- [20] Nass C.I., Brave S. Wired for Speech: How Voice Activates and Advances the Human-computer Relationship. Cambridge: MIT press, 2005. 296 pp.



УДК 796

**ИЗМЕНЕНИЕ  
ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОСМОНАВТОВ С ВОЗРАСТОМ**

В.Г. Назин

Канд. техн. наук, проф. Академии военных наук В.Г. Назин  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена оценке снижения с возрастом физических (двигательных) возможностей космонавтов по выполнению нормативов их физической подготовки к полету. Рассматриваются различные факторы, влияющие на скорость изменения физических возможностей. Приводятся результаты статистического оценивания физических возможностей действующих космонавтов на примерах выполнения ими ряда нормативных физических упражнений (тестов, проб).

**Ключевые слова:** космонавты, возраст, двигательная активность, физические возможности, нормативы физической подготовки, нормативные физические упражнения.

**Change of Cosmonauts' Physical Capacities with Age. V.G. Nazin**

The paper analyzes the physical (motor) capacities of cosmonauts to meet the physical fitness requirements for a space flight versus their age. Various factors that influence on the rate of changing human physical capacities are discussed. Results of statistical evaluation of active cosmonauts' physical capacities by the example of performing by them a number of normative physical exercises (tests) are given.

**Keywords:** cosmonaut, age, motor activity, physical capacities, fitness standards, normative physical exercises.

Известно, что после 25–30 лет физиологические резервы систем организма, обеспечивающих физическую работоспособность человека, начинают постепенно снижаться. При этом средний темп уменьшения максимально возможных реакций этих систем и физической работоспособности составляет около 1 % в год. Основными причинами этого являются как деструктивные возрастные изменения в дыхательной, сердечно-сосудистой, мышечной и других системах организма человека, так и существенное уменьшение его двигательной активности [1].

С другой стороны, имеются данные о том, что постоянные занятия физическими упражнениями позволяют задержать время начала «старения» двигательных функций организма человека на несколько лет. А реализация всего комплекса мер, составляющих основу так называемого здорового образа жизни, может обеспечить не только сохранение (а порой и повышение) достигнутого уровня физического и функционального развития организма человека, но и существенно повлиять на скорость последующего снижения его физических возможностей [2].

В силу указанного, реальные скорости изменения с возрастом физических возможностей конкретных индивидуумов или определенных социальных групп зависят от множества факторов, прежде всего, от двигательной активности, характера питания, материальных и экологических условий жизни, социальных факторов, уровня медицинского обслуживания, наличия или отсутствия вредных привычек и т.д.

Космонавты в силу уникальности, экстремальности и прочей специфики профессии представляют собой относительно малочисленную, весьма обособлен-

ную и определенно «двигательно-активную» социальную группу, поскольку их физические тренировки проводятся целенаправленно, регулярно и в обязательном порядке на протяжении всей профессиональной деятельности [3]. В связи с этим оценка реальных скоростей изменения с возрастом их физических возможностей вызывает значительный научный и практический интерес, особенно в плане совершенствования действующих нормативов физической подготовки космонавтов (ФПК).

Дело в том, что изначально для ФПК в качестве базовых были использованы нормативы по физической подготовке представителей иной профессии, а именно, военных летчиков. Ныне действующие нормативы ФПК, окончательно сформировавшиеся в конце 90-х годов прошлого столетия, представляют собой таблицу, в которой содержится перечень нормативных физических упражнений (тестов, проб), а также результаты их выполнения, соответствующие качественным оценкам «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно» для космонавтов трех возрастных групп (до 35 лет, 35–45 лет, старше 45 лет). В своем большинстве эти требуемые результаты снижаются при переходе от первой возрастной группы космонавтов к последующим. Так, например, норматив выполнения упражнения «подтягивание на перекладине» на «отлично» для космонавтов младше 35 лет задан условием – подтянуться не менее 14 раз, в возрасте от 35 до 45 лет – не менее 11 раз, старше 45 лет – не менее 8 раз. На «хорошо» – не менее 12, 9 и 6 раз, на «удовлетворительно» – не менее 10, 7 и 4 раз, соответственно.

То есть, в нормативах ФПК определенным образом заданы предполагаемые на момент их формирования скорости снижения с возрастом физических возможностей тестируемых по выполнению нормативных упражнений. Так, в представленном выше примере эта предполагаемая скорость, оцениваемая как скорость снижения нормативов по мере увеличения возраста тестируемых (расчетные точки 30, 40 и 50 лет – средние значения трех возрастных диапазонов), составляет 0,3 раза/год (3 подтягивания за 10 лет). Для упражнения «прыжок в длину с места» заданная скорость возрастного снижения нормативов составляет 2 см/год, для сгибания–разгибания рук в упоре на брусьях – 0,3 раза/год, для кросса 3 км – 2 с/год и т.д. В то же время, для таких нормативных физических упражнений как проба Ромберга, активная ортостатическая проба, бег на макете бортовой бегущей дорожки и ручная велоэргометрия – эти скорости заданы равными нулю (нормативы их выполнения одинаковы для космонавтов всех возрастных групп).

Вопрос, в какой мере эти некогда заданные скорости адекватны реальной картине изменения с возрастом физических возможностей космонавтов современного контингента, а не военных летчиков и космонавтов предыдущих поколений, так и остается открытым. В связи с этим оценка реальных скоростей изменения с возрастом физических возможностей ныне действующих космонавтов по выполнению ранее установленных нормативов ФПК в настоящее время представляется весьма актуальной.

Проведение такой оценки стало возможным после накопления достаточно объемного статистического материала по результатам проверки физической подготовленности космонавтов в 2006–2013 гг., зафиксированных в 151 документированном заключении. Всего для статистической обработки было представлено 2470 результатов выборочного выполнения 45 космонавтами в возрасте примерно от 24 до 60 лет 28 нормативных физических упражнений ФПК. Объем выборки ( $n$ ) результатов варьировался для разных упражнений в пределах от  $n = 150$  (подтягивание на перекладине) до  $n = 39$  (бег 60 м). Результаты крайне редко вы-

полняемых упражнений, а именно, теста Купера ( $n = 5$ ), бега 30 м ( $n = 4$ ), бега 100 м ( $n = 8$ ), из перечня оцениваемых были заведомо исключены ввиду статистической несостоятельности их выборки. Более того, ввиду очень малой востребованности указанных упражнений, было принято решение об их исключении из состава нормативов ФПК.

Для проведения оценки использовались аппроксимационные методы обработки статистической выборки результатов с их графическим представлением, которые в настоящее время широко представлены в пакетах прикладных программ (достаточно отметить прикладные функции EXCEL). Применение этих программ обеспечило как высокую наглядность общей картины результатов выполнения космонавтами отдельных нормативов ФПК и возрастной динамики средних результатов, так и автоматическое получение расчетных значений показателей их вариации (средних квадратических отклонений  $\sigma$ ) и искомых скоростей изменения указанных результатов с возрастом космонавтов.

Вначале в компьютер вводились задокументированные результаты выполнения космонавтами нормативных упражнений ФПК (в секундах, метрах, баллах и т.п.) и осуществлялось их графическое отображение в координатах «возраст–результат». Для большей наглядности разброса результатов, показанных различными космонавтами при выполнении одного и того же упражнения в примерно одном и том же возрасте, близлежащие точки соединялись отрезками прямых.

Далее проводилась линейная аппроксимация множества результатов выполнения космонавтами нормативов ФПК, отображались линейные зависимости средних результатов  $R_{cp}$  выполнения данных нормативов от возраста  $T$  космонавтов, определялись уравнения этих зависимостей (уравнения регрессии) и значения  $\sigma$ .

Все указанные выше графические изображения, уравнения и показатели, полученные применительно к нормативному физическому упражнению «подтягивание на перекладине», представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Результаты выполнения космонавтами разного возраста нормативного физического упражнения «подтягивание на перекладине», линейная зависимость среднего результата  $R_{cp}$  от возраста  $T$  космонавтов и ее уравнение

На этом рисунке наглядно видно, что при существенном разбросе ( $\sigma = 4,06$ ) индивидуальных ( $n = 150$ ) результатов выполнения космонавтами данного силового нормативного упражнения, средний результат  $R_{cp}$  по мере увеличения их возраста  $T$  снижается со скоростью  $0,17$  раза/год (величина множителя в уравнении). То есть в реальности скорость снижения физических возможностей космонавтов по выполнению данного упражнения по мере увеличения их возраста оказалась почти в 2 раза меньше скорости, заданной в нормативах ФПК ( $0,3$  раза/год).

Такого рода различие предполагавшихся и реальных скоростей снижения среднего результата с возрастом космонавтов установлено в отношении большинства нормативов ФПК. Так, для прыжка в длину с места реальная скорость снижения среднего результата  $1$  см/год (рис. 2) оказалась в 2 раза меньше заданной, для сгибания–разгибания рук в упоре на брусьях –  $0,26$  раза/год (рис. 3) – в  $1,15$  раза меньше заданной.

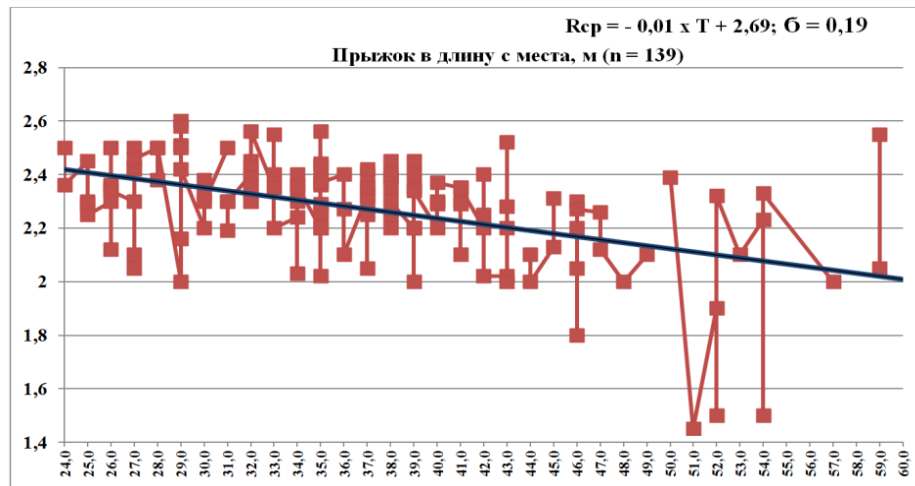


Рис. 2. Результаты выполнения космонавтами разного возраста нормативного физического упражнения «прыжок в длину с места», линейная зависимость среднего результата  $R_{cp}$  от возраста  $T$  космонавтов и ее уравнение

Также установлено, что реальная скорость ухудшения среднего результата прыжания в длину меньше заданной примерно в  $1,1$  раза; плавания  $800$  м вольным стилем – в  $1,4$ ; подтягивания на перекладине – в  $1,5$ ; челночного бега  $10 \times 10$  м – в  $1,6$ ; прыжка в длину с места – в  $2,3$  и т.д.

Сама тенденция ухудшения среднего результата по мере увеличения возраста космонавтов выявлена практически во всех исследуемых нормативных упражнениях ФПК. В том числе, и в таких упражнениях, как бег на макете бортовой бегущей дорожки, ручная велоэргометрия и проба Ромберга (рис. 4), нормативы выполнения которых изначально заданы одинаковыми для космонавтов всех возрастов, то есть, как выяснилось, не вполне корректно.

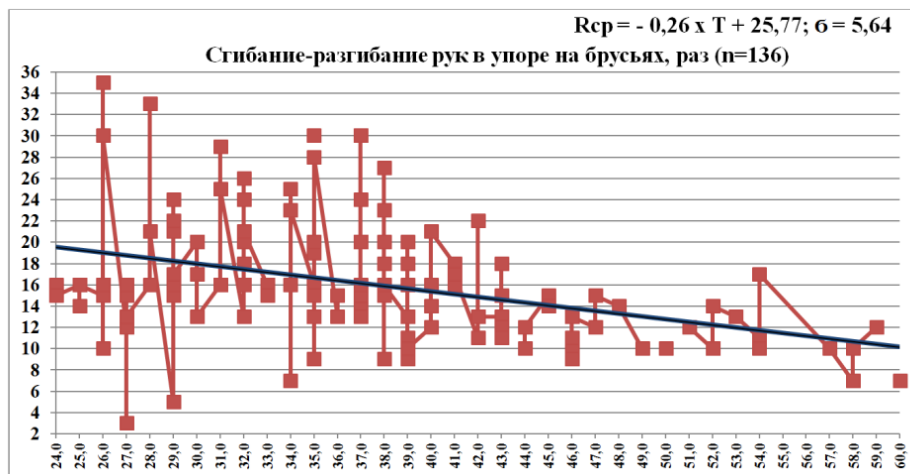


Рис. 3. Результаты выполнения космонавтами разного возраста нормативного физического упражнения «сгибание-разгибание рук в упоре на брусьях», линейная зависимость среднего результата  $R_{cp}$  от возраста  $T$  космонавтов и ее уравнение

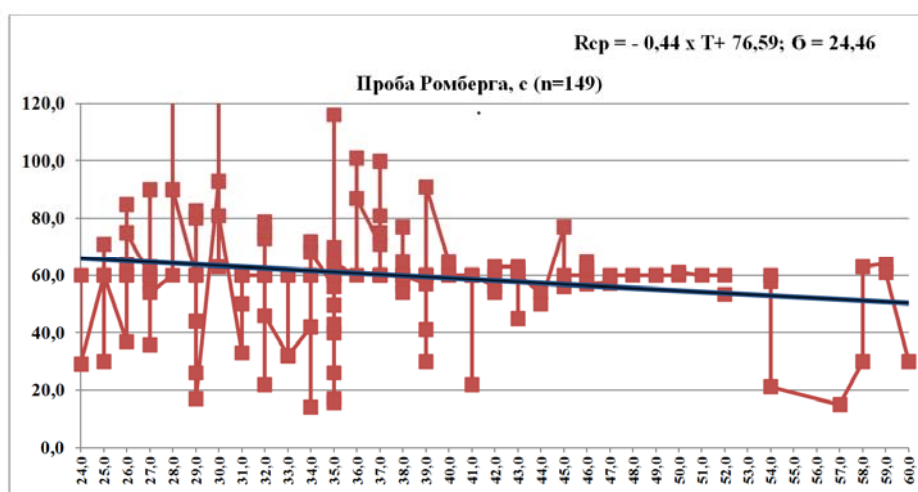


Рис. 4. Результаты выполнения космонавтами разного возраста нормативной физической пробы Ромберга, линейная зависимость среднего результата  $R_{cp}$  от возраста  $T$  космонавтов и ее уравнение

В том числе, и применительно к спортивным играм и прыжкам в воду (рис. 5), проявление ловкости в которых оценивалось тренерами-преподавателями по 10-балльной шкале, исключительно субъективно при отсутствии каких-либо возрастных нормативов.

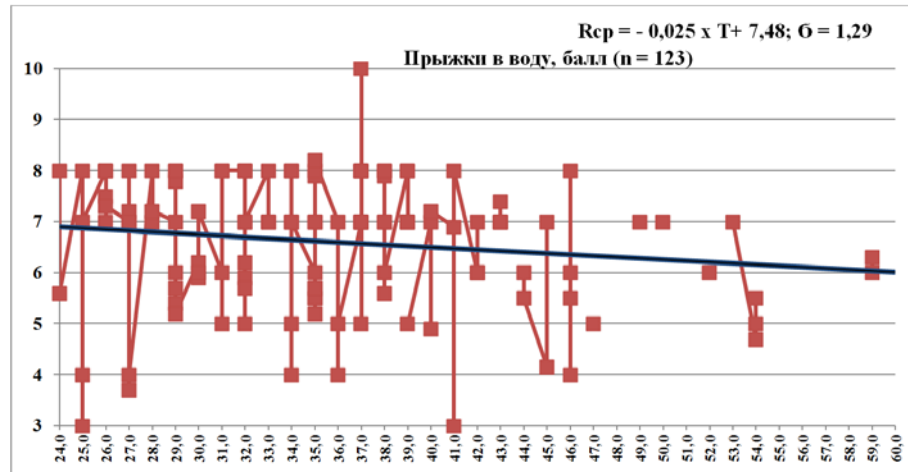


Рис. 5. Результаты оценки ловкости космонавтов разного возраста при выполнении нормативных прыжков в воду с трамплина и вышки, линейная зависимость среднего результата  $R_{cp}$  от возраста  $T$  космонавтов и ее уравнение

Помимо указанных на рисунках, расчетные скорости ухудшения с возрастом средних результатов выполнения космонавтами нормативных упражнений ФПК составили:

- кросс 1 км – 1,30 с/год;
- тест PWC170 – 2,51 кгм/мин/год;
- плавание 800 м вольным стилем – 6,39 с/год;
- плавание 800 м брассом – 5,71 с/год;
- плавание 25 м – 0,20 с/год;
- плавание 100 м вольным стилем – 0,34 с/год;
- плавание 100 м брассом – 1,03 с/год;
- спортивные игры – 0,024 балла/год;
- бег на макете бортовой бегущей дорожки – 1,18 м/год;
- ручная велоэргометрия – 0,51 с/год и т.д.

Проведенный анализ всех соотношений расчетных и заданных скоростей ухудшения результатов позволяет сделать принципиальный вывод о том, что в реальности физические возможности космонавтов современного контингента по выполнению нормативных упражнений снижаются с возрастом определенно (в среднем по всем упражнениям – примерно в 2 раза) медленнее, чем это предполагалось при формировании действующих нормативов ФПК.

Если ориентироваться на темпы ухудшения с возрастом средних результатов выполнения космонавтами нормативных упражнений ФПК не в абсолютном, а в относительном (процентном) выражении, то анализу подлежат следующие расчетные данные:

- средний результат кросса 1 км ухудшается с темпом 0,6 % в год;
- теста PWC170 – 0,34 %;
- плавания 800 м вольным стилем – 0,6 %;
- плавания 800 м брассом – 0,49 %;
- лыжной гонки 5 км – 0,72 %;

- подтягивания на перекладине – 1,3 %;
- сгибания–разгибания рук в упоре на брусьях – 1,45 %;
- челночного бега 10x10 м – 0,34 %;
- прыжка в длину с места – 0,47 %;
- плавания 25 м – 1,1 %;
- плавания 100 м вольным стилем – 0,34 %;
- плавания 100 м брассом – 0,92 %;
- спортивных игр – 0,32 %;
- прыжков в воду с трамплина и вышки – 0,35 %;
- ныряния в длину – 0,8 % и т.д.

Тогда, исходя из среднего арифметического указанных значений (ориентировочно – 0,7 % в год), можно предположить, что темп снижения с возрастом физических возможностей космонавтов существенно меньше, чем темп возрастного снижения физической работоспособности среднестатистического человека (около 1 % в год). Если принимать во внимание только одно нормативное упражнение ФПК – тест РWC170 для оценки общей физической работоспособности, то преимущество космонавтов выглядит еще более внушительным (у них расчетный средний темп ее снижения составляет 0,34 % в год).

На фоне общей тенденции снижения физических возможностей космонавтов по мере увеличения их возраста единственным явно выраженным исключением является позитивная возрастная динамика среднего результата активной ортостатической пробы (рис. 6).



Рис. 6. Результаты выполнения космонавтами разного возраста активной ортостатической пробы, линейная зависимость среднего результата Rcp от возраста T космонавтов и ее уравнение

На этом рисунке видно, что результат этой пробы, а именно, абсолютный прирост частоты сердечных сокращений при переводе космонавтов в вертикальное положение после 5-минутного пребывания в горизонтальном положении, среднестатистически с возрастом вполне предсказуемо снижается, то есть, улучшается.

Необходимо отметить, что указанные выше результаты исследований возрастной динамики физических возможностей космонавтов использованы при корректировке действующих табличных нормативов ФПК и совершенствовании современной методики оценки физической подготовленности космонавтов, в кото-

рой возрастные нормативы представляются уже не в табличном, а в преобразованном (аналитическом) виде. Нижний возрастной предел работоспособности эмпирических зависимостей (формул) данной методики принят равным 25–30 годам и соответствует, как уже выше отмечалось, пику физического и функционального развития человека (без привязки к конкретной профессии). Верхний предел работоспособности формул методики – 60–65 лет установлен уже расчетным путем с помощью этих же формул, то есть с учетом выявленной возрастной динамики физических возможностей представителей вполне определенной космической профессии. Так, например, применительно к нормативному физическому упражнению «подтягивание на перекладине» формула для оценки по 10-балльной шкале  $N$  результата его выполнения  $k$  космонавтом в возрасте  $T$  имеет следующий вид:

$$N = k - 7 + 0,2 \times (T - 30), \{ \text{если } N < 0, \text{ то } N = 0; \text{ если } N > 10, \text{ то } N = 10 \}.$$

Используя эту формулу нетрудно показать, что если некий космонавт в день своего 65-летия при проверке физической подготовленности ни разу не подтянется ( $k = 0$ ), то получит абсолютно адекватную нулевую балльную оценку ( $N = 0$ ). Однако если этот космонавт придет выполнять это же нормативное упражнение уже на следующий день, через неделю, месяц, год и т.д., и все также ни разу не подтянется, то формула начнет абсурдно начислять ему положительную балльную оценку за заведомо невыполненное упражнение (для 66-летнего космонавта, например, такая неправомерная расчетная оценка составит 0,2 балла).

Складывается мнение, что указанная выше верхняя возрастная граница работоспособности усовершенствованной методики оценки физической подготовленности космонавтов – 60–65 лет, пусть косвенно, только в плане выполнения нормативов ФПК, в среднестатистическом, а не в индивидуальном порядке, но все же обозначает и предельный возраст профессиональной деятельности космонавтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Физиология человека / Под общей ред. В.И. Тхоревского. – М.: Физкультура, образование и наука, 2001.
- [2] Валеология / В.Н. Черемисинов. – М.: Физическая культура, 2005.
- [3] Назин В.Г. Уровни физической подготовленности космонавтов различных категорий на различных этапах подготовки к полету // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(3). – 2012. – С. 107–113.



# ДИСКУССИИ

## DISCUSSIONS

УДК 629.788

### ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТОВ ПЛАНЕТНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ И СТРАТЕГИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ЭКСПАНСИИ

И.А. Соболев

Канд. тех. наук И.А. Соболев (ООО «НПП «Даурия»)

В статье представлен краткий анализ основных проблем и недостатков проектов пилотируемых полетов к Марсу, предлагаемых в настоящее время частными компаниями. Показана проблематичность их реализации как с технической, так и с организационно-финансовой стороны, приводящая к выводу о преждевременности постановки задачи пилотируемой марсианской экспедиции в современных социально-экономических условиях. На основе подхода к развитию космонавтики, предполагающего увязку космических программ в единую стратегию, исходя из достижения поставленных перед всей космонавтикой фундаментальных целей, а также осуществления этого развития в соответствии с принципом «от простого – к сложному», показана рациональная последовательность этапов космической экспансии ближней перспективы и место марсианской экспедиции среди них.

**Ключевые слова:** Марс, Луна, межпланетные полеты, напланетные базы, частная космонавтика, космическая экспансия.

#### **Problems of Planet Expedition Projects and the Strategy of Expansion in Space. I.A. Sobolev**

The paper provides the brief analysis of main problems and shortcomings of manned Mars mission projects, offered at present by private companies. It shows the problematic character of their implementation from both the technological and financial-organizing points of view, leading to the conclusion that this goal is precocious under current socio-economical conditions. Rational sequence of expansion steps in space in the near future and the place of the Martian mission are considered on basis of the approach which presumes combining manned space programs into a single strategy proceeding from achieving fundamental goals of manned space exploration and implementing its development according to a “simple-to-complex” principle.

**Keywords:** Mars, Moon, interplanetary flights, planet bases, private space manned exploration, expansion in space.

Начало XXI века характеризуется новым всплеском интереса к тематике осуществления межпланетных пилотируемых полетов, в качестве основной цели которых обычно рассматривается Марс. В отличие от прошлого века, сегодня планы марсианских экспедиций разрабатываются не только государственными агентствами, но и частными компаниями, и даже отдельными энтузиастами. Из числа предлагаемых частных проектов наиболее известны проект «Mars One», предлагаемый Базом Ландорпом [1], «Inspiration Mars» Дениса Тито [2], «Mars Polar» Артема Гончарова [3], «Проект пилотируемой миссии по облету Венеры и Марса» Александра Хохлова.

Очевидно, что одной из основных причин возникшего частного интереса к данной тематике является продолжающаяся на протяжении многих десятилетий стагнация государственных и межгосударственных планетных пилотируемых

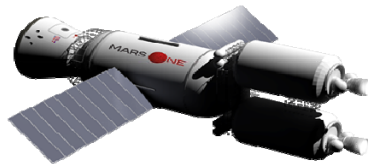
программ, которые были либо закрыты, либо осуществляются весьма медленными темпами. Кроме того, бытует мнение, что высокая стоимость программ, анонсируемых космическими агентствами, якобы существенно завышена, потому «разгосударствление» часто видится как магистральный путь снижения затрат и повышения вероятности реализации.

В силу этого основными принципами реализации, заложенными практически во все частные проекты, являются:

1. Использование существующих в настоящий момент либо ожидаемых в ближайшее время материально-технической базы и средств космического полета.
2. Использование доступных, отработанных технологий.
3. Осуществление подготовки проекта за относительно короткие сроки.
4. Более низкая заявленная стоимость.
5. Существенная опора на частные инвестиции.

Указанный подход неизбежно влечет за собой выбор как схемных, так и конструктивных решений, определяющих состав и характеристики экспедиционного комплекса. При этом реализуемый облик, как правило, далек от рационального, более того, детальный анализ принятых решений зачастую приводит к выводам о сомнительной реализуемости большинства таких проектов в предлагаемом виде и даже о нежелательности их реализации.

Рассмотрим основные причины, побуждающие к подобным выводам.



Экспедиционный комплекс проекта Mars One [1]

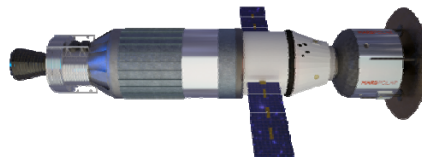
1. Ни один из предлагаемых проектов не предполагает наличие долгосрочной стратегии дальнейшей космической экспансии и значимых для человечества целей ее реализации, более того – зачастую даже цель самой экспедиции формулируется весьма невнятно, а полет к Марсу рассматривается как самоцель. Основные побудительные мотивы сводятся к формулировкам типа «обеспечить первенство США на Марсе» (Зубрин), «оживить образовательный интерес к науке, технике, инженерному делу и математике» (Тито), либо к пожеланиям «дать понять нашим поколениям, что в этом мире возможно все» (Лансдорп).

Одним из наиболее неприятных следствий этого обстоятельства является опасность потери правительственного и общественного интереса к продолжению программы не только в случае катастрофы или провала, но и даже в случае ее успешной реализации. За примерами далеко ходить не надо – в XIX веке провал арктической экспедиции Джона Франклина привел к потере со стороны адмиралтейства Великобритании всякого интереса к полярным исследованиям на последующие 30 лет, в XX веке программа «Аполлон», не подкрепленная дальнейшей стратегией освоения Луны, также не получила своего дальнейшего продолжения.

Помимо этого, при отсутствии четкой программы деятельности человека на планетах Солнечной системы, мотивация, при которой достижение планеты и высадка на нее фактически является самоцелью, неизбежно будет носить кратковременный характер. Таким образом, перспективы дальнейшего развития как самих предлагаемых проектов, так и всего направления в целом, ставятся под сомнение.



Экспедиционный комплекс проекта Inspiration Mars [2]



Экспедиционный комплекс проекта Mars Polar [3]

2. В настоящее время, несмотря на длительные исследования автоматическими средствами, однозначного доказательства как наличия, так и отсутствия жизни на Марсе не предоставлено. Тем не менее, вероятность ее присутствия в простейших формах существует, особенно в свете подтверждения в сентябре 2015 года по данным аппарата MRO существования на поверхности сезонных потоков жидкой воды [4]. И в этом случае сама высадка становится непредсказуемо опасной вплоть до момента более глубокого понимания природы этой жизни и ее возможного взаимодействия с человеком. Как несложно заметить, снова возникает вопрос об отсутствии в настоящий момент детальной стратегии исследования Марса, в которой автоматические и пилотируемые миссии были бы завязаны в единую программу с оптимизацией распределения решаемых задач и последовательности их выполнения, а также рассмотрением различных вариантов гибкого реагирования в случае получения тех или иных результатов.

3. Во всех предлагаемых к рассмотрению проектах способы использования природных ресурсов для жизнеобеспечения марсианской базы, развития производства, получения компонентов ракетного топлива и прочих нужд либо не показаны вовсе, либо описаны в самых общих чертах, не дающих представления об их влиянии на конструктивный облик марсианской базы и ее массово-габаритные характеристики. Еще больше вопросов вызывает возможность реализации позиционируемых способов при использовании предлагаемых элементов транспортной и жилой инфраструктуры.

4. Несмотря на серьезный прогресс в области создания систем жизнеобеспечения замкнутого типа, особенно в ходе моделирования, осуществленного в международном центре замкнутых экологических систем Института биофизики Сибирского отделения Российской академии наук в ходе работ на экспериментальном комплексе «БИОС-3», конструктивно-технологический задел, позволяющий создать систему с длительной продолжительностью эксплуатации во внеземных условиях, на данный момент отсутствует. Для его наработки потребуются проведение серьезных и столь же длительных экспериментов как на Земле, так и в ходе полетов на низкую околоземную орбиту. Кроме того, максимально достигнутая замкнутость по пищевым продуктам, по данным ИБ СО РАН, пока не превышает 50 % [5].



Экспедиционный комплекс проекта пилотируемой миссии по облету Венеры и Марса («Арго»)

5. Во всех предлагаемых проектах уделяется недостаточное внимание физиологическим проблемам – в частности, таким, как защита от галактического космического излучения и солнечной радиации, профилактика длительного воздействия невесомости, жизнь в условиях пониженной гравитации и существенно более слабого магнитного поля [6], [7]. Практически полностью игнорируется вопрос влияния на здоровье марсианской пыли в случае попадания ее в организм человека при дыхании.

6. В качестве пилотируемого корабля в проектах «Inspiration Mars», «MarsOne» и «Mars Polar» предполагается использовать корабль «SpaceX Dragon», существующие варианты которого (включая пилотируемую версию «Dragon V2») создаются для обеспечения полетов на низкую околоземную орбиту. В 2014 году была предложена беспилотная исследовательская миссия «Red Dragon», предполагающая взятие проб марсианского грунта и доставку их на Землю. Однако инженерно-обоснованного проекта пилотируемого варианта «SpaceX Dragon», адаптированного для длительных многолетних межпланетных экспедиций, пока не представлено. Первый полет наиболее грузоподъемной из ожидаемых в ближайшее время ракеты-носителя «Falcon Heavy» ожидается в мае 2016 года, однако для того, чтобы быть допущенной к реализации пилотируемых миссий, ей предстоит пройти весьма долгий цикл испытаний. Кроме того, даже ее грузоподъемности, как показывают конструкторские проработки, недостаточно для создания крупного межпланетного экспедиционного комплекса.

Таблица 1

Частные планетные миссии

	<b>Mars One</b>	<b>Mars Polar</b>	<b>Inspiration Mars</b>	<b>«Арго»</b>
<b>Тип миссии</b>	Посадочная, безвозвратная	Посадочная, отложенный возврат	Пролетная	Пролетная
<b>Базовый тип КА</b>	Dragon	Dragon	Orion / Dragon	«Союз»
<b>Базовый тип РН</b>	Falcon 9	Falcon Heavy	SLS/ Falcon Heavy	«Союз», «Протон», «Ангара-А5»
<b>Продолжительность перелета</b>	210 суток	210 суток	582 дня	580 дней
<b>Продолжительность пребывания на Марсе</b>	бессрочно	10 лет (?)	–	–
<b>Гермообъем, м<sup>3</sup>/чел</b>	23/250*	119/1200	8,5	30..60**
<b>Использование местных ресурсов</b>	частичное	частичное	–	–
<b>Количество участников</b>	4 в каждом полете	4	2	2
<b>Обеспечение радиационной защиты:</b>				
– при перелете	Конструкция корабля + убежище	–	Конструкция корабля, выбор даты старта	Компоновка, запасы воды
– на поверхности	Заглубление, ограничение ВКД до 3 ч/сут	Заглубление	–	–

\* экспедиционный комплекс / напланетная база

\*\* в начале и в конце полета с учетом расходования запасов

7. Реализация всех заявленных проектов осуществляется фактически на грани возможностей современных технических средств, проектировавшихся и создававшихся для околоземной эксплуатации и надежность которых в длительных космических полетах не подтверждена. В силу этого обстоятельства все проекты становятся весьма уязвимыми с точки зрения вероятности возникновения аварийной ситуации с критическими последствиями. Особенно это касается периода пребывания на поверхности планеты, поскольку в отличие от опыта эксплуатации техники длительных космических полетов (пусть и в условиях низкой околоземной орбиты) опытом создания и эксплуатации напланетных баз человечество не обладает. Существенно и то, что использование материально-технической базы «сегодняшнего дня» не оставляет возможности для дальнейшего развития создаваемых средств, таким образом, уже следующий шаг потребует создания, по сути, нового корабля. В качестве примера можно вспомнить, что разовые «туристические» полеты к Луне после некоторой доработки можно осуществлять и на кораблях «Союз», но потенциал развития подобной программы, очевидно, невелик. Точно так же и использование имеющихся в наличии космических средств при организации марсианской экспедиции даст возможность, в лучшем случае, реализовать единичные перелеты.

8. Недостаточно рассматриваются вопросы управления функционированием марсианской базы и возникающие в связи с ними проблемы подготовки экипажа, который, в отличие от экипажа околоземных станций, будет вынужден значительную часть решений принимать самостоятельно ввиду большой задержки сигнала и даже периодического полного блокирования связи в периоды покрытия Земли Солнцем.

9. Необоснованно занижены размеры финансирования. В частности, Тито оценивает стоимость своей миссии в 3 млрд долл. [2], Лансдорп – первую миссию в 6 млрд долл., последующие – в 4 млрд [1], Гончаров – вообще не озвучивает размер стоимости. В то же самое время, для сравнения, проект «Mars Direct» Зубрина оценивается в 30–50 млрд долл. [8], проект РКК «Энергия» 2000 года – в 30 млрд долл. (2011 г.), проект ГКНПЦ им. М.В. Хруничева – 4.8 трлн руб. (2011 г.) [9]. Затраты на эти и другие основные уже осуществленные космические проекты, по оценке канадского научного обозревателя Клода Лефлера [10], приведены в таблице 2. Столь высокая разница заставляет задуматься, как минимум, о недостаточном внимании к рассматриваемому вопросу, как максимум – о сознательном введении в заблуждение потенциальных инвесторов.

10. Несмотря на относительно низкую величину заявленных расходов, обеспечение даже такого финансирования за счет частных средств весьма сомнительно. Все проекты в предлагаемом виде не будут иметь никакого явно выраженного бизнес-интереса, а для инвестиций с прицелом «на будущее», и просто из меценатских побуждений, требуемая сумма слишком велика. Точно так же требуемые сборы слишком велики и для привлечения общественных средств через Интернет методом «crowd funding».

11. Психологические и социальные проблемы. В проекте Тито экипаж состоит из двух человек, которым предстоит провести в замкнутом пространстве и в изоляции от общества 500 дней. В «Mars Polar» четыре человека должны прожить на Марсе 10 лет. Работа столь малого экипажа на протяжении столь длительного срока при нахождении в замкнутом пространстве и социальной изоляции является весьма сложной в психологическом плане. С этими трудностями уже неоднократно сталкивались в земных условиях, но в условиях космических они могут представлять серьезнейшую опасность. Помимо этого, при малом экипаже напланет-

ной базы снижается возможность оказания взаимной помощи в случае возникновения такой необходимости, а также существенно увеличиваются требования к взаимозаменяемости членов экипажа. Потому минимальная численность марсианской экспедиции в настоящее время оценивается в 6 человек [11].

Таблица 2

Сравнительная стоимость космических программ и миссий

Миссия	Заявленная стоимость
Частные проекты	
Mars One	\$ 6 млрд первая миссия, \$ 4 млрд последующие
Inspiration Mars	\$ 3 млрд
Mars Polar	стоимость и способы финансирования не названы
Mars Direct	\$ 30 млрд
Проекты космических агентств	
ESA + Россия (2002)	\$ 20 млрд
РКК «Энергия» (2000)	\$ 12...15 млрд (без высадки), в пересчете на 2011 г. – \$ 30 млрд
NASA (2007)	150–160 млрд долларов за 10 лет подготовки и осуществления проекта
ГКНПЦ им. М.В. Хруничева (2011)	4.8 трлн руб. (январь 2011) за период 2020–2050 гг.
Осуществленные программы	
Программа Apollo	\$ 109 млрд
Программа Mercury (1959–1963)	\$ 1.6 млрд
Программа Gemini (1962–1967)	\$ 7.3 млрд
Программа SkyLab (1966–1974)	\$ 10 млрд
Программа EPAS (1975)	\$ 1 млрд
Программа Space Shuttle (1972–2011)	\$ 198.6 млрд
Закрытые программы	
Программа ISS (1984–2015)	\$ 150 млрд
Программа Space Exploration Initiative (1989)	\$ 500 млрд
Программа Vision for Space Exploration (2004)	\$ 334 млрд

Все вышесказанное говорит о том, что успешная реализуемость на практике предлагаемых частных марсианских проектов представляется весьма сомнительной.

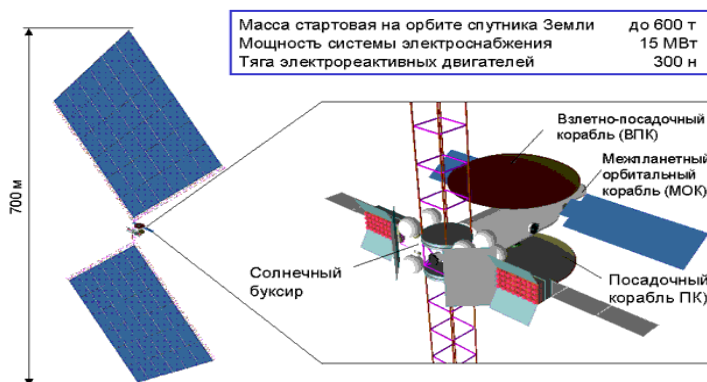
В отличие от многочисленных частных проектов, государственные проекты пилотируемых планетных миссий, как уже отмечалось, находятся в состоянии стагнации. В России вопрос о подготовке пилотируемого марсианского полета к Марсу (в составе международной кооперации) на протяжении последних лет поднимался и затухал уже несколько раз, однако вопрос всегда стоял именно о «пионерской» высадке, но не о стратегии исследования и освоения. Последней и наиболее проработанной из предлагавшихся является концепция марсианского экспедиционного комплекса на основе электроракетной двигательной установки, предложенная РКК «Энергия» [12] и детально описанная в монографии [6]. Существует также альтернативный облик марсианского экспедиционного комплекса, в 2007–2010 гг. предлагавшийся ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, однако открытая информация по его концепции доступна только в научно-популярных изданиях [13]. Сравнительные характеристики обоих проектов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительные характеристики марсианских экспедиционных комплексов (Россия)

Проект	РКК «Энергия»	ГКНПЦ им. М.В. Хруничева
Тип миссии	Посадочная	Посадочная
Масса комплекса на околоземной орбите	до 600 т	от 400 до 800 т
Корабль возвращения на Землю	ПККНП / «Союз»	ПККНП
Тип двигательной установки	Электроракетная	Ядерная
Длительность экспедиции	до 800 суток	от 550 до 1000 суток
Продолжительность пребывания на Марсе	до 30 суток	от 30 до 514 суток
Гермообъем, м <sup>3</sup> /чел	68	83
Использование местных ресурсов	–	при длительном пребывании – добыча воды
Количество участников	4–6	6
Радиационная защита	Компоненты топлива	Варианты – алюминий, вода, полиэтилен
Создание искусственной тяжести	Центрифуга короткого радиуса	Рассматривался вариант закрутки всего комплекса

## ОБЩИЙ ВИД МЕЖПЛАНЕТНОГО ЭКСПЕДИЦИОННОГО КОМПЛЕКСА (МЭК)



Экспедиционный комплекс на базе электроракетной двигательной установки [12]

Оба названных выше проекта, подобно рассмотренным выше частным, предполагают, в основном, использование существующих технологий, исключение составляет только ядерная энергодвигательная установка. Несмотря на существенно большую конструктивную обоснованность, они также могут рассматриваться лишь как средство для осуществления единичных миссий, в крайнем случае – ограниченного их числа, но не как средство для регулярных межпланетных полетов. Поэтому, даже в случае их успешного осуществления в относительно ближайшем будущем, опасность последующей потери дальнейшего интереса к осуществлению пилотируемых полетов к Марсу не устраняется.

Напрашивается вывод о том, что в силу уже упомянутых причин и, в первую очередь, отсутствия четко сформулированной цели и осязаемых результатов



Экспедиционный комплекс на базе ядерной двигательной установки [13]

в сочетании с весьма высокими потенциальными финансовыми затратами, государственные структуры опасаются разворачивать практические работы по проекту пилотируемой марсианской экспедиции. И опасения эти вполне обоснованы.

Таким образом, для вывода планетных программ из состояния стагнации, вызванного в значительной степени именно отсутствием внятного целеполагания, государству, очевидно, следует применять подход, при котором марсианская экспедиция должна рассматриваться не сама по себе, а как один из этапов развития космонавтики в целом. Этот этап и его цели, находясь в логической взаимосвязи с последующими этапами и целями более высокого уровня, являются подчиненными по отношению к ним, и в то же время в той или иной степени подчиняют себе предшествующие этапы и результаты, достигнутые в ходе их осуществления. В этом случае марсианская экспедиция не только базируется на результатах предшествующих ей более простых программ, но и сама, в свою очередь, является базой для организации последующих, более сложных.

При этом программа развития космонавтики в целом должна формироваться исходя из достижения неких основных фундаментально значимых для земной цивилизации целей, которые могут быть решены только космическими средствами. В укрупненной постановке таковыми целями являются преодоление пространственно-временной ограниченности планеты Земля и обеспечение возможности использования бесконечных минеральных, энергетических и пространственных ресурсов космического пространства.

При таком подходе, осуществляемом в соответствии с диалектическим принципом развития «от простого к сложному», следующим качественно новым рубежом проникновения человечества в космос безальтернативно становится Луна. Этому способствует ее близость к Земле, обуславливающая относительно малые энергозатраты на вывод полезных нагрузок, малую продолжительность перелета, относительно широкие возможности экстренной эвакуации или помощи, малую задержку радиосигнала и другие обстоятельства. Кроме того, Луна, как ближайшее небесное тело, становится первой ресурсно-промышленной базой индустриальной космической инфраструктуры. В силу этого программа освоения Луны уже сегодня имеет не только высокий потенциал дальнейшего развития как очередной этап развития космонавтики и подготовительный этап для последующих, более сложных программ, но и самостоятельную ценность для решения задач в интересах народного хозяйства Земли.





#### Основные цели и задачи космонавтики

В последние годы было предложено несколько вариантов программ исследования и освоения Луны, информация о которых доступна в открытых источниках. Обобщая их, в рамках этого материала можно предложить следующие этапы стратегического развития космонавтики в ближней перспективе.

*Этап 1.* Комплексные исследования Луны с помощью автоматических станций. Именно к этому этапу можно отнести миссии «Луна-25», «Луна-26», «Луна-27» и «Луна-28», присутствующие в проекте Федеральной космической программы на 2016–2025 гг. На этом этапе осуществляется разведка ресурсов с помощью автоматических орбитальных и посадочных средств, по итогам которой осуществляется выбор районов, интересных с точки зрения хозяйственного освоения Луны, и одновременно с этим – выработка перспективного плана работ. Этап считается завершённым после окончательного выбора мест развертывания пилотируемых лунных баз и формирования четкого понимания дальнейшей перспективы.

*Этап 2.* Создание пилотируемой обитаемой базы (баз) в интересах более детального продолжения фундаментальных исследований Луны, а также отработки техники и ключевых технологий, необходимых на следующих этапах.

Согласно заявлению главы госкорпорации «Роскосмос» Игоря Комарова, пилотируемая лунная программа в настоящее время находится на стадии формирования [14]. Кроме того, по его же словам, – «Луна – это тот полигон, который позволит отработать технологии, позволяющие потом работать на других небесных телах и на их орбитах. Нам нужно научиться минимум год обеспечивать нормальные условия для жизни космонавтов и поддерживать в рабочем состоянии аппаратуру. Без этого Марса не будет» [14]. В то же время предполагаемый срок первой пилотируемой экспедиции выходит за пределы текущей Федеральной космической программы, а о какой-либо принятой стратегии освоения космического пространства пока официально объявлено не было.

На этом этапе на основе технических средств ближайшей перспективы (ракет-носителей «Ангара-А5В», возможно – «Ангара-А7», разгонных блоков КВТК и КВРБ, пилотируемого корабля ПККНП) осуществляются первичные полеты к Луне с посадкой на поверхность и детальная разведка выбранных районов. В основу технического облика лунной базы могут быть положены концепции и проработки, предлагавшиеся в 2000–2010-х гг. РКК «Энергия» [15] и ГКНПЦ им. М.В. Хруничева [13] в осуществлявшихся по заказу ЦНИИмаш исследовательских работах. Основными чертами лунной базы будут являться многомодульность, сменный экипаж, постоянное наращивание структуры, использование реголита в качестве радиационной защиты, поэтапное расширение использования местных ресурсов, максимальное использование автоматических робототехнических средств и их применение в ходе развертывания базы до прилета первой пилотируемой экспедиции.

Численность экипажа базы целесообразно выбирать не менее 4 человек из соображений как психологических, так и общей безопасности – двое осуществляют внекорабельную деятельность (ВКД), двое остаются на базе в готовности при необходимости оказать помощь [6]. Продолжительность смены в значительной степени определяется типом применяемой системы энергоснабжения (СЭС). Если в составе базы используется СЭС на основе фотоэлектронных преобразователей (а именно этот вариант в силу своей обработанности и надежности наиболее предпочтителен для первых проектов лунных баз, не требующих значительной электрической мощности [16]), то продолжительность смены будет определяться продолжительностью лунного дня в точке расположения базы. В случае расположения базы в околополярных областях «вечного света» или при использовании СЭС на основе атомных реакторов, проблема энергоснабжения в условиях лунной ночи снимается, в этом случае, по всей видимости, продолжительность смены может быть увеличена до значения, характерного для пилотируемых орбитальных станций – 180 суток.

Этап считается завершенным после того, как будет достигнуто функционирование базы (баз) в запланированном режиме, отработаны основные технологии, обеспечивающие это функционирование (посадка лунных посадочных кораблей на выделенную площадку, радиационная и тепловая защита обитаемых модулей, СЭС с элементами, расположенными на поверхности небесного тела, передача на Землю больших объемов информации, возможность экстренной эвакуации экипажа и т.д.), завершена техническая и технологическая подготовка к следующему этапу.

Продолжительность этого этапа зависит от многих факторов, поэтому в настоящий момент можно говорить только о предварительных оценках. Согласно [15], создание необходимой транспортной инфраструктуры и осуществление первых пилотируемых экспедиций может быть осуществлено за 15 лет, а сама лунная база в минимальной комплектации развернута за 3 года.

*Этап 3. Производство с использованием местных ресурсов.* На этом этапе в район расположения базы доставляются вначале экспериментальные (демонстраторы), а затем и промышленные устройства для переработки реголита. В первую очередь надлежит освоить технологию производства компонентов ракетного топлива (как минимум, кислорода) и расходных материалов системы жизнеобеспечения (СЖО) – кислорода и воды. Следующим шагом является освоение производства конструкционных материалов – в первую очередь алюминия и кремния, после освоения которого осуществляется переход к производству панелей фотоэлектронных преобразователей (ФЭП). Производимые ФЭП будут являться основой создания лунной солнечной энергостанции (ЛСЭС) вначале для нужд базы, а в перспективе – для отработки технологии передачи энергии на Землю.

Здесь следует отметить, что именно энергетика, по всей видимости, станет основным и наиболее мощным сектором лунного производства, и по мере своего развития будет все более и более выделяться в отдельную самостоятельную программу, однако ее описание и анализ выходят за рамки этого материала.

В ходе всех трех указанных выше этапов обрабатываются основные технические элементы и технологии, необходимые для последующего использования при межпланетных полетах. В первую очередь, к ним относятся: замкнутая СЖО, надувные конструкции, техника земляных работ в условиях пониженной гравитации, техника аддитивной сборки в условиях космического пространства, напланетные химические реакторы, возможно – установки по созданию искусственной гравитации и магнитосферы. Очень интересным является применение установок аддитивной сборки – в случае успеха таких экспериментов человечество получает технологию, позволяющую существенно ускорить процесс развертывания напланетной инфраструктуры.

Отдельный вопрос касается космических ядерных двигательных энергоустановок, которые затруднительно обрабатывать в земных условиях – на начальном этапе их польза для лунной базы представляется сомнительной ввиду относительно небольшой электрической мощности, потребляемой базой, и возможности ее выработки традиционными средствами. Поэтому речь пойдет о целевом использовании поверхности Луны в качестве полигона для испытания техники, которую предполагается использовать на последующих этапах.

Создание технологий и полный перевод лунной базы на обеспечение выработанным из местных ресурсов кислородом и водой, по предварительным оценкам, может быть обеспечено через 5 лет после завершения второго этапа, производство кислорода – еще через 5 лет. Создание демонстрационной лунной электростанции, по оценкам [17], потребует 10–15 лет. Разворачивание производства металлов и панелей ФЭП может быть осуществлено через 30–40 лет, а создание глобальной системы энергоснабжения Земли из космоса – через 50–70 лет после начала программы [15].

*Этап 4.* Организация постоянно обитаемой колонии на поверхности Марса. К этому этапу следует переходить после того, как в ходе предыдущих трех будут достигнуты следующие цели:

- а) отработаны все основные конструктивные элементы космической техники длительных полетов и долговременных напланетных баз;
- б) отработаны технологии жизнеобеспечения и защиты человека в условиях долговременного пребывания за пределами низкой околоземной орбиты;
- в) создана самостоятельная космическая инфраструктура, имеющая и развивающая связи с земной народнохозяйственной деятельностью, дальнейшее развитие которой не зависит от успеха отдельной конкретной программы (в данном случае – марсианской);
- г) с помощью автоматических средств собрана информация, дающая возможность с высокой степенью вероятности прогнозировать уровень безопасности пребывания в марсианской среде для участников марсианской экспедиции.

Исходя из приведенных выше оценок, начало этого этапа можно ожидать через 20–30 лет после начала второго этапа.

Основными чертами марсианской базы при этом должны стать:

- а) максимально возможное использование местных ресурсов, в перспективе – вплоть до полного самообеспечения;
- б) регулярная информационная связь с Землей;

в) регулярные транспортные полеты между Землей и Марсом (в идеале – каждое стартовое окно, что позволит сократить время вахты каждого экипажа марсианской базы до двух лет, снизить массу транспортируемых единичным кораблем расходных материалов, быстрее нарабатывать практику межпланетных полетов, в то же время реальная частота пусков может быть ограничена экономическими факторами);

г) возможность регулярной смены экипажа (по крайней мере – частичной);

д) взаимодействие человека и робототехнических средств в широком спектре решаемых задач;

е) использование ядерных источников энергии ввиду больших энергетических потребностей базы и ограниченных возможностей фотоэлектронных преобразователей, размещенных на марсианской поверхности;

ж) потенциальная возможность развития до уровня полностью автономного поселения.

Нетрудно заметить, что такой качественный уровень принципиально недостижим с использованием космических средств, предлагаемых в названных выше частных проектах.

*Этап 5.* Расширение лунной народнохозяйственной инфраструктуры и ее роли в народном хозяйстве Земли, развитие марсианской инфраструктуры и увеличение ее роли в обеспечении марсианской колонии (которая на этом этапе должна стать материально максимально самодостаточной), выявление необходимости и возможности развития космической экспансии на другие небесные тела. Говорить об этом этапе сейчас достаточно сложно, поскольку его осуществление возможно только с использованием технологий будущего, большинство из которых сейчас находятся в самом начале становления.

## Выводы

1. Планетные миссии, предлагаемые частными компаниями, в существующем виде не обладают потенциалом для реализации и, тем более, для дальнейшего развития. Проекты такого масштаба экономически и технически могут реализовываться только на государственном уровне, с привлечением потенциала многих отраслей хозяйства.

2. Успешная реализация пилотируемых планетных миссий, при которой сохраняется перспектива дальнейшего устойчивого развития и расширения планетных программ и устраняется опасность потери общественного, политического и экономического интереса к их продолжению, возможна только в рамках более общего стратегического плана развития космонавтики.

3. При таком подходе пилотируемые полеты к Марсу неизбежно отодвигаются на более поздний срок, на первых этапах уступая место более простым в осуществлении, но более результативным в практическом смысле миссиям к Луне, чтобы быть реализованными уже на более отработанной и совершенной технической и технологической основе.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Официальный сайт проекта MarsOne. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mars-one.com/>.

[2] Официальный сайт проекта Inspiration Mars. [Электронный ресурс]. URL: <http://inspirationmars.org/>.

[3] Официальный сайт проекта Mars Polar. [Электронный ресурс]. URL: <http://marspolar.space/>.

- [4] Официальный сайт NASA. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-evidence-that-liquid-water-flows-on-today-s-mars>
- [5] Официальный сайт Института биофизики СО РАН. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ibp.ru/labs/mc.php>.
- [6] Пилотируемая экспедиция на Марс / Под ред. А.С. Коротеева. – М.: Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского, 2006. – 320 с.
- [7] А.И. Григорьев, А.Н. Потапов. Пилотируемая экспедиция на Марс: медико-биологические проблемы // Земля и Вселенная. – № 6. – 1999.
- [8] Официальный сайт Марсианского общества (The Mars Society). [Электронный ресурс]. <http://www.marssociety.org/home/about/faq>.
- [9] Официальный сайт ГКНПЦ им.М.В. Хруничева. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.khrunichev.com/main.php>.
- [10] Официальный сайт Российской Академии наук. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=2aa2281d-16af-43a1-a1b2-a7a61e642ed0>
- [11] Психологические аспекты подготовки и осуществления пилотируемой экспедиции на Марс / Степанова С.И., Мясников В.И., Козеренко О.П., Сальницкий В.П., Нечев А.П. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2001. – Т. 35, № 2. – С. 54–64.
- [12] Официальный сайт РКК «Энергия». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energia.ru/ru/history/mars/condition.html>.
- [13] Александров С.В. Луна, Марс и далее – предлагает центр им. Хруничева // Техника-Молодежи. – № 4. – 2011. – С. 30–35.
- [14] Сайт РИА «Новости» [Электронный ресурс]. URL: <http://ria.ru/space/20151228/1350539455.html>.
- [15] Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Под науч. ред. В.П. Легостаева и В.А. Лопоты. – М.: РКК «Энергия», 2011. – 584 с.
- [16] Бескровная И.А., Евдокимов Р.А., Кинаш П.М., Ковалев И.И., Тугаенко В.Ю. Сравнительная оценка технико-экономической эффективности использования солнечных и ядерных энергетических установок в составе лунной базы // Космическая техника и технологии. – № 4 (7). – 2014. – С. 76–88.
- [17] Экологически чистая мировая электроэнергетика и космонавтика в XXI веке / Ю.М. Еськов. – М., 2004. – 168 с.

# ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

## HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 61:629.78

### ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ В.Н. Алексеев, Р.Р. Каспранский

Канд. мед. наук В.Н. Алексеев; канд. мед. наук Р.Р. Каспранский  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья, в историческом аспекте за годы пилотируемой космонавтики, посвящена рассмотрению совершенствования и разработке новых комплексных методов вестибулярной подготовки космонавтов с использованием технических средств в сочетании с приемом адаптогена жидкого экстракта элеутерококка как средства, повышающего неспецифическую сопротивляемость организма к неблагоприятным воздействиям разных факторов внешней среды. Комплексные методы позволили снизить требования к вестибулярному отбору космонавтов и расширить возможность участия высококвалифицированных специалистов с пониженной вестибулярной устойчивостью в космических программах.

**Ключевые слова:** вестибулярная подготовка, космическая болезнь движения, кумуляция ускорений Кориолиса, активные и пассивные тренировки, адаптогены, летающая лаборатория, кратковременная невесомость, автономный динамический стенд.

#### **Historical Aspects of the Development of Integrated Methods for Vestibular Training of Cosmonauts. V.N. Alekseev, R.R. Kaspransky**

The paper deals with the historical aspects of improving and developing the new integrated methods for vestibular training of cosmonauts using technical facilities in conjunction with taking an adaptogen of Eleuterococcus liquid extract as a medicine, which enhances nonspecific resistance to unfavorable effects of various environment factors. Integrated methods allowed to lower requirements for the vestibular selection of cosmonauts and provide an opportunity to participate in space exploration programs for highly qualified specialists with a reduced vestibular tolerance.

**Keywords:** vestibular training, space motion sickness, cumulation of Coriolis accelerations, active and passive training, adaptogenes, flying laboratory, short-term weightlessness, autonomous dynamic stand.

Вестибулярная подготовка – комплекс мероприятий, направленных на повышение устойчивости вестибулярного анализатора в составе функциональной системы анализаторов пространственной ориентировки в интересах профилактики космической болезни движения (КБД).

Проблема КБД проявилась при первых пилотируемых полетах, когда у некоторых космонавтов в первые часы и сутки полета возникали в разной степени выраженности вестибуловегетативные реакции (ВВР). По данным разных источников проявления КБД возникали практически у каждого третьего космонавта [1, 3, 4, 9].

На протяжении многих лет наиболее эффективной профилактикой этих расстройств считались строгий отбор лиц с высокой вестибулярной устойчивостью (ВУ) и специальные вестибулярные тренировки [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Комплексный характер был присущ системе вестибулярной подготовки с самого начала ее проведения [6] (с января 1962 года), которая включала:

- 1) вестибулярные исследования:
  - исследование функции равновесия при воздействии адекватных раздражений;
  - вращение с последующим балансированием;
  - балансирование при воздействии оптокинетических раздражений;
  - исследование устойчивости к кумулятивному воздействию вестибулярных раздражений;
  - качания на качелях Хилова;
  - кумуляция ускорений Кориолиса – прерывистая кумуляция ускорений Кориолиса – ПКУК [2] и непрерывная кумуляция ускорений Кориолиса – НКУК [8].
- 2) вестибулярные тренировки:
  - активные тренировки;
  - пассивные тренировки.

На рисунках 1–4 представлены тренажеры для вестибулярной подготовки космонавтов, используемые в разные годы.

Естественно, что комплексность основывалась на существовавших в то время представлениях о причинах возникновения укачивания в космическом полете и в первую очередь включала воздействия на афферентные системы, контролирующие пространственное положение человека – оптокинетические раздражения, угловые ускорения, балансирование на неустойчивой опоре [4]. Этот комплекс воздействий осуществлялся последовательно друг за другом и преимущественно был направлен на тренировку равновесия в условиях раздражения вестибулярного и зрительного анализаторов без достижения симптомов укачивания. Также проводились тренировки с использованием линейных ускорений на качелях Хилова [12], прерывистой кумуляции ускорений Кориолиса – проба ПКУК [2], а с 1969 года добавилась методика непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса – проба НКУК [8], которые проводились в разные дни в связи с тем, что сопровождалась развитием симптомов укачивания.



Рис. 1. Четырехштанговые качели Хилова



Рис. 2. Оптокинетический барабан

Активные тренировки проводились в часы физической подготовки на специализированных тренажерах (рис. 5, 6).

Тренировки проводились на всех этапах подготовки космонавтов, их количество распределялось равномерно по всем видам воздействий без учета индивидуальной переносимости каждой пробы и без учета времени старта. В результате

количество тренировок у каждого космонавта за период пребывания его в отряде (от момента отбора до космического полета) достигало нескольких сотен, а ВУ перед стартом не всегда сохранялась высокой, что не гарантировало от возможности проявления КБД в полете [6].

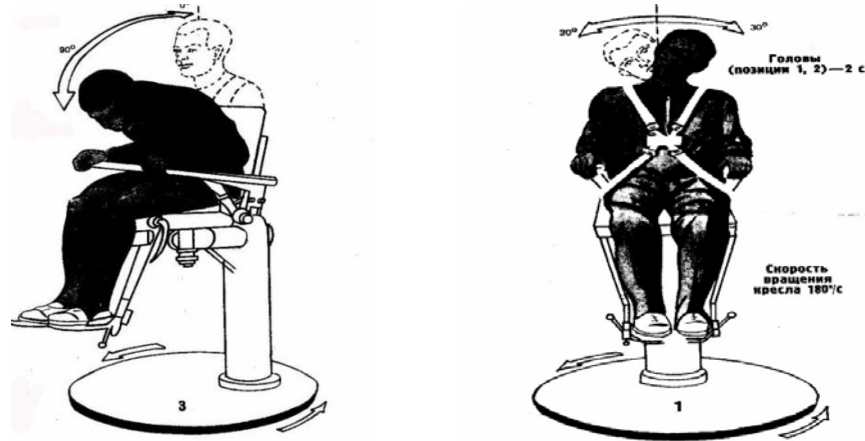


Рис. 3. Универсальное вращающееся и наклоняющееся кресло (УВНК-64)



Рис. 4. Электровращающееся кресло для вестибулярных исследований и тренировок

Наибольшее количество тренировок приходилось на первое десятилетие пилотируемой космонавтики, а с 1977 года, когда вестибулярная подготовка стала проводиться только в составе экипажа, их количество во много раз уменьшилось. С 1981 года по настоящее время общее количество тренировок менее 100 в год на всех космонавтов, находящихся на подготовке, при относительно равном количестве стартов (рис. 7).

Последовательно из системы вестибулярной подготовки были исключены тренировки равновесия и линейные ускорения, а с 1986 года по настоящее время при подготовке экипажей сохранили только нагрузочные пробы (пробы ПКУК и НКУК) как наиболее эффективные и информативные в практике вестибулярного отбора и подготовки космонавтов [13] (рис. 8).





Рис. 5. Рейнское колесо



Рис. 6. Активные тренировки на батуте

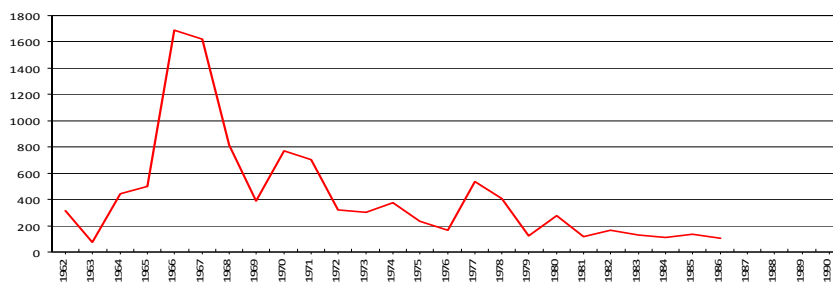


Рис. 7. Динамика количества вестибулярных тренировок по годам всех космонавтов, находящихся на подготовке

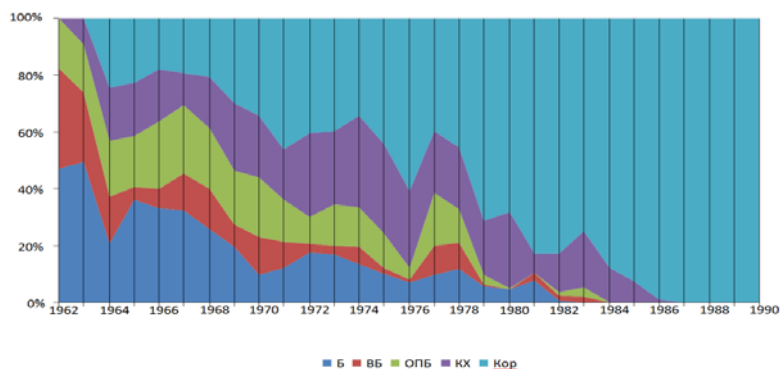


Рис. 8. Соотношение разных видов вестибулярных тренировок по годам (Б – баланс; ВБ – вращение с балансом; ОПБ – оптокинетический барабан; КХ – качели Хилова; Кор – кориолис)

Развитие комплексных методов вестибулярной подготовки предусматривало:

- включение в систему вестибулярной подготовки приема адаптогенов;
- сочетание вестибулярных тренировок и полетов на кратковременную невесомость на самолете-лаборатории;
- расширение спектра вестибулярных воздействий в одном тесте;
- сочетание преимуществ пассивных и активных вестибулярных тренировок в одном тесте.

Комплексный метод повышения ВУ, заключающийся в проведении пассивных вестибулярных тренировок на фоне предварительного приема адаптогена жидкого экстракта элеутерококка, был разработан и в 1975 году впервые апробирован при подготовке экипажа «Союз-18» [1]. Данный метод, показавший высокую эффективность, используется по настоящее время при подготовке членов экипажей основных экспедиций и экспедиций посещения, имеющих пониженный исходный уровень ВУ.

Одним из средств профилактики болезни движения является летающая лаборатория, позволяющая воспроизводить кратковременную невесомость при полете по параболе Кеплера. Однако выполнение таких полетов без предварительной наземной подготовки может привести к срыву компенсаторно-приспособительных механизмов у лиц с пониженной ВУ и закреплению отрицательного условного рефлекса, т.к. при развившемся укачивании в данных условиях до посадки самолета невозможно срочно прекратить воздействие

В связи с этим в 1983 году разработана «Единая система вестибулярной подготовки космонавтов в наземных условиях и на летающей лаборатории с использованием адаптогенов» для лиц с пониженной ВУ, закрепленная авторским свидетельством в 1991 году. В ней были определены оптимальные режимы воздействия, последовательность проведения тренировочных циклов, объем и место вестибулярной подготовки и полетов на кратковременную невесомость в общей системе медико-биологической подготовки.

После достижения хорошей переносимости наземных тренировок в сочетании с приемом жидкого экстракта элеутерококка проводился цикл тренировочных полетов по параболе Кеплера с последующим завершением вестибулярных тренировок пассивными и активными методами в предстартовом периоде с целью поддержания достигнутого уровня ВУ.

С этой же целью была разработана методика аperiodического воздействия вестибулярных раздражителей (АВВР), которая в отличие от тренировок методами ПКУК и НКУК, вырабатывавших устойчивость к определенной периодичности вестибулярных раздражений, позволяла достигнуть невосприимчивости ко всему комплексу укачивающих факторов за счет включения в контур вращения всех пар полукружных каналов – горизонтальных, сагиттальных и фронтальных (рис. 9).

Данная методика используется только для тренировок космонавтов на заключительном этапе их подготовки в составе экипажа после предварительного проведения цикла стандартных тестов по методам ПКУК и НКУК и хорошей их переносимости [5].

В 1989 году на базе Центра подготовки космонавтов в плане дальнейшего совершенствования вестибулярной подготовки космонавтов разработан автономный динамический стенд «Волчок», позволяющий самостоятельно дозировать вестибулярную нагрузку с помощью велосипедного привода (рис. 10).

Стенд «Волчок» предназначен для тренировки вестибулярного аппарата специалистов авиакосмического профиля, моряков, а также спортсменов многих видов спорта, имеющих пониженную вестибулярную устойчивость. Стенд портативен, не требует специального помещения и электропитания, дополнительного технического и медицинского персонала. Система фиксации обеспечивает безопасность тренировки. Тренирующиеся самостоятельно дозируют вестибулярную нагрузку по своим ощущениям. Простота изготовления и эксплуатации обуславливает высокий технико-экономический эффект применения стенда. Стенд малогабаритный, легко монтируется, может размещаться в любых помещениях и позволяет проводить тренировки большому числу лиц.

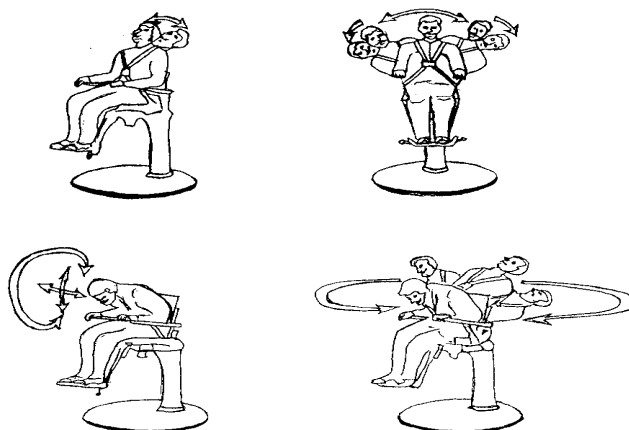


Рис. 9. Основные виды движений на электровращающемся кресле по методике АВВР



Рис. 10. Стенд для вестибулярных тренировок «Волчок»

Стенд позволяет эффективно проводить вестибулярные тренировки лицам с пониженной ВУ без развития состояния вестибулярного дискомфорта.

На данный стенд получено авторское свидетельство и он был представлен на специализированном Всероссийском выставочном центре (ВВЦ) «Современная медицина» и награжден дипломом за разработку и внедрение автономного динамического стенда в 2002 году.

Таким образом, наличие разработанных комплексных методов и средств позволило пересмотреть программу вестибулярной подготовки космонавтов, значительно снизить остроту проблемы космической болезни движения и внести коррективы в сторону снижения требований к вестибулярному отбору и, в целом, к вестибулярной подготовке. Если в течение 15 лет вестибулярные тренировки проводились на всех этапах подготовки ежегодно, то после внедрения комплексных методов с использованием адаптогена жидкого экстракта элеутерококка тренировки проводятся космонавтам только на заключительном этапе подготовки за 1–1,5 месяца до старта.

В межполетный период пассивные вестибулярные тренировки также не проводятся. Применение предложенных методов позволило в несколько раз сократить количество вестибулярных тренировок, продолжительность цикла тренировок лиц с пониженной ВУ и обеспечить более длительное сохранение их положительного эффекта.

Практическая ценность разработанных новых методов повышения ВУ человека состоит в том, что они эффективны для лиц с пониженным ее исходным уровнем, для которых традиционные методы вестибулярных тренировок не всегда обеспечивают ее оптимальное повышение и вызывают негативные реакции у тренирующихся.

Разработка новых комплексных методов вестибулярной подготовки с приемом адаптогена свидетельствует о перспективности их использования и открывают возможность более широкого выбора высококвалифицированных специалистов нужного профиля для участия в космических программах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алексеев В.Н. Повышение вестибулярной устойчивости человека при использовании элеутерококка и вестибулярных тренировок пассивным методом: Дисс. канд. мед. наук. – М., 1984. – 112 с.
- [2] Брянов И.И. Метод исследования устойчивости вестибулярного аппарата человека к кумуляции ускорений Кориолиса // Воен.-мед. журнал. – 1963. – № 1. – С. 54–56.
- [3] Горгиладзе Г.И. Нейрофизиологические основы вестибулярных тренировок // Космическая биол. – 1978. – № 5. – С. 3–12.
- [4] Емельянов М.Д. Некоторые актуальные вопросы исследования анализаторной функции у космонавтов в полете // Физиология вестибулярного анализатора. – Л.: Наука, 1968. – С. 5–15.
- [5] Каспранский Р.Р., Алексеев В.Н., Воронин Л.И. Принцип аperiodического воздействия вестибулярных раздражителей как основа повышения эффективности вестибулярной подготовки // Тезисы конференции «Профессиональная деятельность космонавтов и пути повышения ее эффективности» 6–7 октября 1993 года, Звездный городок. – С. 220–222.
- [6] Каспранский Р.Р., Алексеев В.Н., Воронин Л.И. История вестибулярной подготовки космонавтов. Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2010. – М.: Янус-К, 2011. – 640 с.
- [7] Комендантов Г.Л., Копанев В.И. Космическая форма болезни движения // Невесомость (медико-биологические исследования). – М.: Медицина, 1974. – С. 74–83.
- [8] Маркарян С.С., Юганов Е.М., Сидельников И.А. Вестибулярный отбор методом непрерывной кумуляции ускорений Кориолиса // Военно-мед. журн. – 1966. – № 9. – С. 59–62.
- [9] Мацнев Э.И., Яковлева И.Я., Тарасов И.К., Алексеев В.Н., Горгиладзе Г.И., Матвеев М.Д., Корнилова Л.Н. Космическая болезнь укачивания: симптоматика, механизмы этиопатогенеза и меры противодействия. (Aviat. Space and Environ. Med, 1983, 54, N 4, PP. 312–317).
- [10] Стрелец В.Г. Исследование и тренировка вестибулярного анализатора у человека. Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора биол. наук, Л., 1971 г.
- [11] Сидельников И.А., Брянов И.И. Значение некоторых вестибулометрических проб при врачебно-летней экспертизе лиц, предрасположенных к иллюзорным ощущениям в полете // Физиология вестибулярного анализатора. – М., 1968. – С. 228–234.
- [12] Хиллов К.Л. Некоторые вопросы оценки вестибулярной функции у авиаторов и космонавтов // Космическая биол. – 1974. – № 5. – С. 47–52.
- [13] Юганов Е.М., Горшков А.И. О тренировке вестибулярного анализатора к воздействиям ускорений Кориолиса // Труды секции авиационной и космической медицины московского физиологического общества. Сб. 1. – М., 1967. – С. 58–64.

## НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

### SCIENTIFIC-INFORMATION SECTION

**КОСМИЧЕСКИЙ ФОРУМ,  
ПОСВЯЩЕННЫЙ  
55-ЛЕТИЮ ПОЛЕТА Ю.А. ГАГАРИНА В КОСМОС**  
6 апреля 2016 года, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»

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

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» при поддержке Госкорпорации «Роскосмос» 6 апреля 2016 года в Звездном городке провел космический форум, посвященный 55-летию полета Ю.А. Гагарина в космос.

Целью форума являлось обсуждение исторического значения первого полета человека в космос; рассмотрение современного состояния и перспектив создания, развития и применения пилотируемых космических аппаратов.

В работе космического форума приняли участие председатель Государственной думы РФ С.Е. Нарышкин, депутаты Государственной думы РФ В.М. Кононов и В.М. Заварзин, генеральный директор Госкорпорации «Роскосмос» И.А. Комаров, космонавты первого набора Б.В. Волинов и А.А. Леонов, действующие космонавты и космонавты-ветераны, космонавты Республики Казахстан, руководители организаций и предприятий. В работе космического форума приняли участие около 300 представителей из 50 организаций и предприятий как ракетно-космической, так и других отраслей, вузов, общественных фондов, музеев и школ.

В рамках космического форума были проведены круглые столы: «Пилотируемые полеты в космос» и «Молодежь – настоящее и будущее пилотируемой космонавтики», на которых велась активная дискуссия по тематическим направлениям, предусмотренным программой форума.

## 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 03.06.16.  
Формат 70x108/16. Бумага ксероксная.  
Усл. печ. л. 12,08. Тираж 120 экз. Зак. 176-16.

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела  
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»